

Naxhelli Ruiz Rivera  
Víctor Orlando Magaña Rueda

# MARCO METODOLÓGICO PARA ATLAS DE RIESGOS ORIENTADOS A LA PLANEACIÓN METROPOLITANA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS

## Aplicación al Área Metropolitana de Guadalajara



Naxhelli Ruiz Rivera  
Víctor Orlando Magaña Rueda

# MARCO METODOLÓGICO PARA ATLAS DE RIESGOS ORIENTADOS A LA PLANEACIÓN METROPOLITANA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS

## Aplicación al Área Metropolitana de Guadalajara



Dr. Manuel Suárez Lastra  
**Director**

Dra. Luz Fernanda Azuela Bernal  
**Secretaria Académica**

Biól. Armando Peralta Higuera  
**Secretario Técnico de Vinculación**

Lic. Manuel Comi Aguilera  
**Secretario Administrativo**

María Teresa Sánchez Salazar  
**Editora Académica**

Raúl Marcó del Pont Lalli  
**Editor Técnico**



Dr. Enrique Luis Graue Wiechers  
**Rector**

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas  
**Secretario General**

Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda  
**Secretaria de Desarrollo Institucional**

Seminario Universitario de Estudios de Riesgo  
**Socio-Ambientales (SURSA)**

Dra. Naxhelli Ruiz Rivera  
**Coordinadora**



Mario Ramón Silva Rodríguez  
**Director General**

Miguel Ángel Rodríguez Urrego  
**Director de Planeación Metropolitana**

Patricia Guadalupe Zamora Guzmán  
**Gerente Técnica de Gestión Integral de Riesgos**

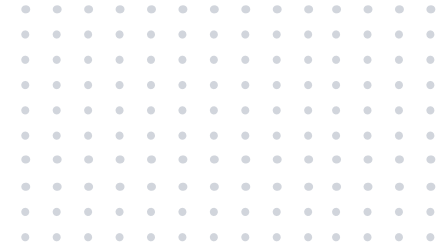
Alan Gerardo Preciado Santana  
**Coordinador de Análisis de Riesgos**

Naxhelli Ruiz Rivera  
Víctor Orlando Magaña Rueda

# MARCO METODOLÓGICO PARA ATLAS DE RIESGOS ORIENTADOS A LA PLANEACIÓN METROPOLITANA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS

## Aplicación al Área Metropolitana de Guadalajara

Con la colaboración de  
*Miguel Ángel Rodríguez Urrego*  
*Patricia Guadalupe Zamora Guzmán*  
*Alan Gerardo Preciado Santana*  
*Cuauhtémoc Aquiles Zúñiga Lázaro*  
*Stephanie Daniela Palomino Guillén*  
*Laura Elena Guzmán Gutiérrez*  
*Ana Cecilia Perales de Dios*  
*Mateo Carlos Galindo Pérez*  
*Tania Pérez Sánchez*



# MARCO METODOLÓGICO PARA ATLAS DE RIESGOS ORIENTADOS A LA PLANEACIÓN METROPOLITANA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS

## Aplicación al Área Metropolitana de Guadalajara

Primera edición 22 de mayo de 2022

D.R. © 2022 Instituto Metropolitano de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara  
Av. Abedules 565, Los Pinos,  
45120 Zapopan, Jal.

[www.imeplan.mx](http://www.imeplan.mx)

D.R. © 2022 Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria,  
Coyoacán, 04510 México, Cd. Mx.

Instituto de Geografía  
[www.unam.mx](http://www.unam.mx), [www.igeograf.unam.mx](http://www.igeograf.unam.mx)

Secretaría de Desarrollo Institucional  
[www.sdi.unam.mx](http://www.sdi.unam.mx)

### Catalogación en la publicación UNAM. Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información

**Nombres:** Ruíz Rivera, Naxhelli, autor. | Magaña Rueda, Víctor Orlando, autor. | Rodríguez Urrego, Miguel Ángel. | Zamora Guzmán, Patricia Guadalupe. | Preciado Santana, Alan Gerardo. | Zúñiga Lázaro, Cuauhtémoc Aquiles. | Palomino Guillén, Stephanie Daniela. | Guzmán Gutiérrez, Laura Elena. | Perales de Dios, Ana Cecilia. | Galindo Pérez, Mateo Carlos. | Pérez Sánchez, Tania.

**Título:** Marco metodológico para atlas de riesgos orientados a la planeación metropolitana para la gestión de riesgos : aplicación al área metropolitana de Guadalajara / Naxhelli Ruíz Rivera, Víctor Orlando Magaña Rueda ; con la colaboración de Miguel Ángel Rodríguez Urrego, Patricia Guadalupe Zamora Guzmán, Alan Gerardo Preciado Santana, Cuauhtémoc Aquiles Zúñiga Lázaro, Stephanie Daniela Palomino Guillén, Laura Elena Guzmán Gutiérrez, Ana Cecilia Perales de Dios, Mateo Carlos Galindo Pérez, Tania Pérez Sánchez.

**Descripción:** Primera edición. | Ciudad México : Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía ; Zapopan, Jalisco : Instituto Metropolitano de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara, 2022.

**Identificadores:** LIBRUNAM 2137530 (libro electrónico) | ISBN 9786073060875 (libro electrónico).  
Temas: Desastres naturales -- Jalisco -- Guadalajara -- Atlas. | Evaluación de riesgos -- Jalisco -- Guadalajara -- Atlas. | Planificación regional -- Jalisco -- Guadalajara. | Ordenamiento territorial -- Jalisco -- Guadalajara.

**Clasificación:** LCC GB5011.16 (libro electrónico) | DDC 363.340972—dc23

Prohibida la reproducción parcial o total por cualquier medio, sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

La presente publicación presenta los resultados de una investigación científica y contó con dictámenes a doble ciego de expertos externos, con un resultado positivo, el cual garantiza la calidad académica de la obra, de acuerdo con las normas editoriales del Instituto de Geografía, y que fue aprobado por el Comité Editorial de la Secretaría de Desarrollo Institucional. Los contenidos de la obra fueron analizados con software de similitudes, por lo que cumplen plenamente con los estándares científicos de integridad académica.

El proyecto fue financiado por convenio de colaboración entre el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto Metropolitano de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara. El proceso editorial y publicación se realizaron de manera conjunta entre la Secretaría de Desarrollo Institucional a través del Seminario Universitario de Riesgos Socioambientales y el Instituto de Geografía.

ISBN: 978-607-30-6087-5

Hecho en México



# CONTENIDO

Índice de cuadros	8
Índice de figuras	10
Listado de siglas	13
Prólogo	15

## 1

### INTRODUCCIÓN

1.1. Características de un Atlas de Riesgos metropolitano vs atlas de riesgos municipales y estatales	21
1.2. El Atlas de Riesgos en el modelo de gobernanza metropolitana. El ejemplo del Área Metropolitana de Guadalajara	26
1.3. Riesgo, peligro, amenaza, exposición y vulnerabilidad en el Atlas de Riesgos Metropolitano	29
1.4. Componentes dinámicos y componentes estáticos del Atlas de Riesgos Metropolitano	32
1.5. Representaciones probabilísticas y determinísticas en el Atlas de Riesgos	34
1.6. A modo de cierre	36

## 2

### IDENTIFICACIÓN DE USUARIOS Y PROCESOS

2.1. Los Atlas de Riesgos como tecnologías para la comunicación de riesgos	40
2.2. Los Atlas de Riesgos y los procesos de gestión integral del riesgo	43
2.3. El diseño de Atlas orientado a procesos clave de gestión de riesgos	47
2.4. Estrategia para la identificación de usuarios y contextos de uso	51
2.5. A modo de cierre	55

COMPONENTE  
METODOLÓGICO 1

# 3

COMPONENTE  
METODOLÓGICO 2

## GENERACIÓN DE PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS

	58
3.1. Introducción	59
3.2. La cartografía de un Atlas de Riesgos	60
3.3. Características de la cartografía determinística en zonificación primaria y secundaria	69
3.4. La cartografía de los procesos clave de la gestión integral del riesgo	73

# 4

COMPONENTE  
METODOLÓGICO 3

## MODELACIÓN DE VULNERABILIDAD SOCIAL

	76
4.1. ¿Para qué medir la vulnerabilidad social en un Atlas de Riesgos?	77
4.2. Índices de vulnerabilidad social en un Atlas de Riesgos	79
4.3. Aplicaciones del IVS y otros índices de vulnerabilidad en comunicación de riesgos	82
4.4. Integración de los indicadores del IVS	84
4.4.1. Integración del IVS(1). Microdatos	84
4.4.2. Integración del IVS(2). Tabulados	90
4.4.3. Variaciones del IVS	92
4.5. A modo de cierre	94

# 5

COMPONENTE  
METODOLÓGICO 4

## MODELACIÓN DE INUNDACIONES

	96
5.1. Introducción	97
5.2. Peligro meteorológico	100
5.3. Vulnerabilidad física	118
5.4. Integración cartográfica de componentes	137
5.5. Conclusiones	146

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

	148
Glosario	151
Referencias	153








# ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Componentes relevantes de la escala geográfica para los Atlas de Riesgos	23
<b>Cuadro 2.</b> Exclusiones a la cartografía determinística de riesgos, en términos de las atribuciones y materias exclusivamente municipales	28
<b>Cuadro 3.</b> Definiciones del riesgo y sus componentes en la Ley General de Protección Civil	29
<b>Cuadro 4.</b> Definiciones del riesgo y sus componentes, de acuerdo con la Revisión Técnica de la Terminología Actualizada Propuesta sobre Reducción de Riesgo de Desastres de la UNDRR	30
<b>Cuadro 5.</b> Diferencia entre la representación probabilística y determinística	34
<b>Cuadro 6.</b> Procesos clave de la gestión integral de riesgo	44
<b>Cuadro 7.</b> Ejemplo de desglose para identificar el producto, a partir del perfil de usuario y del proceso clave	46
<b>Cuadro 8.</b> Componentes por identificar para realizar el perfil de los usuarios del Atlas de Riesgos	52
<b>Cuadro 9.</b> Ejemplos de dos conjuntos de criterios para delimitar una muestra	53
<b>Cuadro 10.</b> Ejemplo de clasificación de temas en un conjunto de grupos de enfoque (por frecuencia)	54

<b>Cuadro 11.</b>	Tipos de mapas y sus características distintivas	59
<b>Cuadro 12.</b>	Ejemplos de distintos tipos de salida cartográfica asociados a los componentes representados en Atlas de Riesgo	62
<b>Cuadro 13.</b>	Ejemplos de distintos productos cartográficos en un enfoque orientado a los procesos clave de gestión del riesgo.	74
<b>Cuadro 14.</b>	Pasos para construir un índice de vulnerabilidad social	83
<b>Cuadro 15.</b>	Indicadores para el IVS(1) –microdato, nivel municipal	85
<b>Cuadro 16.</b>	Indicadores para el IVS(2) –a partir de tabulados, por AGEB	90
<b>Cuadro 17.</b>	Indicadores para el IVS(3) – a partir de tabulados, por AGEB, con indicadores de exposición ante amenaza de inundación	92
<b>Cuadro 18.</b>	Estaciones con datos meteorológicos	100
<b>Cuadro 19.</b>	Valores puntuales de percentiles para diferentes épocas.	112
<b>Cuadro 20.</b>	Curvas numéricas para uso agrícola, áreas rurales y urbanas	126
<b>Cuadro 21.</b>	Grupos hidrológicos de suelo.	129
<b>Cuadro 22.</b>	Condición hidrológica de la vegetación y usos del suelo	131





# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ejemplo cartográfico de una falacia ecológica	24
<b>Figura 2.</b> Ejemplo de representación probabilística de peligro	35
<b>Figura 3.</b> Ejemplo de la representación determinística de la vulnerabilidad en el puerto de Manzanillo en 2013	36
<b>Figura 4.</b> De la codificación a la comprensión en distintos usuarios de cartografía	40
<b>Figura 5.</b> Modelo básico datos-información-conocimiento-saber (DIKW hierarchy) aplicado a los Atlas de Riesgos	42
<b>Figura 6.</b> Flujograma general para elaborar un Atlas de Riesgos	48
<b>Figura 7.</b> El proceso de producción de un producto cartográfico	64
<b>Figura 8.</b> Ficha básica para cada producto cartográfico incluido en el Atlas de Riesgos	66
<b>Figura 9.</b> Colorimetría de zonificación primaria propuesta en los Términos de Referencia para la elaboración o actualización de Planes o Programas Municipales de Desarrollo Urbano de SEDATU	70
<b>Figura 10.</b> Matriz combinada de valores absolutos y relativos, por caso, para la determinación global de la vulnerabilidad social	80
<b>Figura 11.</b> Lluvias diarias en la estación Guadalajara entre 1954 y 2018	98

<b>Figura 12.</b>	Ejemplo de un climograma de las estaciones meteorológicas del AMG	101
<b>Figura 13.</b>	Función de distribución de probabilidades para la temperatura, representando clima y sus cambios	102
<b>Figura 14.</b>	Ejemplo de fallas en las series de tiempo diarias de TMax, TMin y PCP en un observatorio meteorológico del SMN (14065, Guadalajara)	104
<b>Figura 15.</b>	Serie de datos diarios de precipitación (mm/día) en una estación y su comparación con los valores por pixel	105
<b>Figura 16.</b>	Diagrama de dispersión entre datos de precipitación diaria (mm) estimados por análisis objetivo y valores observados (estación 14351 Guadalajara y 14066 Guadalajara)	106
<b>Figura 17.</b>	Campos medios mensuales de precipitación (mm/mes) en el AMG	107
<b>Figura 18.</b>	Precipitación anual en el AMG resultado de los análisis objetivos (isolíneas blancas y tonalidades azules), comparado con los reportes anuales por estación (números amarillos)	109
<b>Figura 19.</b>	Distribución de frecuencia de precipitaciones diarias en Zapopan. Los percentiles 90 y 95% están indicados con flechas verdes	110
<b>Figura 20.</b>	Precipitación diaria en la estación 14169 Guadalajara entre 1950 y 2017	111
<b>Figura 21.</b>	Percentiles P90 y P95 de precipitación diaria (mm/día) para el AMG correspondientes a los periodos a) 1950-1972, b) 1973-1995 y c) 1996-2018	113
<b>Figura 22.</b>	Patrones compuestos de lluvia diaria que causan inundaciones en los puntos indicados en rojo en el periodo 2000-2018	114
<b>Figura 23.</b>	Campos de valores del percentil 90% y 95% de precipitación diaria en el AMG para el periodo 2010-2018	115
<b>Figura 24.</b>	Lluvia del 23 de abril de 2003 sobre el AMG y estimación de las zonas afectables por inundación (zonas en azul)	116



<b>Figura 25.</b>	Lluvia del 6 de junio de 2004 y sus impactos en términos de inundaciones de acuerdo con un modelo de lluvia escurrimiento (zona azul)	117
<b>Figura 26.</b>	Serie de tiempo de los recuentos de eventos de inundación en el AMG entre 1970 y 2018	118
<b>Figura 27.</b>	Ejemplo de patrones de precipitación diaria que representan un peligro para las zonas indicadas	119
<b>Figura 28.</b>	Intensidad de las pendientes en el AMG	122
<b>Figura 29.</b>	Orientación de las pendientes del AMG	123
<b>Figura 30.</b>	Diagrama de flujo que describe la delimitación de cuencas, a partir de la red de drenaje y acumulación de flujo obtenido de un modelo de elevación del terreno	125
<b>Figura 31.</b>	Agrupación de los tipos de suelo con base en su textura y propiedades de infiltración	130
<b>Figura 32.</b>	Clúster de puntos de inundación a lo largo de la subcuenca San Juan de Dios, en el centro del AMG	132
<b>Figura 33.</b>	Clúster de puntos de inundación en la Cuenca Santa Anita y microcuenca Las Pintas, en el centro del AMG	133
<b>Figura 34.</b>	Secuencia que muestra 1) cauces de ríos de acuerdo con el MDE 2) ejemplo de un río convertido en avenida del dominio indicado en cuadro rojo, que se convierte en “río urbano”	134
<b>Figura 35.</b>	Índice de vulnerabilidad física (regional) por inundaciones en el AMG	135
<b>Figura 36.</b>	Probabilidad de inundación a partir de la integración de peligro meteorológico y vulnerabilidad física, por cuadrantes del AMG	138
<b>Figura 37.</b>	Mapa de concentración absoluta de unidades económicas expuestas a inundaciones	145

# LISTADO DE SIGLAS



<b>AGEB</b>	Área Geoestadística Básica
<b>AMG</b>	Área Metropolitana de Guadalajara
<b>ASTER</b>	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
<b>CENAPRED</b>	Centro Nacional de Prevención de Desastres
<b>CHIRPs</b>	Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations
<b>CONABIO</b>	Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad
<b>CONAGUA</b>	Comisión Nacional del Agua
<b>CONAPO</b>	Consejo Nacional de Población
<b>DENUE</b>	Directorio Estadístico de Unidades Económicas
<b>IMEPLAN</b>	Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>INIFAP</b>	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias
<b>IPCC</b>	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
<b>IVS</b>	Índice de Vulnerabilidad Social
<b>LGAHOTDU</b>	Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano
<b>LIDAR</b>	Laser Imaging Detection and Ranging
<b>MDE</b>	Modelo Digital de Elevación
<b>NASA</b>	Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio
<b>PCP</b>	Pronóstico Cuantitativo de Precipitación
<b>SCS-CN</b>	Método de número de curva del Soil Conservation Service
<b>SEDATU</b>	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
<b>SEMADET</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco
<b>SIGMetro</b>	Sistema de Información y Gestión Metropolitana
<b>SMN</b>	Servicio Meteorológico Nacional
<b>UNDRR (antes UNISDR)</b>	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre





# PRÓLOGO

---

Los Atlas de Riesgos constituyen un instrumento valioso que sustenta la toma de decisiones en las diferentes etapas de la gestión del riesgo de desastres desde la planeación del desarrollo y el ordenamiento de los asentamientos humanos, medidas efectivas de prevención, mitigación y preparación, hasta la atención de emergencias y una mejor reconstrucción. El valor de estos documentos radica en su utilidad para implementar medidas para prevenir y reducir riesgos.

Las áreas metropolitanas, por su complejidad no están exentas de la responsabilidad de brindar servicios de protección civil y de realizar ejercicios que abonen a la gestión integral de riesgos. En este sentido, los Atlas impulsan a la elaboración de políticas públicas que contribuyen al ordenamiento territorial con criterios preventivos y de sustentabilidad.

Los esfuerzos por la representación espacial de los riesgos a nivel nacional se materializaron en 1991, con el Primer Atlas Nacional de Riesgos. En el documento se logró plasmar la propuesta conceptual de la Coordinación Nacional de Riesgos a través de las Bases para el establecimiento del Sistema Nacional de Protección Civil, descripción de fenómenos, ubicación geográfica de dichos fenómenos y sus zonas de afectación o incidencia, y localización de los sistemas expuesto al riesgo. Este primer ejercicio forjó las bases del puente entre la protección civil, el ordenamiento territorial y la gestión integral de riesgos en México.


Diez años después se publicó el segundo Atlas Nacional de Riesgos, y en esa ocasión se destacó la necesidad de generar información con mayor detalle, es decir, a escala municipal. A partir de ese momento, el CENAPRED comenzó a promover iniciativas para generar instrumentos para un análisis más detallado tanto de peligros, como de riesgos, materializándose en 2006 con la serie Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. A esta iniciativa se sumó la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) con el diseño de Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos. Ambas instituciones han emprendido esfuerzos para el diseño de metodologías para la elaboración de Atlas a distintas escalas orientados a la planeación y ordenamiento territorial como referentes, no sólo académico, sino también público y social.

Por su parte, se desarrollaron instrumentos jurídicos como la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU), y los instrumentos como la Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial la Política Nacional de Suelo Urbano han promovido nuevas figuras de gobernanza metropolitana sobre diversos aspectos del riesgo y la resiliencia. Por ello se vuelve fundamental desarrollar nuevos instrumentos de gestión integral del riesgo en esta escala.

En esta ocasión, el Instituto Metropolitano de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN), en colaboración con el Instituto de Geografía de la UNAM, presentan el Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara con su propio diseño metodológico con un







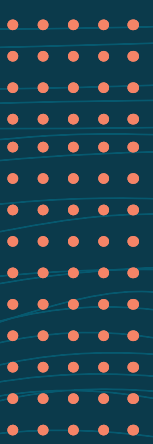
componente académico elevado, útil para especialistas, en el cual se aprecia, en primer término, la complejidad de la dimensión metropolitana, debido a que esta escala presenta desafíos particulares tanto desde el punto de vista de la coordinación entre gobiernos locales, como en materia de análisis y representación del riesgo y sus componentes. Con ello se aportan nuevos elementos para la identificación de riesgos y la sistematización de la información en zonas metropolitanas, que contribuya a lograr territorios seguros, sostenibles y resilientes.

Los procesos de planeación requieren representar no solamente el riesgo y sus componentes, sino también considerar las necesidades de la gestión del riesgo, sobre todo la prospectiva, para poder realizar tareas de control y optimización del uso de suelo, otorgando certeza jurídica, sin que eso afecte en la capacidad y posibilidad del Atlas de ser actualizado, en la medida de lo posible y deseable.

El gran reto de los Atlas de Riesgos Metropolitanos se centra en el análisis multidimensional y a distintas escalas de las dinámicas de cuenca, la relación entre áreas urbanas, rurales y periurbanas y en la representación de los procesos y causas de las amenazas. En este caso, el Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara ha puesto a disposición a través del Sistema de Información y Gestión Metropolitana (SIGmetro) la información integrada de los nueve municipios del AMG y del IMEPLAN.

**ING. ENRIQUE GUEVARA ORTÍZ**  
DIRECTOR GENERAL DEL CENTRO NACIONAL  
DE PREVENCIÓN DE DESASTRES





# INTRODUCCIÓN



Los Atlas de Riesgos son un instrumento crecientemente importante en diferentes aspectos de la planeación territorial en nuestro país. Hay un reconocimiento público de la relevancia de los Atlas de Riesgos en todos los momentos de la gestión integral de riesgo y, sin lugar a duda, son centrales para el diseño de las políticas públicas de carácter territorial y para garantizar la sostenibilidad de territorios, tanto urbanos como rurales, en un marco de seguridad humana.

Sin embargo, a pesar de este papel tan importante en el ámbito público, hay aún muchas áreas de oportunidad que atender en cuanto al diseño y aplicación de los Atlas de Riesgos en las instituciones públicas y otros entornos sociales. En revisiones como las de Medina et al. (2017) o Ruiz (2014), se señala como un problema importante la distancia entre el contenido y la calidad de la información de los Atlas de Riesgos, respecto a la realidad en la que los funcionarios de los tres niveles de gobierno deben utilizarlos como referente para el ejercicio de sus tareas en el servicio público.

Una parte importante de la explicación de esta distancia está en que los Atlas de Riesgo son resultado de los avances progresivos en el conocimiento que sobre el riesgo desarrolla la comunidad científica, estos saberes no siempre se vinculan con las instituciones que, en diferentes sectores y niveles de gobierno, intervienen en las materias de planeación del desarrollo, ordenamiento territorial o protección civil. Las políticas públicas que se han diseñado en México para financiar y generar los Atlas de Riesgos han sido progresivas, ya que conforme cambian y mejoran los programas y sus reglas de operación,

e integran los nuevos avances del conocimiento en las disciplinas involucradas en la comprensión del riesgo de desastres hay un mayor aprendizaje sobre los aspectos en los que hay que incidir para mejorar el uso de los Atlas de Riesgo en los contextos locales.

En México hay un largo camino de casi treinta años que nos lleva a los Atlas de Riesgos que tenemos hoy, comenzando por el Primer Atlas Nacional de Riesgos que publicó el Centro Nacional de Prevención de Desastres en 1991. Desde entonces, el CENAPRED integra el Atlas Nacional de Riesgos y ha complejizado progresivamente su contenido y estructura, la cual contiene actualmente los atlas estatales y municipales, así como varios tipos de visualizadores geográficos que se enfocan en identificar los componentes de riesgo a partir de las estrategias, metodologías e información que genera el propio Centro Nacional, así como en instancias académicas y del Gobierno Federal.

Los cambios a lo largo de las últimas tres décadas respecto a la forma de ver e intervenir en el proceso riesgo-desastre implican la necesidad de ir más allá de la caracterización de los fenómenos de gran magnitud, es decir, pasar a análisis que nos permitan establecer cuándo un riesgo se vuelve crítico o intolerable. Esto se logra a partir de los modelos de riesgo que identifiquen e integren el peligro, la amenaza y la vulnerabilidad física y social, de manera que los usuarios de los Atlas de Riesgos puedan, a partir de ese conocimiento, implementar adecuadamente las acciones preventivas necesarias para reducir este riesgo.

Esta obra deriva del convenio de colaboración denominado "Atlas de Riesgo Metropolitano: Marco Metodológico", construido entre la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto de Planeación



y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN), y tiene por objeto desarrollar una metodología que aborde el diagnóstico de riesgo ante peligros naturales para una de las más grandes áreas metropolitanas del país: el Área Metropolitana de Guadalajara. Esta publicación resume los principales resultados del proyecto conjunto que sienta las bases para construir un Atlas de Riesgos Metropolitano con los aspectos distintivos y propios de esta escala de trabajo como apoyo para avanzar en las acciones de reducción de riesgo de desastres con las que nuestro país se ha comprometido.

Lo que se propone en esta obra son "cajas de herramientas" o **componentes metodológicos**, que nos permiten, en cada caso, lograr el objetivo de generar instrumentos cada vez más dinámicos, precisos, accesibles y focalizados a las tareas de reducción de riesgos de desastre, con las bases de datos, herramientas científicas y estrategias de trabajo que están a nuestro alcance, en aproximaciones sucesivas. Estas "cajas de herramientas" propuestas a lo largo de esta obra no deben considerarse como equivalentes a un documento fijo de términos de referencia, sino un conjunto de herramientas adaptables para analizar cómo se manifiestan y representan los diferentes tipos de peligros, amenazas y vulnerabilidades. También nos ayuda a pensar en el contexto regulatorio, los actores sociales y los usuarios en cada uno de los contextos metropolitanos que las desarrollen como parte de sus instrumentos de planeación y ordenamiento territorial. Mientras que los tres primeros componentes son de carácter general, en el caso del último capítulo (Componente metodológico 4. Modelación de inundaciones), se desarrolla un ejemplo relativo al riesgo de inundaciones.

A partir de estas consideraciones iniciales, en esta introducción abordaremos los puntos básicos para explicar la particularidad de trabajar un Atlas de Riesgos en una escala metropolitana. También se presentará la base conceptual que se utiliza en el documento y su relación con la terminología propia en nuestro marco legal, de manera que sea claro el uso y aplicación de los componentes del riesgo.

En esta introducción también revisamos algunos aspectos que consideramos muy importantes para el desarrollo metodológico de los Atlas de Riesgos:



La escala geográfica en la cual se representa el riesgo y sus componentes.



La relación entre los componentes estáticos y dinámicos del Atlas.



Las representaciones de probabilidad y determinación del riesgo y sus componentes.

La explicación de estos dos aspectos ayuda a clarificar e identificar las características distintivas de lo metropolitano respecto a los avances que ya existen a nivel municipal y estatal. Asimismo, ayudará a los lectores a comprender mejor la entretela de cualquier Atlas de Riesgos, así como las decisiones que los autores hemos tomado a lo largo de su construcción, para poder ofrecer un producto mejor y más útil para la planeación metropolitana.

## 1.1. CARACTERÍSTICAS DE UN ATLAS DE RIESGOS METROPOLITANO VS ATLAS DE RIESGOS MUNICIPALES Y ESTATALES


Además del Atlas Nacional de Riesgos, los Atlas de Riesgos en México se producen fundamentalmente en dos escalas: estatal y municipal. Esto se encuentra regulado a partir de lo que establece la Ley General de Protección Civil, Art. 19 Fracc. XXII, la cual señala que estos instrumentos “constituyen el marco de referencia para la elaboración de políticas y programas en todas las etapas de la Gestión Integral del Riesgo”. Dado que los municipios tienen la atribución constitucional de definir los usos de suelo en su territorio, así como de prestar una serie de servicios públicos (Art. 115 Constitucional, particularmente lo contenido en las Fracc. III y V), el municipio es el ámbito natural de muchos de los procesos que constituyen la gestión integral de riesgo, tanto en su ámbito preventivo como en el reactivo y prospectivo, sin embargo, el ámbito metropolitano es cada vez más importante en nuestro país.

De acuerdo con CONAPO (2018), hay 74 áreas metropolitanas en nuestro país en las cuales habitan 75.1 millones de personas. Las áreas metropolitanas, por definición, implican la continuidad física e integración funcional de dos o más municipios, mismas que comprenden retos importantes de coordinación entre gobiernos para atender las complejas necesidades de planeación de este tipo de asentamiento. Además, las áreas metropolitanas deben desarrollar su planeación en

el marco del Sistema General de Planeación Territorial bajo los principios que México ha asumido en el marco de la Nueva Agenda Urbana (Hábitat III), así como en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el Objetivo 11, el cual incluye la reducción del riesgo de desastres como un objetivo primordial.

En este contexto, la escala metropolitana sin duda se convierte en una escala relevante para incidir en mejores estrategias de reducción del riesgo urbano a través de los mecanismos de gobernanza metropolitana que contempla actualmente nuestro marco legal. En particular, vale la pena señalar que el **Capítulo Sexto, Gobernanza Metropolitana** de la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (en adelante, LGAHOTDU) señala diversas estrategias de coordinación entre los municipios y los órdenes de gobierno, de manera que los instrumentos que constituyen los insumos de la planeación metropolitana tienen un papel cada vez más relevante para este perfil de ciudades. En particular, aunque no se ha planteado en nuestra legislación a nivel federal<sup>1</sup>, un Atlas de Riesgo diseñado para atender las necesidades de planeación metropolitana, es una consecuencia natural de la forma en la que se ha transformado en los últimos años la legislación y los instrumentos de planeación. A ello se suma lo que establece también la LGAHOTDU

<sup>1</sup> La Ley General de Protección Civil contempla los Atlas de Riesgos nacional, de las entidades federativas, municipales y de las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México (Artículo 19 Fracción XXII).



(Art. 4, Fracc. VIII)<sup>2</sup> en materia de resiliencia, procuración de la seguridad humana y evitación de la ocupación de áreas de alto riesgo, como principios básicos que debe seguir la planeación, regulación y gestión de los asentamientos humanos, a través de los Atlas de Riesgos.

Sin embargo, un Atlas de Riesgo que responda a los problemas propios de una escala metropolitana no resulta de sumar la cartografía de los municipios que la componen. La escala de un Atlas de riesgo es un componente crucial para representar el comportamiento espacial de los fenómenos de interés. Para la mejor comprensión de este tema, vale la pena plantear en esta introducción qué significa la escala y por qué es tan importante para definir la utilidad de un Atlas de Riesgos en diferentes ámbitos territoriales.

Para propósitos de este trabajo, tomaremos una definición operacional de escala geográfica, como la dimensión, extensión o nivel lógico en el cual un proceso geográfico tiene lugar; en particular, es la posición en la cual nos es posible observar la mayor variabilidad de un fenómeno (Sheppard y McMaster, 2004, p. 5). La escala (representación espacial) de un fenómeno se basa en dos elementos fundamentales: la resolución y la extensión. La resolución es el nivel de detalle o granularidad de los datos, o bien, de la unidad de análisis, mientras que la extensión se refiere a las dimensiones del área en la cual se representa un fenómeno.

La escala es uno de los elementos metodológicos más importantes en el diseño de un Atlas, aunque pocas veces se aborda explícitamente. Ello se debe, en parte, a que nuestro marco legal define de entrada que la extensión de un Atlas de Riesgo abarca el territorio de un municipio o entidad federativa al ser éstas las unidades político-administrativas en las cuales se realizan los procesos de gestión de riesgo y de ordenamiento territorial. No obstante, como muchos especialistas han señalado reiteradamente, los fenómenos físicos y sociales que

deben ser representados en un Atlas de Riesgo usualmente son significativos únicamente cuando se representan en otras escalas, sea más a detalle (con mayor resolución), o bien, cuando se observan de manera agregada y extensa (con menor resolución, pero mayor nivel de generalidad). Una síntesis de los conceptos sobre la escala se encuentra en el **CUADRO 1**.

El trabajar un Atlas de Riesgo en una escala distinta, la metropolitana, abre la necesidad y la oportunidad para considerar la importancia de la escala y sus componentes (resolución y extensión), para representar los riesgos que se originan y se gestionan en un ámbito territorial metropolitano, ya que aún no existen lineamientos específicos en esta escala. Por ejemplo, uno de los procesos que se abordan a detalle en este documento refiere a la modelación de la amenaza de inundación a partir de entender la dinámica hidrológica de las diversas subcuencas del Área Metropolitana, en la cual confluyen fenómenos como la intensidad de la precipitación, el escurrimiento, la extensión de la superficie de infiltración (o por el contrario, del nivel de impermeabilización del suelo urbano), entre otros. Una delimitación estrictamente municipal nos impide representar estos flujos en la extensión necesaria, ya que éstos ocurren por la interacción de los usos de suelo y la capacidad de drenaje instalada en varios municipios; mientras que una representación de esto en una cartografía de la entidad federativa no puede mostrar el nivel de detalle suficiente para visualizar esta amenaza. Así, la cartografía metropolitana tiene el potencial de representar fenómenos de este tipo a través de una escala operacional distinta a la municipal. De esta forma, quien consulta el Atlas de Riesgos Metropolitano (en este caso, del Área Metropolitana de Guadalajara) podrá visualizar de otra manera los componentes de la amenaza de inundación y la dinámica entre las subcuencas del AMG, cuyos límites son diferentes a los de los municipios que la componen.

**2** *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, Capítulo Segundo, Principios. El Art. 4 establece que "La planeación, regulación y gestión de los asentamientos humanos, centros de población y la ordenación territorial, deben conducirse en apego a los siguientes principios de política pública: **Fracc. VIII. Resiliencia, seguridad urbana y riesgos.** Propiciar y fortalecer todas las instituciones y medidas de prevención, mitigación, atención, adaptación y resiliencia que tengan por objetivo proteger a las personas y su patrimonio, frente a los riesgos naturales y antropogénicos; así como evitar la ocupación de zonas de alto riesgo".*

• • **CUADRO 1. COMPONENTES RELEVANTES DE LA ESCALA GEOGRÁFICA PARA LOS ATLAS DE RIESGOS**

CONCEPTO	DEFINICIÓN
<b>Extensión</b>	El tamaño del área que abarca el objeto geográfico.
<b>Resolución</b>	La granularidad y precisión en la unidad espacial mínima (grano) adoptada para medir el proceso geográfico de interés.
<b>Agregación</b>	La agrupación de las unidades (granos) en las que mide un proceso geográfico, de acuerdo con el nivel de generalización o particularización requerido para determinar la relevancia del proceso en estudio.  La agregación también incluye los problemas denominados “de unidad de área modificable”, que se relacionan a los límites arbitrarios adoptados para agrupar datos espaciales.
<b>Falacia ecológica</b>	La adjudicación falsa de una característica de un nivel superior o inferior de la jerarquía, a un determinado objeto geográfico.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Turner et al. (1989), Gibson et al. (2000) y McMaster y Sheppard (2004).

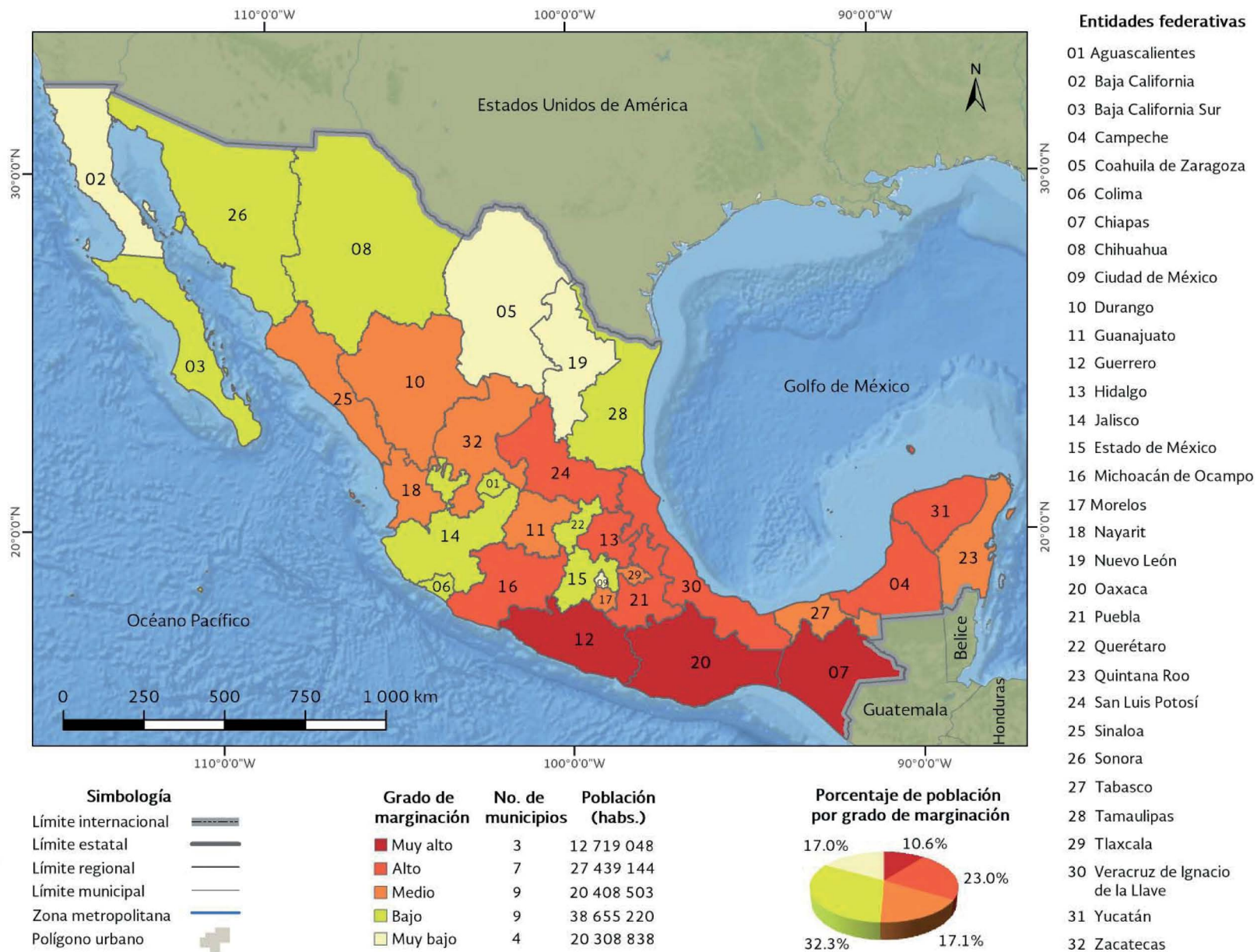
En el **CUADRO 1**, además de la resolución y la extensión, observamos otros dos elementos metodológicos: la agregación y las falacias. La agregación, muy relacionada con la resolución, es el componente que nos permite definir las unidades de análisis: individuos, hogares, manzanas, áreas geoestadísticas básicas o municipios, y se relaciona con la forma en la que se agrupan los datos disponibles. Por ejemplo, para el caso de la información sociodemográfica disponible en México, dos estrategias de agregación para presentar dichos datos son 1) los microdatos y 2) los tabulados.

Finalmente, las falacias son inferencias espaciales con un cierto margen de error, que se asocia a la interacción cartográfica de los otros tres elementos (la resolución, la extensión y la agregación), de manera que el fenómeno representado es aproximado, pero no totalmente exacto. Un ejemplo de ello lo podemos observar en el siguiente mapa, el cual hace una generalización sobre el grado de marginación sobre la totalidad de la población de cada entidad federativa. Esta generalización tiene la ventaja de dar una medida sintética sobre el fenómeno representado, a costa de invisibilizar la variabilidad (heterogeneidad) de la marginación al interior de cada una de las entidades, y de asumir un valor único para toda una población.





**FIGURA 1. EJEMPLO CARTOGRÁFICO DE UNA FALACIA ECOLÓGICA**



Fuente: (CONAPO, 2016, p. 62)

Cabe señalar que las falacias, a pesar de lo que su nombre pueda indicar, son un componente prácticamente ineludible de cualquier representación cartográfica, y no necesariamente son errores. Las falacias simplemente reflejan el nivel de generalización o particularidad del fenómeno que se muestra en un mapa.

En los Atlas de Riesgo, cada uno de los elementos de la cartografía, sea dinámica o estática, debe considerar los cuatro elementos a los que hemos hecho referencia (resolución, extensión, agregación y falacia). Hacer explícitos estos elementos metodológicos ayuda a interpretar correctamente los datos y la cartografía. El no considerar estos elementos puede traer como consecuencia interpretaciones erróneas sobre el riesgo; de hecho, muchas de las críticas que se han hecho a la cartografía de riesgos provienen de una falta de comprensión de estos elementos básicos y de lo que implica representar los componentes de riesgo en un mismo plano cartográfico. Aspectos, como un cálculo impreciso de la extensión de un área de inundación y/o de la cantidad de personas u hogares vulnerables en un municipio o localidad o el nivel de afectación de estas personas a partir de la información que se tiene sobre sus carencias, pueden ser representados o interpretados de manera poco veraz si no se hace explícita su construcción escalár.

Así pues, el primer elemento de este marco metodológico está en identificar lo que implica trabajar geográficamente en una escala

metropolitana. Por un lado, las amenazas y las vulnerabilidades que son susceptibles de ser caracterizadas y, como resultado, los riesgos que se modelan son distintos a los de los Atlas de Riesgos elaborados para representar las problemáticas municipales o de las entidades federativas, y tienen un perfil o carácter multimunicipal. Por otro lado, la modelación del riesgo tiene propósitos distintos en el marco de la gobernanza metropolitana que en el de un gobierno municipal o estatal; funciones como la respuesta a emergencias por parte de las instancias de protección civil o la zonificación secundaria<sup>3</sup> de los usos de suelo, no forman parte de las facultades y atribuciones propias de los órganos de coordinación metropolitana reconocidos en la legislación actual, tales como las Comisiones de Ordenamiento Metropolitano o los Consejos Consultivos (LGAHOTDU, Art. 36 Fracc. I y II). Sus atribuciones están en los ámbitos de planeación conjunta y prospectiva de usos de suelo y la estructura urbana, la prestación de servicios públicos comunes, y el establecimiento de estrategias conjuntas para afrontar los problemas metropolitanos en temas como la suficiencia del equipamiento e infraestructura y la sustentabilidad (Art. 36 Fracc. IV y V; Art. 37). Es por ello por lo que en la siguiente sección se hace una revisión del modelo de gobernanza metropolitana del Área Metropolitana de Guadalajara, de manera que sea más claro el alcance y papel de un Atlas de Riesgos Metropolitano en este contexto.

<sup>3</sup> Zonificación secundaria se refiere a aquella “en la que se determinan los aprovechamientos específicos, o utilización particular del suelo, en las distintas zonas del área objeto de ordenamiento, y regulación, acompañadas de sus respectivas normas de control de la densidad de la edificación. Corresponde a los planes parciales de desarrollo urbano y a los planes parciales de urbanización”. (Art. 22 del Reglamento Estatal de Zonificación del Estado de Jalisco). Disponible en <https://bit.ly/3duxbpW>. Último acceso: 3 de junio de 2020.



## 1.2. EL ATLAS DE RIESGOS EN EL MODELO DE GOBERNANZA METROPOLITANA. EL EJEMPLO DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

En este apartado, explicaremos la normatividad que fundamenta el Atlas de Riesgos Metropolitano, de manera que sea claro el alcance de la cartografía que se produce en éste, así como los objetivos para los cuales se realiza este producto. Esta revisión es importante para que, en un futuro, los Atlas de Riesgos Metropolitanos puedan ser replicados en otras áreas metropolitanas, de acuerdo con las variaciones normativas de cada una de ellas y de su correspondiente entidad federativa.

El Atlas Metropolitano de Riesgos producido por el Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara está contemplado en el Código Urbano del Estado de Jalisco (Art. 102, Fracc. I, Párrafo 9), en la Ley de Coordinación Metropolitana del Estado de Jalisco (Art. 31, Fracc. I inciso c), así como en el Estatuto Orgánico de las Instancias de Coordinación Metropolitana del Área Metropolitana de Guadalajara del 14 de enero de 2014, en sus artículos 119 y 122 (en vigencia). En este último artículo, se define que

**[...] el mapa de riesgo metropolitano es el instrumento técnico en el que se definen los criterios y lineamientos para la prevención y protección ante la identificación de riesgos naturales y antrópicos en el territorio metropolitano. Este instrumento toma en cuenta las amenazas de un accidente o acción susceptible de causar daño o perjuicio a alguien o a algo, y la vulnerabilidad a la que se encuentra expuesta la población del área, derivadas de circunstancias que se pueden prever, pero no eludir.**

Sin embargo, el estatuto antes citado está desactualizado conforme a las últimas reformas de la Ley de Coordinación Metropolitana del Estado de Jalisco, por lo que está en un proceso de actualización. Diversas reformas al Estatuto ya fueron autorizadas por la Junta de Coordinación Metropolitana, y están en proceso de aprobación en cada uno de los municipios del AMG. En esta nueva versión del Estatuto, en el artículo 119, se menciona al Atlas Metropolitano de Riesgos (que, como se mencionó anteriormente, en el Estatuto anterior se denominaba "Mapa") como un instrumento de planeación metropolitana. De acuerdo con el artículo 122, el Atlas es:

**[...] el instrumento técnico que brinda las bases para el desarrollo de estrategias de gestión integral del riesgo, a través del análisis espacial y temporal en torno a la interacción entre los peligros, la vulnerabilidad y el grado de exposición de los agentes afectables. Es una herramienta fundamental que permite hacer una mejor planeación del desarrollo y diseñar estrategias puntuales de prevención y mitigación de riesgos en el territorio, que contribuyan al incremento de la resiliencia y la adaptación al cambio climático guardando congruencia con el Plan de Acción Climática.**

De esta manera, en el camino de los Atlas de Riesgos como instrumentos que guían los procesos de planeación urbana en el AMG, el objetivo principal de tener un Atlas Metropolitano de Riesgos es definir los criterios y lineamientos para reducción de riesgos y el diseño de

estrategias de mitigación, a través de su integración en los procesos de planeación, incluyendo, por ejemplo, el Programa de Desarrollo Metropolitano o del Plan de Ordenamiento Territorial.

En este contexto, y en consonancia con el marco legal antes señalado, los alcances del Atlas Metropolitano de Riesgos se abocan a la consecución de dos objetivos fundamentales. El primero de ellos es generar insumos para la planeación territorial compatibles con la cartografía de zonificación (primaria o secundaria), a partir de un modelo de riesgo probabilístico. El segundo establece una estrategia que se pueda replicar en la escala municipal en la medida que el marco regulatorio lo permita, para generar a mediano plazo; una estrategia de homologación de los instrumentos geográficos de análisis probabilístico del riesgo y, a partir de ello, una alineación de los lineamientos y criterios de planeación territorial entre la escala metropolitana y la municipal.

Para delimitar adecuadamente los alcances de la cartografía relacionada a la gestión integral de riesgos en el ámbito metropolitano, es importante tomar en cuenta las atribuciones asociadas al desarrollo urbano y planeación territorial en los municipios, dado que el Atlas de Riesgos Metropolitano no debe invadir estas atribuciones, por lo tanto, éstas constituyen una exclusión de los alcances que se deben perseguir en esta escala. Asimismo, la cartografía del Atlas de Riesgos Metropolitano debe asumir los principios de responsabilidad horizontal entre municipios y considerar cuidadosamente las facultades y competencias de este nivel de gobierno, conforme a la Cláusula Vigésimoprimera del Convenio de Coordinación Metropolitana del Área Metropolitana de Guadalajara. Para ello, se presenta una tabla con

las exclusiones de IMEPLAN y la representación cartográfica de riesgo que no se desarrollan en esta metodología por constituir materia de los municipios.

En el **CUADRO 2** se presenta una síntesis de las competencias de los ayuntamientos que restringen directamente el contenido cartográfico del Atlas Metropolitano de Riesgos y que limitan su alcance normativo, propositivo o restrictivo, como veremos más adelante en el capítulo **Primer componente metodológico. Identificación de usuarios y funciones**. Esto es muy importante, porque identificar las facultades y atribuciones, en el caso de los entes de gobierno, o bien, los intereses y perfiles de las organizaciones de la sociedad civil que juegan un rol en diversos momentos de la gestión integral de riesgos, son fundamentales para poder diseñar un instrumento útil para incidir en la reducción del riesgo de desastres. Cuando se diseñan instrumentos sin tener en consideración lo que una organización de la administración pública puede o no puede hacer, de acuerdo con las facultades y atribuciones que le concede su Ley Orgánica, estatuto o manual administrativo, hay mayores probabilidades de que los instrumentos desarrollados encuentren dificultades en su implementación o en su capacidad de orientar acciones públicas en el territorio.

A partir del **CUADRO 2** es posible ver que el Atlas de Riesgos Metropolitano es un instrumento que, primordialmente, debe enfocarse en analizar cómo los riesgos deben considerarse en la zonificación primaria de la metrópoli<sup>4</sup>; apoyar en la identificación de tendencias generales para la planeación y prestación de servicios públicos intermunicipales, así como identificar escenarios de riesgo que requieran la intervención coordinada de los municipios.

<sup>4</sup> Zonificación primaria refiere a "aquella en la que se determinan los aprovechamientos generales o utilización general del suelo, en las distintas zonas del área objeto de ordenamiento y regulación. Corresponde a los planes regionales de desarrollo urbano, programa municipal de desarrollo urbano y a los planes de desarrollo urbano de centros de población" (Art. 22 del Reglamento Estatal de Zonificación del Estado de Jalisco). Disponible en <https://bit.ly/3duxbpW>. Último acceso, 3 de junio de 2020.



**CUADRO 2. EXCLUSIONES A LA CARTOGRAFÍA DETERMINÍSTICA DE RIESGOS, EN TÉRMINOS DE LAS ATRIBUCIONES Y MATERIAS EXCLUSIVAMENTE MUNICIPALES**

FUNDAMENTO LEGAL	ATRIBUCIÓN MUNICIPAL	RESTRICCIÓN PARA LA CARTOGRAFÍA ASOCIADA A GESTIÓN DE RIESGO A ESCALA METROPOLITANA	
<b>Código Urbano del Estado de Jalisco</b>	Art. 10, Fracc. III, IV, VI, VII, XIX, XX, y XXIII	Formular y aprobar la zonificación de los centros de población en los programas y planes de desarrollo urbano; proponer la fundación de centros de población; fijar o modificar los límites de los centros de población; expedir el dictamen de usos y destinos, referidos a la zonificación del centro de población, área y zona donde se localice el predio, a efecto de certificar la utilización de los predios y fincas; expedir el dictamen de trazo, usos y destinos específicos, referidos a la zonificación del centro de población, área y zona donde se localice el predio, a efecto de certificar las normas de control de la urbanización y edificación, como fundamentos para la elaboración de los proyectos definitivos de urbanización o los proyectos de edificación.	Presentar cartografía que contenga elementos de zonificación de centros de población; fundaciones de centros de población; modificación de límites de centros de población; cartografía sobre usos y destinos referidos a la zonificación secundaria; cartografía sobre trazos, uso y destinos específicos como fundamento para proyectos de urbanización o edificación; o cartografía sobre áreas de cesión para destinos y equipamiento.
<b>Ley del Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado de Jalisco</b>	Art. 37 Fracc. XIV	Los municipios deberán formular, evaluar y revisar el Programa Municipal de Desarrollo Urbano y los planes de desarrollo urbano de centros de población. Los citados instrumentos deben observarse en la zonificación, el otorgamiento de licencias y permisos de construcción.	Presentar cartografía que contenga elementos de zonificación secundaria, restricciones para el otorgamiento de licencias y permisos de construcción.
<b>Ley del Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado de Jalisco</b>	Art. 37 Fracc. VIII	Expedir y aplicar los reglamentos relativos a la prestación de los servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales.	Presentar cartografía relacionada a la aplicación de reglamentos en materia de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales.

## 1.3. RIESGO, PELIGRO, AMENAZA, EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD EN EL ATLAS DE RIESGOS METROPOLITANO

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil (2012), el Atlas Nacional de Riesgos es un “sistema integral de información sobre los agentes perturbadores y daños esperados, resultado de un análisis espacial y temporal sobre la interacción entre los peligros, la vulnerabilidad y el grado de exposición de los agentes afectables”. En esta definición se consideran diversos componentes, cuyas definiciones se encuentran desglosadas en el **CUADRO 3**.

• • **CUADRO 3. DEFINICIONES DEL RIESGO Y SUS COMPONENTES EN LA LEY GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL**

COMPONENTE	DEFINICIÓN
<b>Peligro</b>	Probabilidad de ocurrencia de un agente perturbador potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo y en un sitio determinado.
<b>Riesgo</b>	Daños o pérdidas probables sobre un agente afectable, resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de un agente perturbador.
<b>Vulnerabilidad</b>	Susceptibilidad o propensión de un agente afectable a sufrir daños o pérdidas ante la presencia de un agente perturbador, determinado por factores físicos, sociales, económicos y ambientales.
<b>Agente afectable</b>	La población, vivienda, edificaciones, infraestructura estratégica, cultivos, instalaciones de fibra óptica, actividad productiva, capital ambiental y cultural, así como cualquier otro bien sujeto a los efectos de los fenómenos perturbadores.

**Fuente:** Ley General de Protección Civil (2012) y la Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos (2016) de CENAPRED.

El contenido conceptual de los términos que se utilizan en la legislación mexicana (contenidos en el **CUADRO 3**), son distintos a las perspectivas que se utilizan a nivel internacional. Ejemplo de ello es la **Revisión Técnica de la Terminología Actualizada Propuesta sobre Reducción de Riesgo de Desastres** (*Proposed Updated Terminology on Disaster Risk Reduction: A Technical Review*)<sup>5</sup> de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. En este documento es posible ver diferencias significativas con las definiciones propuestas en nuestra Ley General de Protección Civil. Algunas de las diferencias significativas son las siguientes:

Si bien, es posible observar que a partir de la comparación entre los **CUADRO 3** y **CUADRO 4**, la mayor divergencia conceptual radica en la definición de los términos "peligro" y "amenaza". Cabe señalar que en gran parte de los estudios sobre riesgo que existen en lengua española, ambos términos se tratan como si fueran sinónimos, aunque en esta metodología las trabajamos como elementos distintos. Este es un debate relevante; una parte importante de los disensos o controversias científicas de este campo de conocimiento es justamente esta diferenciación. Es esta una de las diferencias nodales de la propuesta que aquí presentamos, respecto a la estrategia que se desarrolló entre 2011 y 2018 en México para la elaboración de Atlas de Riesgos municipales, a partir del Programa de Prevención de Riesgos [en Asentamientos Humanos].

Para el desarrollo de una metodología que permita identificar de mejor manera el riesgo y sus componentes, tanto estáticos como dinámicos, utilizamos de manera diferenciada los conceptos "peligro" y "amenaza", mismos que repercuten de manera importante en la elaboración de la cartografía de estos dos componentes, así como en la de exposición. La perspectiva que se utiliza aquí es más cercana a la de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de

- • **CUADRO 4. DEFINICIONES DEL RIESGO Y SUS COMPONENTES, DE ACUERDO CON LA REVISIÓN TÉCNICA DE LA TERMINOLOGÍA ACTUALIZADA PROPUESTA SOBRE REDUCCIÓN DE RIESGO DE DESASTRES DE LA UNDRR**

COMPONENTE	DEFINICIÓN
<b>Amenaza</b>	Un evento físico, fenómeno o actividad humana potencialmente dañino, que puede causar la pérdida de la vida o heridas, daños en la propiedad, alteración social y económica, o degradación ambiental.
<b>Riesgo</b>	La combinación de la probabilidad de un evento amenazante y sus consecuencias, que resultan de la interacción entre amenazas naturales o antropogénicas, vulnerabilidad, exposición y capacidad.
<b>Vulnerabilidad</b>	Las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos o ambientales, que incrementan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de una amenaza.

Fuente: UNISDR (2015)

<sup>5</sup> El documento señalado es una revisión fundamentalmente sobre el contenido de la Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres (2009), también de la UNDRR (antes UNISDR), y del Marco de Acción de Sendai, aprobado en 2015 y ratificado por México. Esta revisión está disponible en el sitio <https://bit.ly/2AGa1hG>. Último acceso: 3 de junio de 2020.

Desastre, aunque los conceptos utilizados en la metodología se pueden consultar en el **Glosario**, donde vale la pena anotar cuál es la diferencia entre peligro y amenaza, y cómo se relaciona esto con los componentes estáticos y dinámicos del riesgo (consultar también la **Sección 5.3. Diferencia entre el peligro y la amenaza**).

El “peligro”, como lo marca la Ley General de Protección Civil (Artículo 2 Fracc. xxxvii), refiere a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino que se manifiesta con cierta intensidad, durante un cierto periodo y en un sitio determinado. El peligro refiere a la probabilidad de ocurrencia a mediano y largo plazo, de un fenómeno que rebase los umbrales en donde el impacto negativo es significativo; es decir, una probabilidad de un evento con un valor de origen de gran magnitud. Por ejemplo, el peligro puede ser una probabilidad, calculada a partir de datos de mediano y largo alcance, de que un evento de lluvia en una región específica sea mayor de 20 mm/día; por ejemplo, 5%. El día que esta probabilidad se materializa y ocurre un evento de 23 mm/día, el evento se traduce en una amenaza; por ejemplo, una inundación pluvial súbita. Es decir, la amenaza es una expresión activa (o materialización) del peligro, en un espacio y tiempo determinado y que, por lo mismo tiene una intensidad variable de acuerdo con su ubicación espacial<sup>6</sup>. En síntesis, mientras que el peligro es la probabilidad de que ocurra un evento en espacio y tiempo con suficiente intensidad como para producir daños, la amenaza es la expresión física específica en un espacio y tiempo determinado de ese fenómeno de gran fuerza.

Otro ejemplo para entender esta diferencia se puede distinguir a partir del riesgo sísmico. Mientras que el análisis de peligro radica en entender la probabilidad de ocurrencia (en tiempo y espacio) de un sismo de cierta magnitud, el análisis de amenaza busca entender cómo se manifiesta la intensidad de ese sismo en diferentes ámbitos territoriales a partir de factores como la distancia al epicentro y los efectos de sitio. Cabe señalar que un mismo peligro puede ser fuente de varios tipos de amenaza; por ejemplo, una lluvia que rebase un cierto umbral puede ser una de las causas de una inundación pluvial, pero también es coadyuvante de la ocurrencia de un deslizamiento de ladera.

En ese sentido, es relevante hacer notar que, a partir de las definiciones aquí expresadas, la *exposición* es un componente que se mide en función de la amenaza, no del peligro. Sin embargo, como profundizaremos en la **Sección 5.3. Diferencia entre el peligro y la amenaza**, ambos componentes son muy útiles en un Atlas de Riesgos. Conocer el peligro nos ayuda a saber las probabilidades de que ocurran fenómenos de gran magnitud, mientras que conocer la amenaza nos ayuda a tomar acciones específicas en el territorio antes de que el fenómeno impacte para reducir su intensidad (*mitigación*) o los efectos dañinos que esta intensidad pueda provocar en las personas y sus bienes. El conocimiento de peligro, la amenaza y las vulnerabilidades permiten estimar la condición de riesgo y definir acciones de gestión para evitar que éste llegue a niveles críticos o intolerables, que con alta probabilidad resultarán en desastres.

<sup>6</sup> El concepto de amenaza no aparece en la Ley General de Protección Civil del 6 de junio de 2012. Sin embargo, el 10 de diciembre de 2020 se aprobó en la Cámara de Diputados el Decreto por el que se expide la Ley General de Gestión Integral del Riesgo de Desastres y Protección Civil para su discusión y eventual aprobación en la Cámara de Senadores; en este Decreto, el concepto de amenaza es el siguiente (Artículo 3 Fracción III): “Amenaza: suceso natural o antrópico que puede desencadenar una situación de emergencia o desastre que involucre afectaciones directas o indirectas, pudiendo ser individuales, múltiples o concatenadas en el tiempo, y sus efectos espaciales de escala local, regional, nacional o internacional, que puede ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, disrupciones sociales y económicas o daños ambientales”.

Como puede observarse, el concepto de amenaza que se establece en el Decreto coincide con la acepción de amenaza utilizada en esta metodología: la expresión física específica en un espacio y tiempo determinado de ese fenómeno.





## 1.4. COMPONENTES DINÁMICOS Y COMPONENTES ESTÁTICOS DEL ATLAS DE RIESGOS METROPOLITANO

Un aspecto importante de la discusión que se ha dado en nuestro país relativa a los Atlas de Riesgos está en las posibilidades reales de diseñar instrumentos que mantengan su vigencia y estén permanentemente actualizados. Este aspecto es crucial por dos razones. La primera es que los componentes del riesgo (peligro, amenaza, vulnerabilidades, exposición y capacidad) son de naturaleza multifactorial y dinámica, y cambian constantemente en el tiempo. La segunda razón es que se debe procurar la utilidad de estos instrumentos en el mediano plazo, particularmente si una de sus funciones primordiales es informar a los procesos de planeación territorial, como cuando se trabaja para una escala metropolitana. Sin embargo, los diseños de políticas públicas que se derivan de los instrumentos de planeación, así como los diversos actos administrativos que conlleva su aplicación, requieren de instrumentos que representen de maneras fijas y hasta cierto punto estáticas, los procesos territoriales; es decir, requieren representar esos fenómenos de maneras compatibles a los ordenamientos jurídicos a los que responden.

Este tema es de una gran relevancia para entender las dificultades que se presentan al momento de integrar u operacionalizar un Atlas de Riesgo en procesos de planeación y desarrollo urbano. Los lenguajes cartográficos de los productos científicos, esencialmente probabilísticos y, en muchas ocasiones, dinámicos, requieren de una "traducción" a representaciones que permitan la toma de decisiones y la certeza jurídica sobre dichas decisiones. Esto no implica que el

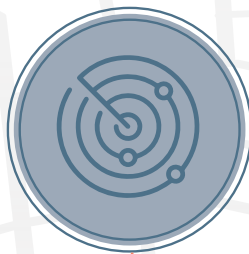
Atlas de Riesgos se "congele", sino que otorgue un nivel aceptable de certeza social sobre la aplicación de las medidas, restricciones y acciones que se definen en el territorio para reducir el riesgo.

Así, el Atlas Metropolitano de Riesgos (y también los municipales) debe construirse a través de estrategias cartográficas que permitan compatibilizar ambos tipos de representación, en aras de facilitar su aplicación en diversos procesos de gestión de riesgo, incluyendo la planeación urbana. Por ello, dedicamos esta sección a revisar los elementos que conforman un Atlas de Riesgos, con el objeto de identificar cuáles son los componentes estáticos o con una periodicidad más lenta de actualización y cuáles son los componentes dinámicos susceptibles de ser modelados a partir de un flujo constante y/o automatizado de información.

En la definición de cada uno de estos componentes del Atlas, es posible observar que algunos de éstos deberían tener representaciones de carácter dinámico (por ejemplo, los mapas de peligro), mientras que los mapas de bienes expuestos y los de estimación de daños tienen una actualización mucho más lenta y costosa. Para ello, es importante considerar el tipo y disponibilidad de datos a partir de los cuales se suele construir esa representación cartográfica. Mientras que los mapas de vulnerabilidad social utilizan variables sociodemográficas, económicas (personas) o de parámetros físico-estructurales (edificaciones) que no cambian rápidamente y cuyas fuentes se actualizan con una periodicidad de años debido a su costo.

Los mapas de amenaza pueden incluir dos tipos de elementos dinámicos:

**1**  
Fuentes de datos dinámicas y/o continuas, tales como imágenes de satélite o registros instrumentales (estaciones meteorológicas, acelerómetros, radar, etcétera).



**2**  
Simulaciones dinámicas a partir de bases de datos existentes. Por ejemplo, la simulación dinámica de inundaciones que combina datos de suelos, modelo digital de elevación y los datos pluviométricos de las bases de datos de estaciones meteorológicas.

Considerar aspectos dinámicos implica que los Atlas de Riesgo deben solventar, en la medida de lo posible, los problemas que conlleva representar fenómenos cuya escala operacional emerge en escalas distintas, y que además son conocidos a partir de fuentes de datos muy variadas. En este Atlas de Riesgos Metropolitanos se desarrolla un ejemplo de esta combinación de fuentes de datos estáticas y dinámicas, las cuales se ampliarán en el capítulo **Componente Metodológico 4. Modelación dinámica de inundaciones**.

Otro aspecto de este Atlas Metropolitanos de Riesgos es que si bien la caracterización de la vulnerabilidad social se construye a partir de variables esencialmente estáticas, se hizo a partir de una metodología que permite fácilmente su actualización, como se verá con detalle en el

capítulo **Componente metodológico 3. Modelación de vulnerabilidad social**. Se construye con información censal existente y variables que se actualizan de manera regular, de manera que cuando se publiquen datos nuevos, el índice y sus componentes se pueden replicar con los mismos parámetros y principios. Esto implica que podemos tener comparaciones sobre el comportamiento de variables clave, tanto en el tiempo (en una serie temporal) como en el espacio (entre unidades territoriales). En síntesis, si bien la información no es propiamente dinámica, la construcción de los índices de vulnerabilidad social que se utilizan y cada uno sus componentes pueden mantener su vigencia y utilizar los datos disponibles a nivel de Área Geostatística Básica, localidad y municipio tan pronto como éstos son publicados.



## 1.5. REPRESENTACIONES PROBABILÍSTICAS Y DETERMINÍSTICAS EN EL ATLAS DE RIESGOS

Un aspecto adicional que debe considerarse en un Atlas de Riesgos Metropolitano, a partir de las características descritas en las secciones precedentes, es la diferencia entre las representaciones probabilísticas, de las representaciones determinísticas. Mientras que el riesgo y el peligro pueden representarse de ambas maneras, la vulnerabilidad social (que suele construirse a partir de variables nominales y ordinales<sup>7</sup>) y la cartografía orientada a la toma de decisiones, tales como la zonificación son representaciones netamente determinísticas. ¿Cuál es la diferencia entre ambos? Una definición básica se puede encontrar en el **CUADRO 5**.

En las **FIGURA 2** y **FIGURA 3** podemos ver la diferencia entre ambos tipos de representación. La **FIGURA 2** es un ejemplo de la representación probabilística del peligro sísmico en Japón; el mapa muestra la probabilidad de afectación de cada sitio, considerando todos los sismos posibles que generan intensidades 6 (seis menos) o mayores (escala de intensidad sísmica JMA) en el plazo de 30 años, para un periodo a partir de enero de 2010.

### CUADRO 5. DIFERENCIA ENTRE LA REPRESENTACIÓN PROBABILÍSTICA Y DETERMINÍSTICA

<b>Probabilística</b>	Muestra la probabilidad de ocurrencia o excedencia de un determinado fenómeno (peligro) o daño (riesgo) en un periodo. Siempre tiene un componente de incertidumbre y es un cálculo dinámico de varios escenarios.
<b>Determinística</b>	Muestra el cálculo de las características de un fenómeno a partir de parámetros conocidos, bajo supuestos previos. No incluye el componente de incertidumbre; representa los fenómenos de manera estática y se construye a partir de un solo escenario.

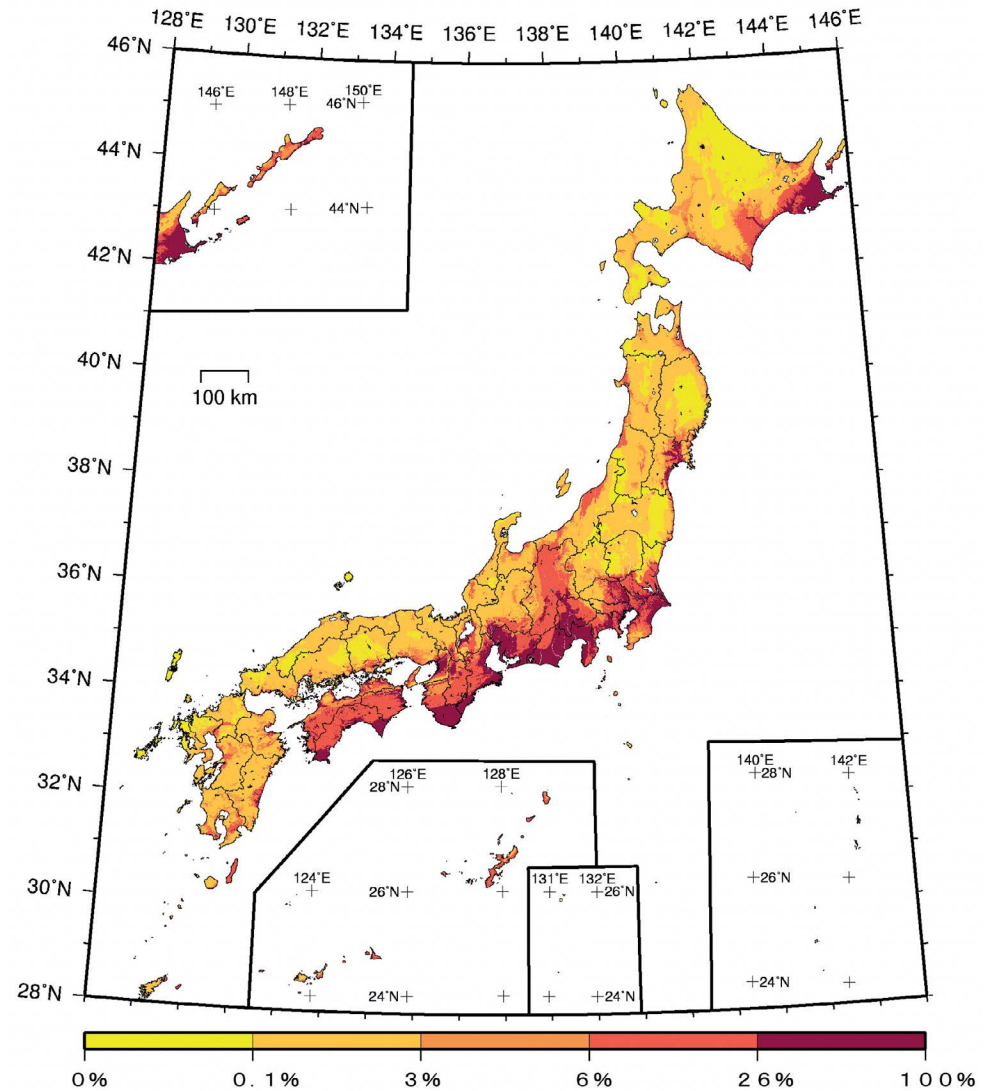
Fuente: adaptado de UNISDR (2015B)

<sup>7</sup> La vulnerabilidad social tiene, en su mayoría, una construcción a partir de variables discretas. Aunque puede haber variables continuas para medir esta dimensión (por ejemplo, el ingreso), es mucho menos frecuentes que las variables discretas. Otras dimensiones de la vulnerabilidad (por ejemplo, diversos parámetros de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones) sí se expresan a través de variables continuas.

**FIGURA 2. EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN PROBABILÍSTICA DE PELIGRO**

La **FIGURA 3** muestra una forma de representación totalmente distinta. A partir de un cálculo de vulnerabilidad socioeconómica, que tiene como base varios indicadores integrados en un modelo de componentes principales de tipo cualitativo y de una interpolación espacial, el autor propone una zonificación de la vulnerabilidad en Manzanillo. Esta representación es determinística puesto que no calcula la probabilidad de ser vulnerable, sino mide la vulnerabilidad a partir de parámetros discretos que se conocen a partir de una encuesta, en un momento del tiempo específico, a partir de la construcción de un escenario.

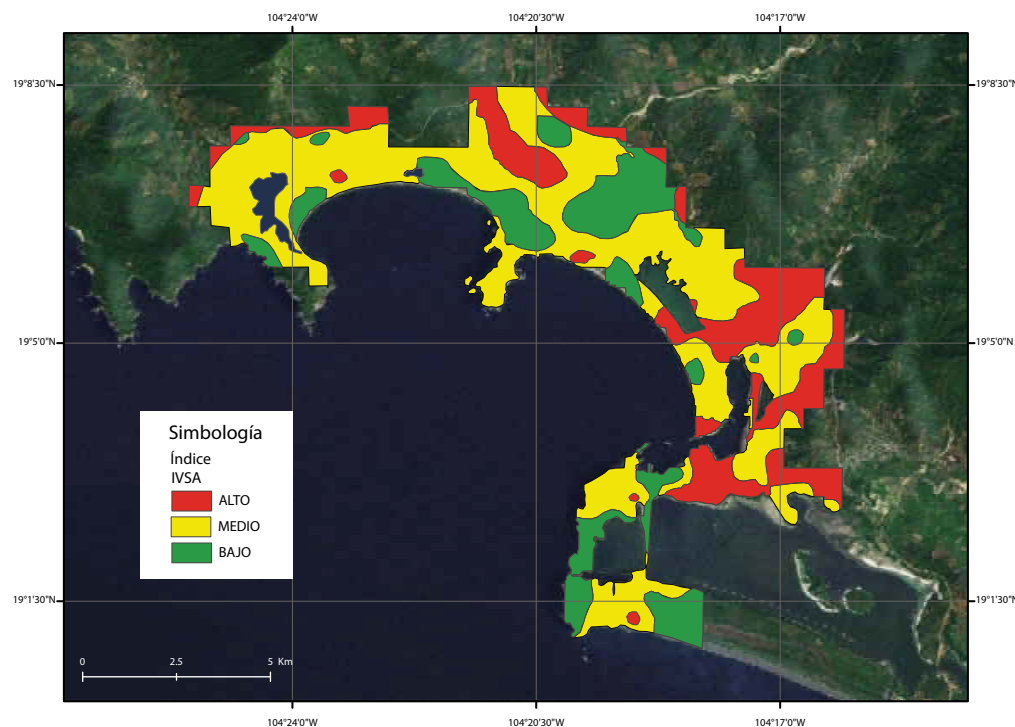
En los Atlas de Riesgos suele haber ambos tipos de representación. Cada uno de ellos expresa de manera distinta los componentes del riesgo, y tiene funciones diferenciadas en términos de comunicación y de vinculación con otros instrumentos de ordenamiento territorial. Es particularmente importante señalar que, para que un Atlas de Riesgos pueda aplicarse como parte de una zonificación primaria o secundaria, los temas que integran el Atlas deben 'traducirse' o representarse en cartografía determinística. El aspecto dinámico y de incertidumbre propio de la cartografía probabilística es incompatible con la naturaleza de los instrumentos de zonificación, los cuales son poco flexibles por su naturaleza jurídica. Esto quiere decir que los mapas probabilísticos son una gran fuente de conocimiento del riesgo, pero no son aplicables de manera automática a la definición de las acciones y criterios para el ordenamiento territorial, de manera directa; hay que "traducirlos" a otros productos determinísticos, que puedan ser utilizados para la toma de decisiones en los procesos de gestión del riesgo. Este tema se abordará en el siguiente capítulo.



Fuente: National Seismic Hazard Maps, Japan Seismic Hazard Information System (J-SHIS)<sup>8</sup>

<sup>8</sup> El catálogo de cartografía se encuentra disponible en el sitio: <http://www.j-shis.bosai.go.jp/en/shm>. Último acceso: 6 de junio de 2020.

**FIGURA 3. EJEMPLO DE LA REPRESENTACIÓN DETERMINÍSTICA DE LA VULNERABILIDAD EN EL PUERTO DE MANZANILLO EN 2013**



## 1.6. A MODO DE CIERRE

En esta introducción hemos presentado algunos aspectos básicos para comprender las particularidades de un Atlas de Riesgos Metropolitanos, así como los elementos básicos que diferencian esta propuesta respecto a otras metodologías que existen en nuestro país. Este capítulo abordó los siguientes temas:

- Cuál es el objetivo de tener un Atlas de Riesgos Metropolitanos desde el punto de vista institucional.

- Cuáles son los principales retos para representar el riesgo y sus componentes, desde el punto de vista de los sistemas de información geográfica y la cartografía que se deriva de éstos.
- Cuáles son los conceptos fundamentales que se utilizan para sustentar esta metodología, sus semejanzas y diferencias con los que se utilizan en el marco legal de México y con la terminología de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres.

# Ideas fuerza del **CAPÍTULO 1**

**L**os Atlas de Riesgos municipales y los metropolitanos tienen funciones distintas. Mientras que los municipales se deben utilizar principalmente en procesos de zonificación secundaria y en tareas de protección civil, los metropolitanos se deben utilizar en **zonificación primaria y planeación intrametropolitana** de los servicios públicos y el ordenamiento territorial.

Los Atlas de Riesgos deben considerar la escala geográfica más conveniente para el procesamiento y visualización de los diferentes aspectos que representan (peligro, amenaza, exposición, vulnerabilidad, entre otros), combinando de manera óptima la **extensión, resolución y agregación de los datos**, así como hacer explícitas las **falacias** que se derivan de éstos.

Existe una diferencia sustantiva entre peligro y amenaza. Mientras que el peligro habla de la **probabilidad de ocurrencia** de un fenómeno en una manifestación de magnitud alta, la amenaza es una **expresión activa** (o materialización) en un espacio y tiempo específicos, de ese fenómeno de gran magnitud.

La exposición se mide en función de la amenaza, no del peligro. El peligro sirve para algo distinto: conocer la probabilidad de que ocurran fenómenos de gran magnitud en un periodo de determinado.

**Los Atlas de Riesgos combinan fuentes de datos estáticas y dinámicas.** Las fuentes de datos dinámicas provienen de fuentes que se actualizan constantemente, como registros instrumentales o imágenes de satélite; o bien, de modelos dinámicos a partir de bases de datos ya conformadas. **Las fuentes de datos estáticas deben procurar ser actualizables y replicables** en el tiempo para poder mantener la vigencia del Atlas.

Los Atlas de Riesgo contienen representaciones probabilísticas y determinísticas de diferentes aspectos relacionados al riesgo y su gestión. Mientras **las representaciones probabilísticas se enfocan en la probabilidad/incertidumbre** de un fenómeno (*peligro*) o daño (*riesgo*), en un periodo, las **representaciones determinísticas miden los fenómenos a partir de parámetros conocidos**, de manera estática.





**COMPONENTE METODOLÓGICO 1**

# IDENTIFICACIÓN DE USUARIOS Y PROCESOS



---

Una de las diferencias más relevantes de la propuesta que se presenta en este libro, respecto a lo que se propone en la metodología que se utilizó por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano sobre Atlas de Riesgos (SEDATU, 2017), es que consideramos que el punto de partida de los Atlas de Riesgos no está en el análisis de los fenómenos, sino en la comprensión de los procesos de gestión de riesgos que sus usuarios potenciales deben atender o resolver a través de éste instrumento, así como sus recursos, conocimientos y necesidades. Reflexiones similares se han planteado desde hace años en el Centro Nacional de Prevención de Desastres en las metodologías propuestas por sus especialistas (Guevara Ortiz, 2006).

Esto, por supuesto, no quiere decir que el conocimiento científico sobre el fenómeno, el peligro y la amenaza tenga una importancia secundaria; todo lo contrario. Sin embargo, consideramos que el paso previo a modelar el riesgo a partir del conocimiento científico de sus componentes (y las relaciones entre ellos), es primordial para entender a los usuarios (servidores públicos en diversas áreas de gobierno, organizaciones de la sociedad civil, profesionistas de la ingeniería, planeadores urbanos, entre muchos otros), y adaptar el conocimiento existente a las tareas específicas que estos actores e instituciones realizan para reducir las vulnerabilidades y mitigar las amenazas. El principio que seguimos es que un Atlas de Riesgos debe ser un vehículo para lograr tres cosas:



Hacer accesibles los saberes sobre el riesgo y sus componentes para que los actores sociales, de manera coordinada, puedan realizar las acciones conducentes a su reducción.



Modelar el riesgo de la manera más dinámica y actualizada posible a partir del mejor conocimiento científico disponible.



Ser el vehículo para sistematizar el conocimiento que diversas instancias técnicas y ciudadanas tienen sobre estos temas a partir de su práctica profesional y conocimiento del territorio.

Este capítulo se dedica a presentar una serie de elementos metodológicos orientados a identificar a los usuarios de los Atlas de Riesgos. Aunque el contenido se refiere directamente al Atlas de Riesgos Metropolitano del Área Metropolitana de Guadalajara, se explican los principios con el objeto de que se puedan replicar en el contexto de otras áreas metropolitanas, e incluso de municipios, con los debidos ajustes a la escala de trabajo. El capítulo explica por qué los Atlas de Riesgos deben priorizar algunos principios básicos de comunicación de riesgos, por ejemplo, cómo identificar los diversos resultados de gestión integral de riesgos (*procesos misionales*); y finalmente, muestra un flujo de trabajo para construir un sistema de información geográfica y/o cartografía temática orientada a informar cada una de estas tareas.



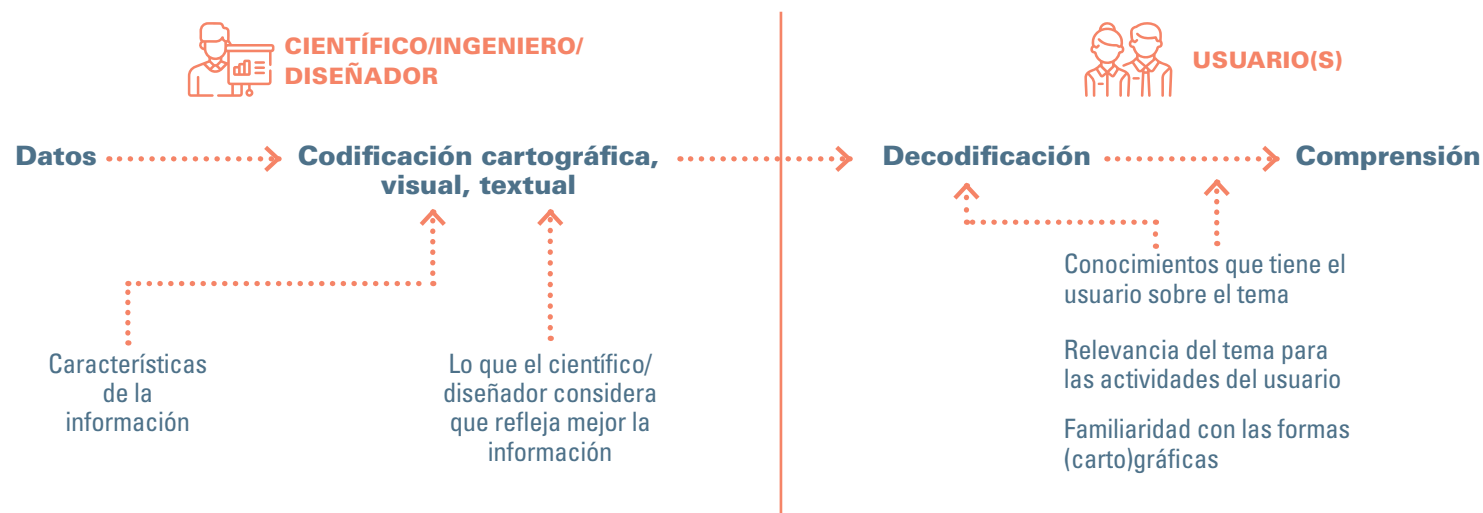


## 2.1. LOS ATLAS DE RIESGOS COMO TECNOLOGÍAS PARA LA COMUNICACIÓN DE RIESGOS

El Atlas de Riesgos, además de ser un producto elaborado a partir del conocimiento científico, es utilizado ampliamente por personas con variados niveles de especialidad. No todos los que utilizan un Atlas de Riesgos son expertos científicos que trabajan en esta área de conocimiento. Entre sus usuarios hay personas expertas en otras áreas, como el derecho, la arquitectura o la administración pública; por otro lado, los Atlas de Riesgos son usados por personas que no son expertas en áreas científicas o técnicas, pero que conocen los problemas que se manifiestan en los lugares donde viven, circulan o trabajan, y están legítimamente involucradas en la gestión del riesgo como un problema de interés público.

La brecha entre los diferentes grupos (expertos científicos, expertos en áreas no científicas, y usuarios no expertos) se ahonda más cuando se trabaja con cartografía y geovisualizadores. La información que se presenta en este tipo de medios tiene un lenguaje específico que requiere competencias digitales e informacionales específicas en los usuarios. Utilizar sistemas de información geográfica (ámbito virtual) o mapas (ámbito analógico) representa un reto para usuarios no familiarizados con el lenguaje cartográfico, por lo cual se presentan de manera diferenciada los aspectos que debe contener un Atlas de Riesgos para ser útil a sus destinatarios.

FIGURA 4. DE LA CODIFICACIÓN A LA COMPRESIÓN EN DISTINTOS USUARIOS DE CARTOGRAFÍA



Fuente: adaptado de Cairo (2013, p. 60)

La **FIGURA 4** nos muestra algunos de los procesos que tienen lugar en el camino entre el modelo científico del riesgo y los usuarios a quienes va destinado ese contenido.

Algunos de los problemas notables en el uso de los Atlas de Riesgos radican en que los usuarios tienen diversas profundidades en el manejo del lenguaje técnico; por ejemplo, muchas personas no identifican las diferencias conceptuales entre riesgo, vulnerabilidades, peligro, amenaza o terminología propia de un Atlas de Riesgo. Es decir, la información que se despliega en una capa de información requiere de una serie de procesos que dependen de recursos interpretativos previos. Los usuarios tienen también diferentes experiencias con la interfaz dinámica de un geoportal o aplicación. Sus posibles experiencias con aplicaciones cartográficas influyen de manera importante en su capacidad de ubicar espacialmente la información de su interés y de comprender los estándares de posicionamiento geográfico propios de estas interfaces (Ruiz, 2020).

La identificación de los perfiles de estos usuarios se hizo en este trabajo bajo el principio de que estos grupos de distintos perfiles e intereses se identifican como “comunidades epistémicas” (Haas, 1992), que son agentes que “circulan ideas y creencias normativas, que crean intereses y preferencias y ayudan a identificar quiénes son los participantes legítimos de los procesos políticos” (Smelser y Baltes, 2001, p. 11579). Estas comunidades epistémicas mantienen un conjunto compartido de creencias, normas y principios que generan una base de valores para la acción social, y establecen criterios para ponderar y validar cierto conocimiento en su área de competencia profesional. De esta manera, consideramos que los perfiles profesionales y organizacionales de los agentes seleccionados reflejan, por un lado, los intereses y necesidades de sus respectivos ámbitos de acción, al tiempo que permitirán facilitar la validación y legitimación del resultado en sus respectivos contextos institucionales.

Si bien, el uso de los sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del riesgo de desastre y, en general, para el ordenamiento territorial, forma parte de las recomendaciones de los marcos internacionales para la reducción de riesgo de desastres (Organización de las

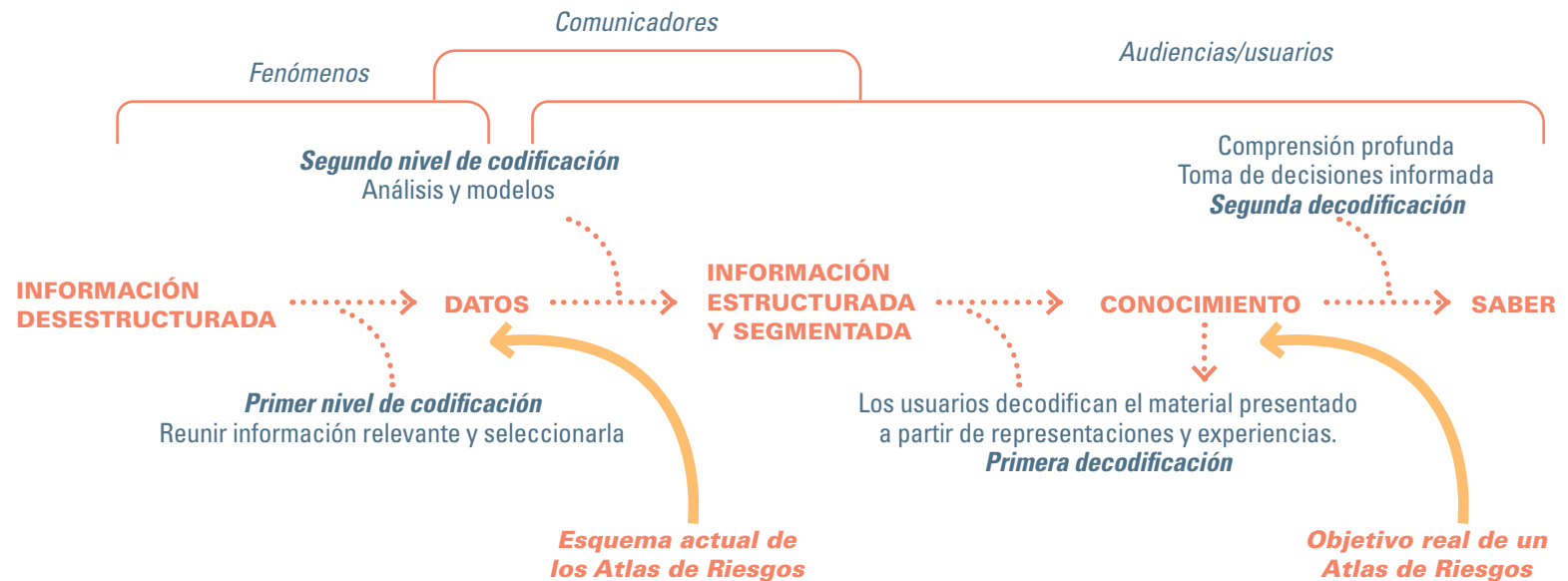
Naciones Unidas, 2015) (Acciones 24c; 25c y 25 g). Lo cierto es que existen muy pocas experiencias que responden a las necesidades de comunicación del riesgo que hemos señalado. Para el caso de México, los avances existentes se enfocan, sobre todo, en la comunicación de riesgo en contextos comunitarios expuestos a amenazas (Alcántara y Moreno, 2016) y en la construcción de alertas tempranas (Alcántara-Ayala, 2018; Macías y Avendaño García, 2015). A partir de estas importantes lecciones es que vemos la necesidad de identificar puntos críticos en diversas fases del proceso de gestión integral del riesgo, las cuales el Atlas de Riesgos debe considerar y atender, y por eso el sistema de información parte del usuario del Atlas como el elemento central a partir del cual se diseña el sistema en lugar de los fenómenos físicos.

La experiencia de los usuarios, su interpretación del contenido del Atlas de Riesgos, las acciones y decisiones que a partir de ello toman, las estudiamos con base en un enfoque denominado “hermenéutica”. La hermenéutica en los sistemas de información geográfica la comprendemos a través de Gould (1994, p. 1110), quien sostiene que “el objetivo primordial de un SIG debería ser mejorar la interacción del usuario con información geográfica o con problemas geográficos, no con hardware o software”, ya que “el diseño subyacente de un SIG debería responder a la pregunta de qué hace una persona o usuario con la información geográfica, (con o sin computadoras)”. En este tenor, el objetivo de cualquier Atlas de Riesgos en general debería ser el de ser un instrumento para la sistematización y consulta de datos e información que permita a los usuarios consultar los datos sobre los problemas geográficos que deben atender, por ejemplo, los servidores públicos municipales, de manera que dicho instrumento les facilite incidir en su solución. Para ello, es necesario identificar en líneas generales los aspectos cartográficos, gráficos, técnicos y políticos necesarios para representar adecuadamente los modelos probabilísticos del riesgo y las salidas determinísticas asociadas a éste en el marco del Atlas de Riesgos Metropolitano.

Para lograr el mejor efecto posible dentro de un contexto de usuarios muy diversos, un Atlas de Riesgos requiere incluir dentro de su diseño, elementos diferenciados que permitan influir en la sistematización y comprensión de la información y que, al apropiarse el



**FIGURA 5. MODELO BÁSICO DATOS-INFORMACIÓN-CONOCIMIENTO-SABER (DIKW HIERARCHY) APLICADO A LOS ATLAS DE RIESGOS**



Fuente: adaptado de Cairo (2013, p. 16)

usuario para interpretar su realidad, pueda convertirla en conocimiento. Este sería el principio básico para generar un Atlas de Riesgos que sirva para sustentar las acciones orientadas a la reducción del riesgo que le toca hacer. En la **FIGURA 5** vemos que el paso inicial (tener información) no necesariamente implica que ésta nos sirva ni que nos lleve a tomar una decisión o realizar una acción adecuada. Entre estos dos extremos, se requiere 1) que la información sea relevante, 2) que esté estructurada y segmentada, 3) que se presente a través de un medio adecuado o conveniente al usuario y 4) que sea decodificada o comprendida a partir de las experiencias de este usuario.

Un ejemplo de la relevancia de este proceso está en la creencia frecuente de que contar con un modelo probabilístico de riesgo, diseñado por especialistas del área científica, implicaría automáticamente que un servidor público de otra especialidad (por ejemplo, un

arquitecto que trabaje en un área de ordenamiento territorial de un municipio), podría dictaminar una obra pública en materia de riesgo tan sólo consultando el Atlas de Riesgos. Nada más lejos de las atribuciones, funciones y experiencia de estos usuarios. Un paso crucial para que cualquier Atlas de Riesgos pueda acercarse a sus objetivos es que su diseño sea comprensible para el usuario al que está destinado.

Otro aspecto fundamental, además de conocer y comprender a los usuarios de los Atlas, es entender en qué parte del proceso de gestión integral de riesgos participa cada uno de ellos. La modelación del riesgo y sus componentes es útil, tanto que ayuda a los múltiples aspectos de la reducción del riesgo de desastres: mitigar las amenazas, reducir las vulnerabilidades e incrementar las capacidades. Este punto tan importante se abordará en la siguiente sección.

## 2.2. LOS ATLAS DE RIESGOS Y LOS PROCESOS DE GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO

Como se abordó detalladamente en la introducción a este documento, a partir de la escala (municipal, estatal y, en este caso, metropolitana) el Atlas se inserta en un conjunto de normativas, incluso de carácter constitucional, sobre las competencias propias de cada nivel de gobierno. Los municipios realizan tareas muy distintas de las entidades federativas y, en particular, dentro del marco del Sistema Nacional de Protección Civil, que establece que los diferentes integrantes de este sistema operan bajo los principios de subsidiaridad, complementariedad y distribución estratégica de acciones; es claramente relevante entender qué necesidades de información requiere cada uno de ellos para cumplir con las acciones que le son propias.

En este contexto, los Atlas de Riesgos son instrumentos multi-propósito. Sin embargo, en nuestro país sigue la confusión entre el contenido de los Atlas, las facultades y atribuciones que tienen los usuarios de éstos que pertenecen a la administración pública, particularmente en estados, áreas metropolitanas y municipios. Es decir, no es factible esperar que el Atlas Nacional de Riesgos tenga una utilidad específica en el ámbito municipal y esperar que un Atlas de Riesgos Metropolitano responda a las mismas necesidades que un Atlas municipal. Las aplicaciones específicas de cada uno de ellos dependen de dos cosas:

- Las *facultades y atribuciones* de cada nivel de gobierno, sea municipal, estatal o federal (aspecto al cual va vinculado lo que la ciudadanía, organizada o no, puede esperar en cuanto

a sus alcances); o bien, del ámbito metropolitano, que no es un nivel de gobierno pero sí de coordinación.

- Las tareas que constituyen los diferentes *procesos clave* de la gestión integral de riesgos.

Aunque existen muchos trabajos sobre qué es la gestión del riesgo de desastre (Bollin et al., 2003; Lavell, 2010; Oliver-Smith et al., 2016; UNISDR, 2004), para los propósitos de esta metodología utilizaremos la perspectiva de Narváez, Lavell y Pérez (2009), quienes desglosan los componentes de la gestión de riesgos en seis procesos clave (**CUADRO 6**), que responden a hitos, es decir, a las distintas fases del proceso riesgo-desastre. En ese libro, los autores proponen que las acciones de intervención relacionadas a la gestión de riesgos se dividan en gestión correctiva (el conjunto de acciones tendientes a reducir el riesgo ya existente) y gestión prospectiva (acciones que se abocan a atender a la creación del riesgo futuro) (2009, p. 41).

A diferencia de otras perspectivas de gestión del riesgo, la de estos autores es útil para plantear procesos de manera transversal, no solamente sectorial o a través de funciones específicas. Consideramos que esta visión es muy útil para esta metodología, puesto que para los objetivos de un Atlas de Riesgos Metropolitano descritos en el capítulo introductorio, estas funciones recaen no solamente en la instancia metropolitana de planeación, sino también en otras que colaboran y se coordinan, tanto de manera vertical como horizontal.

## CUADRO 6. PROCESOS CLAVE DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGO

PROCESO CLAVE	OBJETIVO
<b>1</b> Generar conocimiento sobre el riesgo de desastres en sus diversos ámbitos	Disponer y difundir datos, información y conocimiento que permita y facilite la efectiva gestión del riesgo a través de todos sus procesos constitutivos de forma tal que sean asequibles a quienes tienen que tomar decisiones.
<b>2</b> Prevenir el riesgo futuro	Limitar el desarrollo de los factores de riesgo de desastre en la sociedad a través de una gestión territorial-ambiental adecuada.
<b>3</b> Reducir el riesgo existente	Minimizar los factores del riesgo existentes para evitar o limitar el impacto adverso de los eventos peligrosos en la sociedad.
<b>4</b> Preparar la respuesta	Desarrollar capacidades, instrumentos y mecanismos para responder adecuadamente ante la inminencia y/o la ocurrencia de amenazas.
<b>5</b> Responder y rehabilitar	Atender oportunamente las necesidades básicas e inmediatas de las poblaciones expuestas a una amenaza y prever la aparición de nuevas condiciones de riesgo.
<b>6</b> Recuperar y reconstruir	Restablecer condiciones aceptables y sostenibles de desarrollo económico y social de la comunidad afectada, reduciendo el riesgo a un nivel menor del que existía antes del desastre.

Fuente: Narváez et al. (2009, Sección 4)

De acuerdo con Narváez et al. (2009, pp. 47-48), en este enfoque se identifican los siguientes cuatro elementos:

1. Los insumos que la organización recibe de proveedores externos (extrae y asimila del entorno) para transformarlos en un producto o resultado final.
2. Los procesos, constituidos por las interacciones sucesivas que deben existir entre las unidades que intervienen y participan dentro de la organización para transformar, progresivamente y en forma conjunta, los insumos hasta obtener el producto o resultado final esperado.
3. El producto o resultado final que la organización genera de acuerdo con los requerimientos y las especificaciones del cliente o usuario externo.
4. El cliente o usuario del producto, que también alimenta al sistema con sus requerimientos y las especificaciones o características del producto que se quiere lograr.

Esto quiere decir que, en un enfoque basado en procesos, el sistema (en este caso, el Atlas de Riesgos) identifica una misión a la cual se llega a través de vínculos interdependientes entre sus componentes (procesos) a partir de reorganizaciones sucesivas y de autoaprendizaje en las cuales el producto final (Atlas de Riesgo) se orienta a un resultado o solución de un problema y en el cual el usuario es parte del sistema, lo alimenta y retroalimenta, y es el referente para definir el producto que necesita.

En el caso del Atlas de Riesgos Metropolitanos, por la escala de éste y por las atribuciones diferenciadas entre las instancias de coordinación metropolitana, el estado y los municipios, podríamos definir que el Atlas de Riesgos se orienta esencialmente a algunas tareas de los tres primeros procesos clave: 1) generar conocimiento sobre el riesgo de desastres en sus diferentes ámbitos, 2) prevenir el riesgo futuro y 3) reducir el riesgo existente. Las funciones asociadas a preparar la respuesta, responder y rehabilitar, recuperar y reconstruir corresponden legalmente al ejecutivo estatal y a los ayuntamientos, a través de instancias como los Comités Municipales de Protección Civil, que deberían estar incluidos en los atlas de riesgos municipales y en el estatal.

Por ello, nos centraremos en analizar el proceso del Atlas de Riesgo Metropolitanos, en sus objetivos de gestión correctiva y prospectiva, a partir de los tres procesos clave mencionados.

Este diagrama sintetiza en buena medida la estrategia metodológica que se propone para el Atlas de Riesgo Metropolitanos. El proceso clave de la primera fase del proyecto (generar conocimiento sobre el riesgo) no comienza por la búsqueda de insumos (datos) como primer paso, que en un modelo funcional, como el descrito por Narváez et al. (2009), correspondería a Atlas estructurados de la manera tradicional, a partir de cada tipo de riesgo: geológico, hidrometeorológico, químico-tecnológico etcétera; al contrario, en el proceso sugerido en esta metodología, se recomienda proceder de una manera completamente distinta: se identifica primero la misión (conocer el riesgo, planear respuestas a la emergencia, etc.), para diseñar un producto (atlas de riesgos, cartografía, matrices, manuales) a partir de requerimientos y especificaciones (definidas por usuarios) y sólo entonces se determinan los insumos (datos) que se requieren para aproximarnos a partir de retroalimentaciones sucesivas a la meta final, mejorando gradualmente a partir de la incorporación de más y mejores datos, refinando el análisis de datos, etcétera. Es de esta manera como facilitamos que la misión (para el caso de este ejemplo, el proceso clave 1, conocer el riesgo) tenga más posibilidades de alcanzarse a través de estas acciones de gestión de riesgo de desastre.

Con base en las recomendaciones señaladas en el apartado anterior, la estrategia específica a seguir es generar una segmentación del Atlas de Riesgos bajo tres principios:

- El perfil del usuario.
- La misión y proceso clave dentro del esquema general de gestión integral del riesgo.
- Los productos que progresivamente ayudan a la consecución de la misión.

Así, en estas recomendaciones se proponen ejemplos específicos de la estructuración del sistema de información. En el **CUADRO 7** se muestra un ejemplo de cómo realizar una identificación específica de los productos que requieren diversos usuarios.



• • **CUADRO 7. EJEMPLO DE DESGLOSE PARA IDENTIFICAR EL PRODUCTO, A PARTIR DEL PERFIL DE USUARIO Y DEL PROCESO CLAVE**

COMPONENTE	EJEMPLO A	EJEMPLO B
<b>a) Perfil del usuario</b>	Urbanista o arquitecto en áreas de planeación metropolitana.	Técnico especialista en un área relativa a protección civil municipal.
<b>b) Facultad o atribución en materia de Gestión Integral de Riesgo conferida al usuario</b>	Desarrollar los instrumentos de planeación metropolitana y proyectos específicos.	Técnico especialista en un área relativa a protección civil municipal.
<b>c) Fundamento legal de facultades y atribuciones</b>	Artículo 71 Fracc. VI del Estatuto Orgánico de las Instancias de Coordinación Metropolitana del Área Metropolitana de Guadalajara.	Artículo 12 Fracc. XIII de la Ley de Protección Civil del Estado de Jalisco.
<b>d) Misión o proceso clave dentro del esquema general de gestión integral del riesgo</b>	Prevenir el riesgo futuro.	Prevenir el riesgo futuro.
<b>e) Productos que apoyan a las tareas del proceso clave</b>	Cartografía determinística de aprovechamiento general del suelo (zonificación primaria).	Cartografía determinística de exposición a amenazas. Zonificación geotécnica.

**Fuente:** elaboración propia

La adopción de un diseño orientado a los procesos clave de la GIR, en lugar de la estructura típica de un Atlas de Riesgos que prioriza la representación cartográfica del peligro y la amenaza (geológico, hidrometeorológico, químico-tecnológico, sanitario-ecológico, socio-organizativo), cambia completamente la estrategia de diseño del

sistema de información geográfica. Es un método que busca generar productos útiles con aplicaciones y objetivos específicos que busca aumentar la legibilidad y aplicabilidad de la cartografía entre los actores que la consultarán.

## 2.3. EL DISEÑO DE ATLAS ORIENTADO A PROCESOS CLAVE DE GESTIÓN DE RIESGOS

La identificación de productos en el Atlas de Riesgos Metropolitano lleva, consecuentemente, a diseñar el proceso y los insumos para poder llegar a dichos productos. Ese es el tema de esta sección: cómo conectar el conocimiento científico del riesgo y sus componentes (modelos de amenaza, índices de vulnerabilidad social, zonificación de áreas expuestas, etc.) con los productos que los usuarios necesitan para realizar acciones específicas de gestión de riesgos. Para ello, revisemos la **FIGURA 6**.

La **FIGURA 6** muestra la propuesta de flujograma para el desarrollo de un Atlas de Riesgos. Como podemos ver, esta propuesta es diferente a cualquiera de las metodologías previas en el sentido de que no comienza por los insumos para modelar la amenaza o calcular la vulnerabilidad social, sino por entender los productos requeridos para que los usuarios puedan conocer el riesgo o sus diferentes componentes. Una vez entendidos estos productos, en un segundo momento, se calcula el riesgo ante las amenazas específicas (inundaciones, deslizamientos, sismos), a partir de los mejores insumos y conocimiento disponible. En un tercer momento, se diseña el mejor medio para su despliegue y divulgación entre las diversas opciones disponibles en sistemas de información geográfica y otros medios cartográficos. Finalmente, esto se traduce a los productos que identificamos inicialmente como los idóneos para cada uno de los usuarios (Ver la línea e del **CUADRO 7**), los cuales deberán tener un acceso selectivo o diferenciado hacia los productos que realmente son de su interés y utilidad. La idea subyacente de este flujograma es que es imprescindible **mejorar la interacción de los usuarios con información geográfica**

para poder mejorar sus posibilidades de incidir en la solución de diversos problemas de carácter territorial.

Un elemento adicional que se debe considerar en este flujograma es la consideración del carácter jurídico de la información que contiene.

Un primer elemento que considerar es el nivel de apertura de los datos utilizados. Desde la adopción de la Estrategia Nacional Digital en noviembre de 2013 donde se incluyó en el Objetivo V. Innovación Cívica y Participación Ciudadana, acciones específicas relacionadas con la utilización de información y tecnologías para alcanzar los siguientes objetivos secundarios:

**Promover el uso de las tecnologías para la prevención ciudadana, alerta temprana y respuesta efectiva en materia de desastres naturales (sic).**

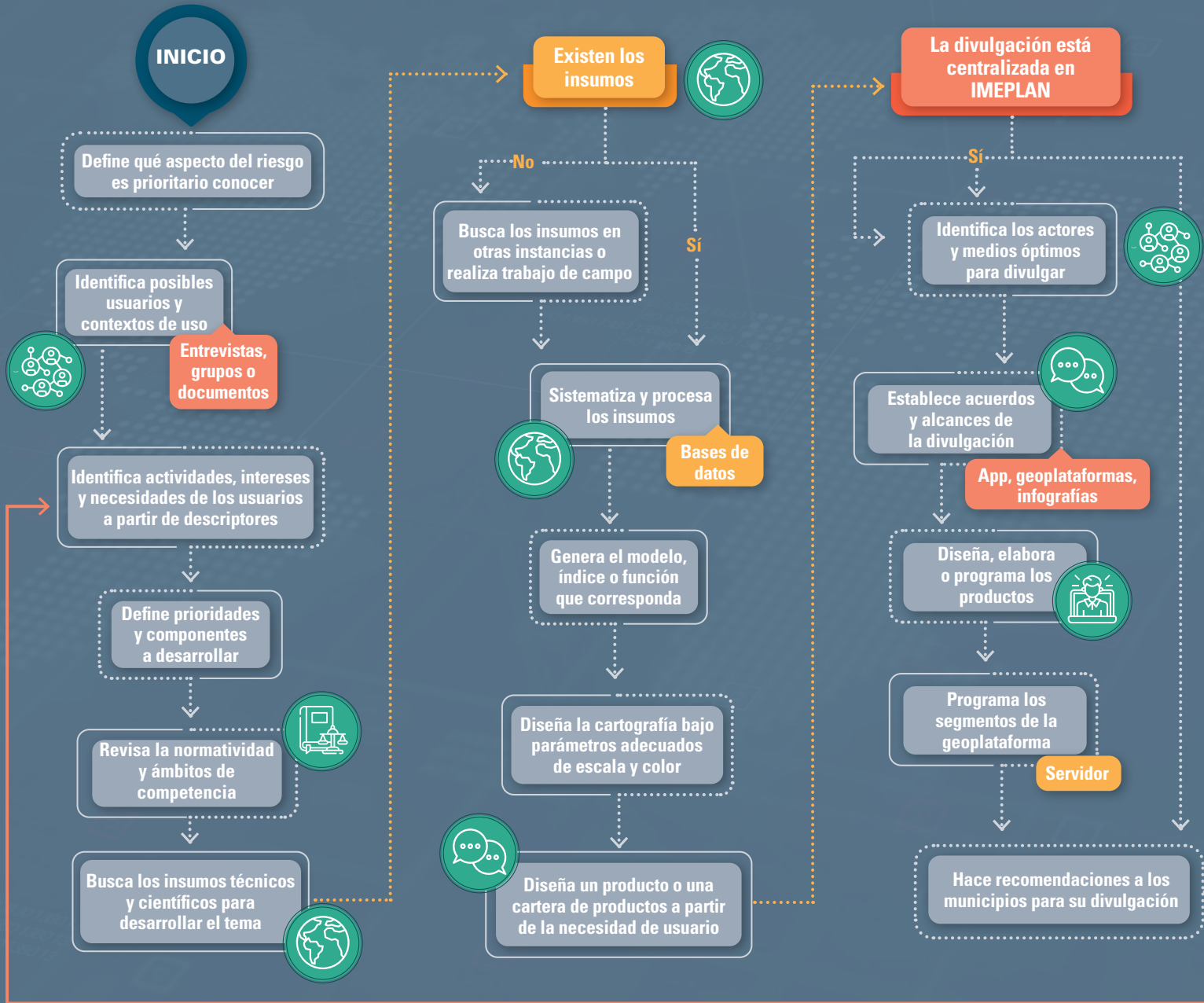
**Desarrollar servicios y aplicaciones en línea que permitan a la población hacer frente al riesgo ante fenómenos naturales y hacer más efectivas las labores de protección civil.**

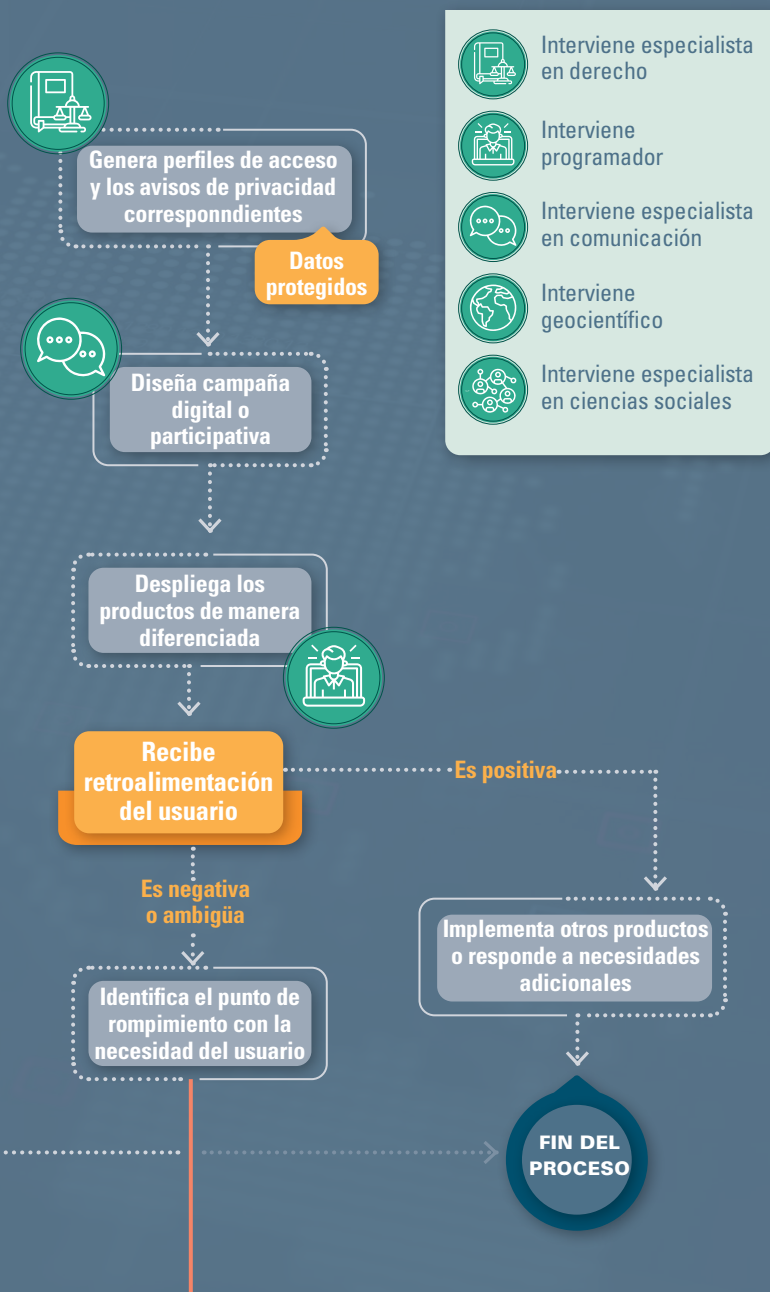
**Transparentar el uso de recursos federales en respuesta a desastres naturales (sic) a través de herramientas digitales.**

Esta perspectiva se profundizó en la publicación del Decreto por el que se establece la regulación en materia de Datos Abiertos de febrero de 2015, en la cual se establecen las ocho características primarias de los datos abiertos producidos en el marco de la administración pública: gratuidad, no discriminación, libre uso, legibilidad por máquinas, integralidad, provenir de fuentes primarias desagregadas, oportunidad y permanencia en el tiempo.



**FIGURA 6. FLUJOGRAMA GENERAL PARA ELABORAR UN ATLAS DE RIESGOS**





Los datos abiertos con un componente geoespacial tienen especial relevancia. En México, el principal instrumento regulador de la información geográfica es la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica del 2008, en el cual se establecen los principios institucionales básicos para la generación de información geoespacial (Olvera et al., 2014, p. 134). Los datos abiertos geoespaciales, para cubrir aspectos sustantivos de legibilidad, interoperabilidad, permanencia e incluso accesibilidad, requieren del cumplimiento de normativas en torno a sus características básicas tales como la desagregación, proyección, escala y cumplimiento de estándares de metadatos.

Si bien, aunque los Atlas de Riesgos deben considerar en todo momento los lineamientos sobre los datos abiertos, tienen algunas excepciones puntuales a partir del contenido de otros tres ordenamientos: el Capítulo III de la Sección V de la Ley de Seguridad Nacional<sup>9</sup>; el Art. 113 Fracc. I de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública, relativa a la información de carácter reservado<sup>10</sup>, y toda aquella información definida como datos personales, en términos de la Ley General de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados.

**9** Son especialmente aplicables en materia de reserva de información los Artículos 51 y 52 de este ordenamiento, que señalan lo siguiente:

**Artículo 51.** Además de la información que satisfaga los criterios establecidos en la legislación general aplicable, es información reservada por motivos de Seguridad Nacional:

- I. Aquella cuya aplicación implique la revelación de normas, procedimientos, métodos, fuentes, especificaciones técnicas, tecnología o equipo útiles a la generación de inteligencia para la Seguridad Nacional, sin importar la naturaleza o el origen de los documentos que la consignent, o
- II. Aquella cuya revelación pueda ser utilizada para actualizar o potenciar una amenaza.

**Artículo 52.** La publicación de información no reservada, generada o custodiada por el Centro, se realizará invariablemente con apego al principio de la información confidencial gubernamental.

**10** La fracción señalada trata sobre las causales para reserva de información:

- Artículo 113.** Como información reservada podrá clasificarse aquella cuya publicación:
- I. Comprometa la seguridad nacional, la seguridad pública o la defensa nacional y cuente con un propósito genuino y un efecto demostrable.



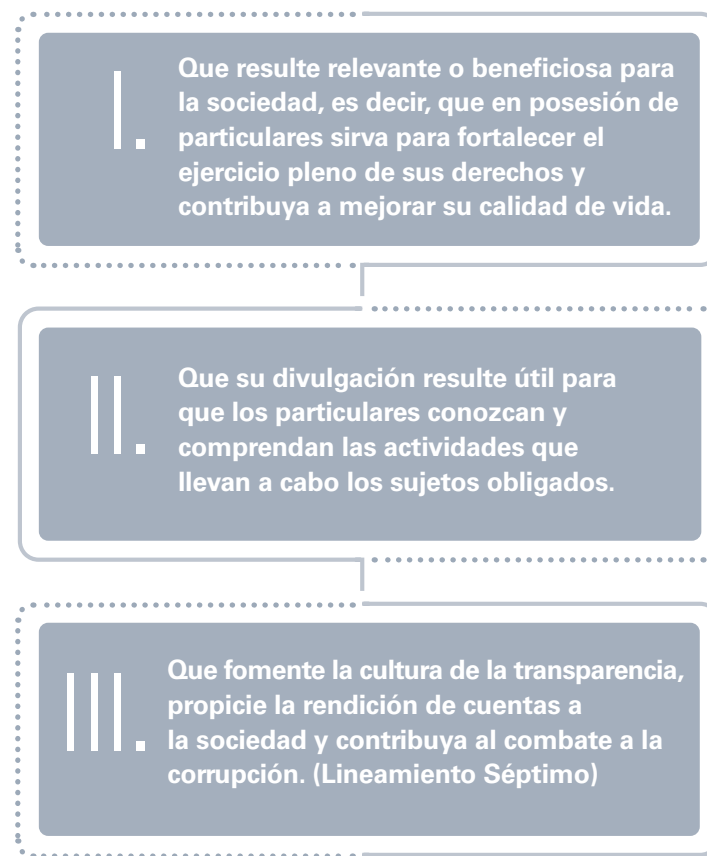
Es decir, toda la información que no esté contemplada bajo los supuestos y mecanismos que establece esta legislación debe tener un tratamiento de datos abiertos. El flujograma incluye el diseño de los siguientes mecanismos para garantizar los principios de apertura de datos y transparencia proactiva:

- ❑ Avisos de privacidad (importantes para diseñar los perfiles de usuarios).
- ❑ Justificación de los conjuntos de datos que, de manera excepcional, deban tener carácter reservado por caer en los supuestos del Art. 113 Fracción I de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública, a través de los procedimientos de clasificación a los que obliga la Ley.

En este mismo sentido, de la normatividad general en materia de transparencia del Instituto Nacional de Transparencia y Acceso a la Información Pública (*Lineamientos para determinar los catálogos y publicación de información de interés público para la emisión y evaluación de políticas de transparencia proactiva*), así como la propia del Estado de Jalisco (*Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública del Estado de Jalisco y sus Municipios*) se desprende que la información contenida en los Atlas de Riesgos Metropolitano puede ser considerada como información focalizada, tal y como ésta se define en la Ley de Transparencia de la entidad aquí referida, la cual, en su Art. 3 Fracc. IV. Información focalizada, define ésta como...

[...] la información de interés público sobre un tema específico, susceptible de ser cuantificada, analizada y comparada; en la que se apoyen los sujetos obligados en la toma de decisiones o criterios que permitan evaluar el impacto de las políticas públicas y que, asimismo, faciliten la sistematización de la información y la publicidad de sus aspectos más relevantes, de conformidad con los lineamientos del Instituto.

De acuerdo con los Lineamientos arriba señalados, publicados como un Acuerdo del Sistema Nacional de Transparencia el 15 de abril de 2016 en el Diario Oficial de la Federación, la información de interés público debe cumplir con las siguientes características:



Además, tiene entre sus características la de obligatoriedad en su identificación y publicación, los cuales deben seguir procedimientos definidos en estos Lineamientos.

Bajo el Lineamiento Séptimo aquí citado, la información de los Atlas de Riesgo sí se configura como un tipo de información focalizada en los términos definidos en Art. 3 Fracc. IV de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública del Estado de Jalisco y sus Municipios, ya que cumple con los tres elementos ya citados que constituyen el interés público. La información sobre los fenómenos naturales, los peligros, las amenazas, las vulnerabilidades, el riesgo, y los diferentes productos de cada uno de los procesos misionales de la Gestión Integral del Riesgo, es información "que se requiere para el ejercicio de otros derechos, como el derecho a la seguridad, la integridad personal y el derecho a la vida". Además, permite conocer, dar seguimiento y evaluar actividades de diversos entes públicos involucrados en diversas tareas de la gestión integral del riesgo, tales como los organismos públicos encargados del desarrollo urbano, la protección civil, la preservación ambiental y la defensa de los derechos humanos. Los Atlas de Riesgos también favorecen las estrategias de sostenibilidad de los asentamientos humanos.

Un elemento a considerar relativo a la naturaleza jurídica de la información geoespacial contenida en los Atlas de Riesgos, es el efecto jurídico que algunos de los productos cartográficos tienen. Ejemplo de ello es la calificación del nivel de riesgo que se incluye en algunos planes parciales, definición que tiene implicaciones jurídicas como las restricciones a futuros cambios de uso de suelo, los requerimientos de dictaminación de proyectos, la determinación de primas de seguros de inmuebles, y mecanismos de valuación inmobiliaria, entre otros aspectos. Estos efectos jurídicos son deseables en nuestro orden constitucional, ya que precisamente son los que sustentan las acciones tendientes a la reducción del riesgo; sin embargo, rara vez son considerados en el marco de la elaboración de los Atlas de Riesgos. Subsanan la distancia entre la dimensión científica y la dimensión jurídica del riesgo es importante para que este instrumento se utilice en el diseño de los mecanismos de planeación tendientes a reducir las probabilidades de daño ante una amenaza.

## 2.4. ESTRATEGIA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE USUARIOS Y CONTEXTOS DE USO

Esta sección se aboca a describir la estrategia para llevar a cabo las primeras tareas contenidas en el flujograma presentado en la **FIGURA 6**; es decir, se explica un método para definir quiénes son los usuarios del Atlas de Riesgos que están involucrados en las tareas de gestión de riesgo y bajo qué medios y en qué contextos usarán la información.

Estos datos son de carácter cualitativo. Las perspectivas de investigación cualitativas generan información sobre el significado, entendimiento o interpretación que hacen las personas, los grupos sociales

o las instituciones sobre la realidad. Este enfoque utiliza diversas técnicas tanto de recolección como de interpretación de datos para entender diferentes aspectos de la vida social y las técnicas tienen como punto en común el estar centradas en la construcción de datos textuales (narrativas, discursos, imágenes, símbolos) que nos permiten profundizar en las personas y en el orden social que nos rodea.

A diferencia de lo que comúnmente se cree, los métodos cualitativos requieren un trabajo de planeación, sistematización y análisis

riguroso para poder generar inferencias válidas sobre la realidad social. Si bien dichas inferencias hechas en el marco de diseños de investigación cualitativos no comparten las características de los métodos cuantitativos en términos de generalizabilidad y replicabilidad, pero sí requieren un cuidadoso trabajo de planeación, procesamiento e interpretación para explicar las características de interés del caso o casos de estudio. Para esto, la propuesta metodológica para identificar y entender a los usuarios de los Atlas de Riesgos, parte del principio de que ellos per-

tenecen a diferentes comunidades epistémicas (ver la **Sección 2.1. Los Atlas de Riesgos como tecnologías para la comunicación de riesgos**). La estrategia de codificación que se siguió fue descriptiva (Saldaña, 2009, p. 70); ésta es una aproximación esencialmente inductiva, en la cual “se sintetiza en una palabra o frase corta —a menudo como un sustantivo—, el tema básico de un pasaje de datos cualitativos [...]; son identificatorios del tema”. A partir de esta codificación, se valoran los principales aspectos sobre el Atlas de Riesgos, que desglosamos en el **CUADRO 8**.

• • **CUADRO 8. COMPONENTES POR IDENTIFICAR PARA REALIZAR EL PERFIL DE LOS USUARIOS DEL ATLAS DE RIESGOS**

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?
<b>Antecedentes profesionales</b>	Área profesional en la que se desempeña el usuario: derecho, administración pública, geomática, arquitectura, ingeniería civil, ingeniería hidráulica, entre muchas otras.	Nos permite perfilar qué tipo de información le es familiar, así como las labores que realiza.
<b>Responsabilidades y tareas de los usuarios</b>	Detalles de las actividades que hacen los usuarios en su labor cotidiana y que requieren la consulta de información geográfica.	Nos ayuda a entender qué hace el servidor público o el ciudadano, cuáles son sus necesidades y a qué problemas o dilemas se enfrenta.
<b>Uso de cartografía o sistemas de información geográfica</b>	Datos sobre si se usa (y cómo) la información geográfica, como mapas impresos, sistemas de información geográfica, mapas digitales, etcétera).	De esta manera podemos saber para qué consultan la información geográfica, bajo qué formatos y en qué contexto (oficinas, trabajo de campo, trabajo comunitario).
<b>Coordinación con otros usuarios</b>	Información sobre la relación con otros usuarios, áreas de gobierno u organizaciones que están involucradas en gestión de riesgos.	Nos permite ver los puntos en común o las diferencias entre los usuarios del Atlas de Riesgos, de manera que podamos segmentar adecuadamente este instrumento.

Fuente: elaboración propia

A partir de estos elementos, debemos considerar dos momentos distintos de trabajo con los usuarios:



**Momento 1.**  
Recolección de la información cualitativa sobre los usuarios.



**Momento 2.**  
Sistematización de la información cualitativa sobre los usuarios.

En el momento 1, las opciones para recoger la información de los usuarios son fundamentalmente las entrevistas y los grupos de enfoque. Las entrevistas se basan en preguntas temáticas que se desprenden directamente de los temas contenidos en el Cuadro 8, mientras que los grupos de enfoque reúnen a un conjunto de personas que, en principio, presentan perfiles similares, para generar una conversación guiada en torno a estos temas.

Un aspecto importante que forma parte de esta fase del trabajo es el muestreo de los usuarios. Tener criterios de muestreo cuando se hace trabajo cualitativo es muy importante, tanto como lo es en el trabajo con métodos cuantitativos. Los enfoques cuantitativos en ciencias sociales buscan, sobre todo, generar muestras aleatorias con el fin de garantizar la representatividad de una población, y así poder garantizar la generalizabilidad de las inferencias que se hagan a partir de esa muestra. Por el contrario, **en los métodos cualitativos el muestreo es intencional**, es decir, parte de definir criterios específicos por su especial interés, a partir de la teoría y de otros antecedentes de investigación, de manera que a partir de ellos se seleccionen informantes clave o actores sociales que, por sus experiencias, posición social o conocimientos, puedan proporcionarnos información relevante.

Para el caso de los usuarios de los Atlas de Riesgos un ejemplo de los criterios que se pueden utilizar para hacer una muestra de informantes o participantes de grupos de enfoque son los siguientes: (CUADRO 9):

• • **CUADRO 9. EJEMPLOS DE DOS CONJUNTOS DE CRITERIOS PARA DELIMITAR UNA MUESTRA**

EJEMPLO DE MUESTRA 1	EJEMPLO DE MUESTRA 2
PERSONAS QUE USARÍAN DIRECTAMENTE EL ATLAS DE RIESGOS METROPOLITANOS	SERVIDORES PÚBLICOS QUE REALIZAN TAREAS DE PROTECCIÓN CIVIL
Profesionistas de la arquitectura y la ingeniería.	Personas con formación profesional en protección civil o con por lo menos tres años de experiencia laboral en el tema.
Dedicados a la planeación de obra pública intermunicipal.	Dedicados a atender emergencias.
Que tengan entre sus funciones realizar un acto administrativo a partir de zonificación primaria.	Que laboren en el ámbito municipal.
Con un cierto número de años de experiencia en el ámbito gubernamental.	Que estén encargados de realizar reportes de eventos.

Fuente: elaboración propia

• • **CUADRO 10. EJEMPLO DE CLASIFICACIÓN DE TEMAS EN UN CONJUNTO DE GRUPOS DE ENFOQUE (POR FRECUENCIA)**

ETIQUETA	NÚMERO DE VECES QUE APARECE LA ETIQUETA EN EL CONJUNTO DE ENTREVISTAS
Se necesita información a escala local.	15
Hay un problema con la escala del Atlas de Riesgos.	15
Los instrumentos son incongruentes.	13
Se deben vincular los instrumentos de planeación con el Atlas.	11
El Atlas debe tener un formato accesible al ciudadano.	11
La información del Atlas debe venir explicada.	10
El Atlas invade competencias o atribuciones.	9
El Atlas puede generar confusión.	9
Atlas no es accesible al público.	8
La comunidad debe apropiarse del Atlas.	7
La información geográfica que necesitamos está dispersa.	7
Atlas tiene información demasiado técnica.	6
El Atlas debe ser de muy fácil consulta.	6
Los Atlas deberían traducirse en estrategias de planeación.	5

Fuente: elaboración propia

En caso de que se elija hacer entrevistas, usualmente el número de éstas depende de lo que se conoce como punto de saturación, es decir, que en el marco de las entrevistas, la información que se obtiene de las personas cuando el contenido y calidad de la información obtenida lleve a la validación de la misma información, confirme hipótesis o la cantidad de información nueva que aparece sea tan reducida que ya no sea importante o significativa.

En caso de que la técnica elegida sean grupos de enfoque, de acuerdo con los principios básicos de esta técnica, cada grupo idealmente reúne entre seis y diez personas de cada perfil. A diferencia de las entrevistas, los grupos de enfoque concluyen al agotar los temas de la sesión (no se busca un punto de saturación) y sirven para tener una visión de la opinión de un conjunto homogéneo de personas.

En el Momento 2, el de la sistematización de la información obtenida, se puede hacer a través de una versión simplificada de una técnica de-

nominada análisis de contenido, la cual implica la codificación en la información obtenida a través de las entrevistas o los grupos de enfoque. Esto no significa otra cosa que clasificar la información que nos dan los entrevistados o los participantes de los grupos en diferentes etiquetas o categorías, de manera que podamos tener una visión ordenada y temática de lo que las personas entrevistadas comunican sobre sus labores, intereses o preocupaciones. Por ejemplo, el **CUADRO 10** representa un ejemplo de una codificación (clasificación por etiquetas temáticas) de las expresiones vertidas en grupos de enfoque relacionados al Atlas de Riesgos. En este cuadro es posible ver claramente cuáles son los temas que aparecen con mayor frecuencia o que son de mayor interés.

A partir de este cuadro, es posible ver la relevancia de comprender lo que los diferentes usuarios perciben sobre un instrumento como el Atlas de Riesgos, así como los retos que hay que solventar para su adecuado diseño.

## 2.5. A MODO DE CIERRE

A partir de lo que hemos revisado en este capítulo, **Componente 1. Identificación de usuarios y procesos**, podemos reflexionar que, en esta metodología, el Atlas de Riesgos se conceptualiza como un instrumento tanto científico como jurídico y de comunicación de riesgos. Se busca insertar el componente técnico-científico relacionado a la modelación probabilística del riesgo, con los elementos cartográficos determinísticos y los productos necesarios para su adecuada adopción por parte de los usuarios, considerando para ello las necesidades,

atribuciones y usos diversos que éstos darán a la información. Hacer uso de las diferentes estrategias planteadas en este capítulo, tales como la identificación de procesos clave de gestión integral de riesgo, identificar las características que dé la información de los Atlas de Riesgo en términos de la apertura de datos y la transparencia proactiva y/o perfilar a los distintos usuarios que representan innovaciones para acercar los Atlas de Riesgos a los objetivos a los que deben coadyuvar.



# Ideas fuerza del **CAPÍTULO 2**

La función de los Atlas de Riesgos es **hacer accesible el conocimiento sobre el riesgo y sus componentes** para que, de manera coordinada diferentes actores puedan realizar las acciones conducentes a su reducción.

El Atlas de Riesgos debe ser **diseñado de manera segmentada u orientada al usuario**, para que la información que el instrumento contiene sea adecuada a sus conocimientos, necesidades y atribuciones.

Los Atlas de Riesgos **deben estructurarse en torno a los procesos claves de gestión integral del riesgo** en los que se busca incidir: generar conocimiento sobre el riesgo, prevenir el riesgo futuro, reducir el riesgo existente, preparar la respuesta, responder y rehabilitar, o recuperar y reconstruir.

El diseño de un Atlas de Riesgos comienza por la **identificación de los usuarios** y sus necesidades; en segundo lugar, desarrolla el **cálculo o modelo de riesgo** a partir de los mejores insumos y conocimiento disponibles; y posteriormente se debe trabajar en los mecanismos de despliegue geográfico y divulgación y en los **productos idóneos para cada tipo de usuario**.

Toda la información de los Atlas de Riesgos debe trabajarse bajo los **estándares de datos abiertos geoespaciales y los principios de apertura de datos y transparencia proactiva**, con las excepciones contempladas en nuestro marco legal.

La identificación de los usuarios y sus necesidades se hace a través de dos tipos diferentes de técnicas cualitativas: la de recolección de la información sobre los usuarios elegidos a través de un muestreo intencional, y la sistematización de ésta a través de codificación (**clasificación a través de etiquetas temáticas**) para poder visualizar ordenadamente sus necesidades, intereses y expectativas.





**COMPONENTE METODOLÓGICO 2**

# 3 GENERACIÓN DE PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS

---

## 3.1. INTRODUCCIÓN

Este apartado tiene como propósito abordar distintos aspectos relativos a la construcción y presentación relacionada al riesgo y sus componentes en un formato espacial. Esto es relevante porque uno de los procesos más notorios de la evolución de los Atlas de Riesgos en la última década es su integración progresiva en diversas plataformas digitales, lo cual incide sobre algunos aspectos importantes como la creación de una cartografía de riesgos en formatos estáticos y más tradicionales que pueden tener consecuencias importantes en el uso y adopción de un Atlas de Riesgo entre sus usuarios.

En este sentido, nuestro punto de partida es que la construcción de productos en las plataformas digitales de datos geoespaciales no puede obviar los elementos de comunicabilidad que son propios de la cartografía. El hecho de tener cada vez mayor distribución de aplicaciones que hacen uso de datos de percepción remota y fotografías aéreas es extremadamente conveniente en términos de ampliar las competencias informacionales y digitales de diferentes usuarios. Sin embargo, la amplitud en la difusión y uso de estas aplicaciones nos ha hecho olvidar que el despliegue de los datos geoespaciales sin “curar” (es decir, sin editar adecuadamente su escala, interactividad, color u otros elementos de representación que permitan entenderlo) no ayuda al usuario a interpretar el mapa y su contenido informativo. De hecho, un geovisualizador que presente diferentes variables o capas sin manejar algunos de los principios básicos de la cartografía puede

dificultar significativamente la localización de la información relevante en lugar de facilitarla.

En esta sección abordamos dos grandes temas relativos a este problema. En primer lugar, presentamos una síntesis de los variados tipos de productos que se pueden incluir en un Atlas de Riesgos y sus características cartográficas mínimas. En segundo lugar, abordamos algunos aspectos específicos relacionados con la cartografía determinística aplicada a la zonificación primaria (que, como se vio en el primer capítulo, es el medio principal a través del cual se cumplen objetivos de planeación metropolitana) y sus diferencias con la cartografía propia de la zonificación secundaria. Este aspecto es sustancial, ya que como resultado del trabajo de campo que se realizó para este proceso, se señaló de manera reiterada, por parte de los actores sociales, que existen elementos cartográficos vinculados a decisiones jurídicas que funcionan de manera distinta en un caso y en otro, lo cual tiene una influencia en el potencial de aplicabilidad de un Atlas de Riesgos para la toma de decisiones por parte de los servidores públicos.

En una sección posterior, abordaremos la estrategia para delinear diferentes tipos de productos cartográficos. En esta parte conectaremos con el contenido de la sección **2.3. El diseño del Atlas orientado a procesos clave de la gestión de riesgos**, de manera que queden planteados los aspectos y pasos necesarios para la definición de los productos cartográficos.

## 3.2. LA CARTOGRAFÍA DE UN ATLAS DE RIESGOS

Como lo abordamos en la **Sección 1.5. Representaciones probabilísticas y determinísticas en el Atlas de Riesgos**, existen tanto representaciones probabilísticas como representaciones determinísticas del *riesgo*. El riesgo, el peligro, la amenaza y algunos componentes de la vulnerabilidad física pueden representarse de ambas maneras. Los mapas de estimación de pérdidas asociadas al riesgo pueden expresarse en pesos, pérdidas humanas, horas-persona, entre otros elementos. Por ejemplo, en el caso de la amenaza, se puede calcular la susceptibilidad de una cierta zona de inundarse; ese cálculo es probabilístico, a partir de aspectos como la pendiente, el tipo de suelo o la cobertura vegetal. También podemos calcular probabilísticamente una cierta respuesta sísmica de un área específica, a partir de sus características geotécnicas. Podemos expresar estas características a partir de su probabilidad, pero también convertir esos porcentajes en categorías discretas, definidas a partir de ciertos tipos de corte (por ejemplo, cortes naturales, intervalos geométricos, cuantiles, etc.).

En ese sentido, es totalmente diferente hacer un mapa de cortes naturales que uno de cortes por percentiles. La diferencia en la representación de ambos en materia de zonificación es significativa, y es justamente uno de los puntos que suele pasarse por alto y llevarnos a diseñar productos no tan útiles para la gestión del riesgo. Por ejemplo, podría llevarnos a agrupar en una sola categoría de "riesgo muy alto" zonas cuyos valores de casos tengan una distribución estadística muy asimétrica a la derecha, lo cual generaría una interpretación falaz de los valores extremos y sus implicaciones en un evento de emergencia real. No podemos pasar por alto este aspecto, ya que puede generar

problemas muy relevantes en cuanto a la zonificación del peligro, la amenaza o la vulnerabilidad física. Por otro lado, esto no es posible en el análisis de la vulnerabilidad social y la cartografía orientada a la toma de decisiones, tales como la zonificación; éstas son representaciones netamente determinísticas.

Esto tiene implicaciones importantes en términos de la salida cartográfica que se escoge para cada tipo de representación. Para decidir cuál tipo de salida es mejor para el tema que se debe representar, revisemos algunos elementos básicos de cartografía. De acuerdo con Tyner (2010), en la cartografía como disciplina encontramos tres tipos básicos de mapas: mapas de referencia, mapas de propósito especial y mapas temáticos.

A lo largo de la historia de la cartografía como disciplina, los tipos de mapas enumerados en el **CUADRO 11** se han aplicado a la elaboración de mapas como productos cartográficos de características más bien estáticas. Estos diferentes tipos de productos se construyen a partir de ciertos principios que también son aplicables, como la producción de cartografía dinámica o estática interactiva propia de un geovisualizador como el desarrollo informático SIGMetro<sup>11</sup>, que gestiona IMEPLAN. Las capas de información que se muestran a través de este tipo de plataformas deben ser pensadas bajo estos mismos métodos<sup>12</sup>.

En este sentido, en el **CUADRO 12** señalamos los componentes del riesgo que corresponden o son propios de los diferentes tipos de mapas, a partir de las características de las variables que se utilizan para cada tipo de componente del riesgo.

• • **CUADRO 11. TIPOS DE MAPAS Y SUS CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS**



TIPO DE MAPA		CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
Mapas de propósito general (o de referencia)		Se usan para mostrar una variedad de fenómenos geográficos sin enfatizar uno sobre otro. Los mapas generales utilizados para describir un lugar, o los mapas de localización son de este tipo.
Mapas de propósito especial		Se crean para un tipo muy específico de usuario, en el cual se muestra un elemento especializado de información; por ejemplo, geología, suelos, catastro, o cartas aeronáuticas o náuticas.
Mapas temáticos		Presentan un rasgo distintivo, sea la distribución de éste o la relación que éste guarda con otra variable.
Mapas temáticos cuantitativos	Cuantitativos continuos	Muestran valores reales o interpolados de una variable, representados usualmente a partir de un gradiente continuo de color.
	Mapas cuantitativos discretos (por ejemplo, isolíneas)	Se construyen a partir de alguna isaritma; por ejemplo, isobaras (presión barométrica), isotermas (temperatura) o isoyetas (precipitación).
	Mapas cuantitativos discretos (por ejemplo, coropléticos)	Se construyen a partir de unidades geográficas previamente definidas, y muestran la distribución del valor estadístico de alguna variable.
Mapas temáticos cualitativos		Muestran categorías o clases de carácter ordinal, o características nominales. Los mapas cualitativos usualmente representan distribuciones discretas; por ejemplo, tipos de vegetación, preferencias electorales o clasificación de viviendas.

Fuente: adaptado de Tyner (2010)

- 11 SIGMetro es el Sistema de Información y Gestión Metropolitana, un geovisualizador que integra información de los nueve municipios del AMG y del IMEPLAN, que contiene la información geoespacial relativa al ordenamiento del territorio y a la prestación de servicios públicos sean gestionadas a través de IMEPLAN. Disponible en el sitio <https://sigmetro.imeplan.mx/login>. Último acceso: 26 de julio de 2021.
- 12 En ese sentido, en esta obra consideramos como mapa "la representación gráfica que muestra relaciones espaciales" (Tyner, 2010, p. 6-7); en ese sentido, los mapas tienen una variedad de soportes de representación, estáticos y dinámicos. A partir del desarrollo informático de la cartografía, existe una diversidad importante de soportes digitales, por lo cual existen mapas en un soporte enteramente digital. Sin embargo, en afán de diferenciar mejor los diferentes tipos de soporte e interactividad, cuando se haga referencia a información geoespacial exclusivamente en un soporte digital, nos referiremos a ella como capa.



• • **CUADRO 12. EJEMPLOS DE DISTINTOS TIPOS DE SALIDA CARTOGRÁFICA ASOCIADOS A LOS COMPONENTES REPRESENTADOS EN ATLAS DE RIESGO**

COMPONENTE	TIPO O TIPOS DE SALIDA CARTOGRÁFICA	COMENTARIO
<b>Peligro</b>	Cuantitativo continuo (ejemplos: mapa de aceleración sísmica [Shake Maps], mapa de distribución interpolada de percentil 95 de lluvia, gradiente de subsidencia promedio anual)	Los mapas de aceleración sísmica o de precipitación se definen a partir de estaciones (acelerométricas o meteorológicas) y se interpolan a partir de distintos métodos (el utilizado en este trabajo es el de correcciones sucesivas). El mapa de gradiente de subsidencia construye a partir de un interferograma de subsidencia promedio anual para un periodo determinado.
	Cuantitativo discreto (ejemplos: isotermas, isoyetas)	Los mapas de isoyetas cortan rangos en los parámetros de precipitación y muestran la distribución discreta de los valores en el mismo rango.
<b>Vulnerabilidad física</b>	De propósito especial (ejemplo: topografía o un modelo digital de elevación)	Los mapas de propósito especial tienen como propósito comunicar un conjunto de parámetros especializados.
	Cuantitativo discreto (ejemplo: mapas morfométricos)	Los mapas morfométricos representan valores cuantitativos tales como densidad de disección o energía del relieve.
	Cualitativo (ejemplo: mapa edafológico, cauces de una cuenca, fracturas)	Los mapas edafológicos pueden ser cuantitativos o cualitativos. Su presentación cualitativa se debe a la clasificación (y/o agrupación) de suelos en diferentes categorías (variable nominal).  La información vectorial sobre cauces, fracturas u otros rasgos geomorfológicos usualmente se presenta a partir de variables categóricas.

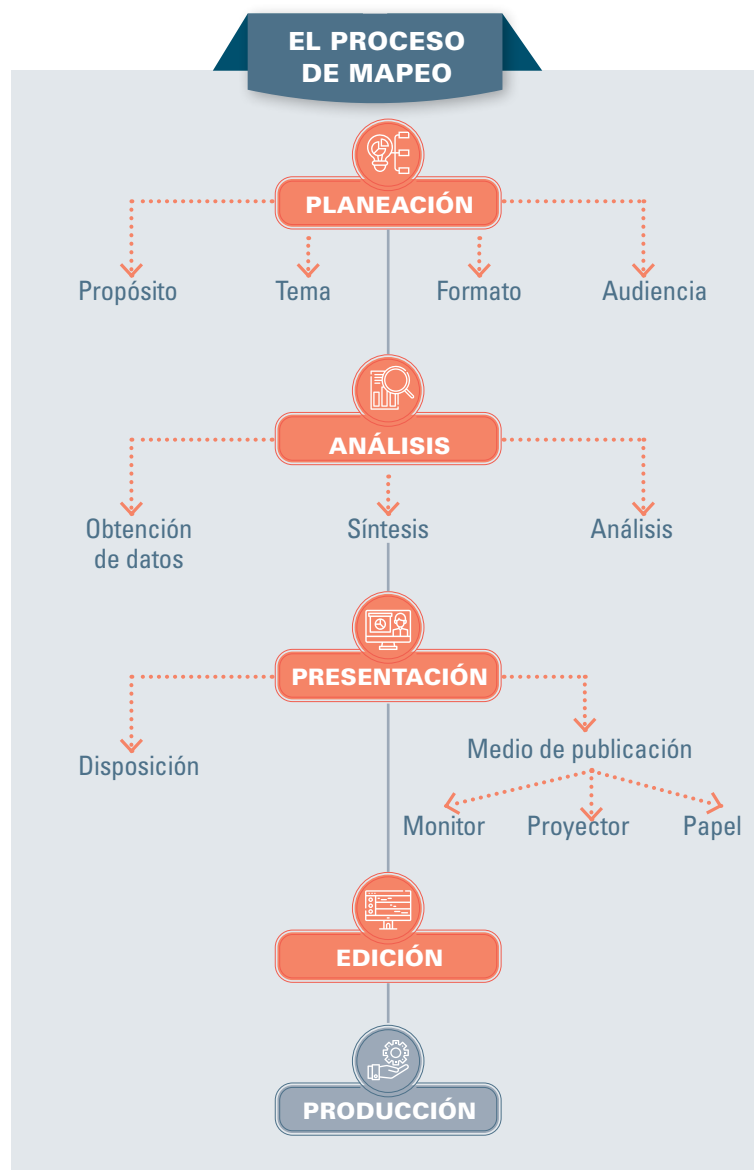
<b>Amenaza</b>	Cuantitativo discreto (ejemplo: mapa de zonificación geotécnica, algunos mapas morfométricos, modelo de inundación)	<p>La zonificación geotécnica representa una clasificación de unidades geotécnicamente homogéneas, definidas según sus propiedades mecánicas cuantificables (como el periodo dominante del suelo o las aceleraciones máximas esperadas en un periodo de retorno).</p> <p>El modelo dinámico de inundación representa una hipótesis de los escurrimientos a partir de parámetros de pendiente, precipitación e infiltración.</p>
<b>Vulnerabilidad social</b>	Cualitativo (ejemplo: mapa de vulnerabilidad en escala ordinal de niveles o rangos)	La vulnerabilidad social usualmente se traduce a rangos (escala ordinal). El índice de vulnerabilidad utilizado en este estudio (gradiente ordinal muy alto-muy bajo) es una variable categórica de este tipo.
	Cuantitativo discreto (ejemplo: mapas coropléticos de vulnerabilidad en una estrategia matricial)	Los mapas coropléticos utilizan una variable numérica relativa a la intensidad de una característica, o bien, un indicador de la relación entre dos o más variables (bivariados o multivariados).
<b>Riesgo</b>	Cuantitativo continuo (ejemplo: mapa probabilístico de riesgo por inundación, riesgo sísmico en un escenario temporal)	Con insumos de mediana y larga temporalidad y alta resolución espacial, se calcula la amenaza como una probabilidad en un tiempo y espacio determinados, a lo cual se añade una función de vulnerabilidad. Con ello se determina una probabilidad de daño (dato numérico espacialmente continuo).
	Cualitativo (ejemplo: mapas determinísticos en escala ordinal de niveles o rangos)	Se definen límites a partir umbrales en la distribución probabilística (cuantitativa continua) del riesgo. A partir de esos límites se construyen unidades espaciales discretas a las cuales se asigna una categoría o criterio nominal u ordinal (utilizables en zonificación primaria).
<b>Gestión (preparación, reconstrucción)</b>	Cualitativo (ejemplo: mapas de rutas de evacuación, mapas de distribución de infraestructura de mitigación).	Se construyen a partir de temas específicos de cada proceso clave de la gestión integral de riesgos, con variables categóricas, y se trabajan a partir de los criterios técnicos propios de un mapa temático.

Fuente: elaboración propia





**FIGURA 7. EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UN PRODUCTO CARTOGRÁFICO**



Fuente: traducción propia de la figura publicada en Tyner (2010, p. 12)

A partir de lo que se expresa en el **CUADRO 12**, es posible concluir que la presentación de los diferentes tipos de datos requiere un trabajo de diseño y sistematización que no puede ser homogéneo para todos los productos cartográficos publicados en un Atlas de Riesgos, punto de vista distinto al que existe en las metodologías existentes en México hasta el momento. No es conveniente la utilización de una cromática única (por ejemplo, la semaforización) o una escala única (municipal o estatal). Los diversos componentes del riesgo responden a variables distintas, con fuentes de datos que se expresan en escalas muy diferentes entre sí, y que informan procesos de gestión con objetivos y usuarios disímiles. Sin embargo, sí es posible revisar algunos elementos básicos de la cartografía que permitan generar el mejor producto posible con los insumos y para los propósitos que se persiguen.

Para lograr estos objetivos vale la pena revisar los pasos que los especialistas en cartografía contemplan en el proceso de elaboración de los mapas. Tras ello, se planteará una estrategia práctica para el diseño y la elaboración de las distintas salidas cartográficas del Atlas de Riesgos Metropolitano.

De acuerdo con Tyner (2010, p. 12), el proceso para elaborar un producto cartográfico tiene cuatro fases principales: la planeación, el análisis de los datos, la presentación y la edición. En la fase de **planeación**, el cartógrafo establece el propósito, alcance y tema del mapa. En la fase de **análisis**, se define la obtención, síntesis y procesamiento de los insumos estadísticos o cualitativos para hacer el mapa, su integración y su desarrollo en el SIG. En la fase de **presentación**, se consideran los elementos que hacen comprensible el mapa, tales como su disposición, símbolos, orientación e ilustración. Finalmente, en la fase de **edición** o reproducción se trabaja en su plataforma de distribución (geovisualizador, impresión, etc.) con miras en maximizar su usabilidad (**FIGURA 7**).

Además del proceso general ilustrado en la **FIGURA 7**, los productos cartográficos deben partir de algunas preguntas básicas que permitan facilitar su diseño y producción, así como facilitar su comprensión y uso ante una audiencia diversa. Consideremos como básicas las siguientes:

- ❑ ¿Cuál es el propósito del mapa o capa de información?  
Por ejemplo: 1) presentar el modelo de amenaza de inundación o 2) presentar los polígonos de crecimiento urbano prioritario.
- ❑ ¿Cuál es el tema del mapa o capa de información?  
Por ejemplo: 1) puntos críticos identificados en modelo de amenaza de inundación o 2) zonificación primaria en la zona norte del Área Metropolitana de Guadalajara.
- ❑ ¿Quién es la audiencia o el usuario? Por ejemplo: 1) ingenieros civiles del área hidráulica o 2) servidores públicos de desarrollo urbano municipal.
- ❑ ¿Cuál es la narrativa del mapa? Es decir, ¿qué historia o aspecto nos cuenta? Por ejemplo: 1) existen dos puntos críticos de escurrimiento de acuerdo con el modelo de amenaza de inundación o 2) hay áreas que, en el desarrollo urbano, deben ocuparse primero antes de permitir la urbanización de otras áreas.
- ❑ ¿Cuál es el formato en el que lo consultará o utilizará la audiencia? Por ejemplo: 1) proyección en gran escala del modelo dinámico en una reunión profesional de ingeniería civil o 2) SIGmetro, es decir, consulta en monitor de computadora.

En general, los mapas pensados para visualizar elementos especializados a públicos de profesionistas y científicos pueden priorizar la precisión, exactitud y regularidad de un conjunto relativamente amplio de elementos cartográficos. Por otro lado, los mapas temáticos propios de procesos de divulgación a públicos no expertos (o bien, a profesionistas en áreas no familiarizadas con el uso de cartografía, como abogados o administradores públicos) deben priorizar ante todo la claridad de la información. Entre los recursos que pueden utilizarse son la simplificación, el resaltar el objeto o tema central del mapa, y/o utilizar el color, el contraste y el tamaño de los objetos para destacar los valores o narrativas relevantes que se desea comunicar al usuario. Los públi-

cos expertos técnicos y científicos “conocen mucho la materia de los mapas, están muy motivados e interesados en lo que presenta el mapa, y esperan substancia y complejidad en el producto, así como más información y detalle”. Por otro lado, los grupos de no especialistas...

**[...] saben menos del tema y no están familiarizados con los mapas ni con los símbolos que utilizan, por lo que necesitan un producto más explicativo y comprensible, al estar menos motivados que los expertos, aunque esperan aprender algo del mapa; requieren productos con menos información, menos variables y menos detalles (Krygier & Wood, 2011, p. 21).**

Un elemento adicional, para el caso de productos cartográficos que se mostrarán en geoplataformas es el de considerar los componentes propios de este ámbito digital. Para el caso de productos estáticos (como es el caso de los mapas temáticos), usualmente se debe considerar la interacción (acercamiento/alejamiento) que mantenga la legibilidad y facilidad de lectura de la información. Para el caso de los productos dinámicos, está la escalabilidad de la información (es decir, que el alejamiento o acercamiento tenga una apropiada resolución (a través de agrupar o desglosar la información) y la animación que permita que el tema y el objetivo de comunicación del mapa se mantenga a través de los cambios propios de la consulta interactiva (por ejemplo, para productos diseñados para ser desplegados de manera interactiva en monitores, se tiene que poner escala gráfica que permita dimensionar adecuadamente la escala). El tema, objetivo y sentido de cada producto cartográfico no debe verse comprometido en este diseño dinámico. Para un mayor detalle sobre las recomendaciones de diseño de productos cartográficos cuyo formato de despliegue principal son monitores, ver la **CAJA 1**.

De esta manera, a partir de la elaboración de una ficha básica (**FIGURA 8**), estamos en posibilidades de determinar con mucha más precisión las características más técnicas que tendrá cada uno de los productos cartográficos, en términos de escala, disposición de los elementos cartográficos, uso del color o presentación de las relaciones espaciales entre los objetos.



**FIGURA 8. FICHA BÁSICA PARA CADA PRODUCTO CARTOGRÁFICO INCLUIDO EN EL ATLAS DE RIESGOS**

CARACTERÍSTICAS GENERALES				
PROPÓSITO	TEMA	AUDIENCIA	NARRATIVA	FORMATO
Explicitar qué se busca comunicar a través del producto y el tipo de mapa (ej. cuantitativo discreto).	El componente del riesgo o de la gestión a mostrar.	El público o usuario para quien está diseñado el producto.	Variable o aspecto que se desea resaltar o priorizar en el proceso de producción.	El principal medio de difusión o publicación.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				
ESCALA	FUENTES DE DATOS	VARIABLES, TASAS O INDICADORES	LEGIBILIDAD	INTERACTIVIDAD Y ANIMACIÓN
Señalar la escala en la que es significativo, a partir de los insumos y de su propósito.  Por lo menos implica resolución, extensión y agregación.	Datos de la(s) fuente(s) principales de la información, derechos de autor, edad de los datos, comentarios a su calidad.	Explicar las variables, indicadores, categorías, correlaciones, u otros elementos del mapa, y el vínculo o archivo en el que se construyen.	Explicitar las decisiones en términos de legibilidad, medios de contraste, elementos gráficos o referenciación geográfica.	Definir los componentes interactivos del producto y la escalabilidad de la información.
PROCESO DE CREACIÓN DEL PRODUCTO (DOCUMENTACIÓN DEL PROCESO)				
DISEÑO		PROBLEMAS DE DISEÑO	PROBLEMAS DE SOFTWARE	
Tipografía, fuente, tamaño Describir la cromática seleccionada (por ejemplo, de <a href="http://www.colorbrewer.org">www.colorbrewer.org</a> ) para poder garantizar su replicabilidad Describir si alguna variable se categoriza, exagera, desplaza o representa de alguna manera particular para hacerla más clara.		A qué problemas de diseño se enfrentó el equipo y cuáles fueron sus soluciones (ej. agregar una variable, ajustar el alcance del mapa).	Presentar las soluciones técnicas que se aplicaron en el SIG.	

Fuente: elaboración propia con base en Brewer (2008), Krygier y Wood (2011) y Tyner (2010)

Adicionalmente a esta ficha básica, algunos mapas útiles en un Atlas de Riesgos pueden representar incertidumbre. El riesgo, al construirse a partir de una probabilidad, necesariamente conlleva un componente de incertidumbre, sin embargo, esta incertidumbre puede tomar diferentes formas. Por ejemplo, algunos modelos de amenaza pueden tener mayor incertidumbre porque necesitan datos que en ciertos contextos son difíciles de obtener o que requieren una tecnología no disponible por el momento. En otros casos, los cálculos sobre la magnitud esperada de un peligro son más precisos conforme se analizan periodos o, en otras palabras, la incertidumbre es mayor cuando los datos se analizan en periodos más cortos. Si bien, la incertidumbre puede provenir del proceso de “traducción” del conocimiento a contextos reales de aplicación en los cuales los efectos de ese conocimiento pueden generar escenarios no contemplados por los especialistas (Levontin y Walton, 2020, p. 15). Un ejemplo de una representación de la incertidumbre, es la de los conos de un huracán. El cono representa una posible área de afectación, y no como comúnmente se cree, el tamaño propiamente del huracán.

Los Atlas de Riesgos en México prácticamente no representan incertidumbre. Sin embargo, en ciertos casos puede resultar útil para que las personas que consultan el Atlas puedan interpretar correctamente un escenario de daño. Imaginemos áreas en las cuales la amenaza sísmica o la amenaza de inundación sean altas. Un mapa de incertidumbre determinístico puede representar, con un buen uso

del color, una escala ordinal comprensible a las personas no especialistas (por ejemplo: muy posible, posible o poco posible) esto puede ayudar a comunicar la certeza que tenemos de que ocurran diferentes escenarios de daño si siguen las cosas como están, si cambiamos algunos aspectos que regulan el riesgo o si se toman las medidas de mitigación o planeación óptimas.

Además de estos elementos relacionados con la producción y el diseño, es importante recalcar que todos los mapas digitales y capas publicadas deberán contener un archivo de metadatos obligatorio correspondiente, de acuerdo con lo establecido en la *Norma Técnica para la Elaboración de Metadatos Geográficos*<sup>13</sup>, publicada en el Diario Oficial de la Federación el viernes 24 de diciembre de 2010. Los atributos geográficos que contienen estos mapas deben integrarse debidamente a partir de los estándares establecidos en dicha norma, y presentarse en el paquete de datos a descargar en el soporte digital de la cartografía, para maximizar su consulta.

En este apartado abordamos de manera general, los elementos necesarios para la elaboración de una cartografía, así como algunos aspectos particulares y diversidad de la cartografía del riesgo y de sus componentes. En el siguiente apartado, profundizaremos en un aspecto de especial interés para la cartografía propia del Atlas de Riesgos Metropolitano – la representación del uso de suelo- esperando con ello abonar a una necesaria claridad sobre los alcances de la cartografía de riesgo de manera que los actores metropolitanos puedan utilizarlo fácilmente en procesos clave de gestión del riesgo.

<sup>13</sup> Disponible en el sitio [https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/normas/norma\\_tecnica\\_sobre\\_elaboracion\\_de\\_metadatos\\_geograficos.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/normas/norma_tecnica_sobre_elaboracion_de_metadatos_geograficos.pdf).  
Último acceso: 12 de julio de 2020.

## CAJA 1.

# CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CARTOGRAFÍA DISEÑADA PARA FORMATO DE CONSULTA EN MONITORES



El diseño de mapas que se mostrarán principalmente en computadoras debe considerar la resolución de la pantalla y los límites de espacio. Un monitor de computadora de escritorio o de laptop tiene una resolución típica de 72 dpi, comparado con los 1200 dpi de muchas impresoras.



El monitor de computadora también tiene un área limitada, usualmente 7 por 9 pulgadas (área gris) o menos, si el mapa se despliega en la ventana de un navegador web.



Hay que diseñar mapas en los cuales toda la tipografía y símbolos sean visibles sin tener que magnificarse.



Evitar mapas que requieran que el usuario tenga que estar desplazándose alrededor para ver el mapa completo.



Si se requiere más detalle, hay que usar más de un mapa, o utilizar herramientas de los navegadores para alejar y acercar los rasgos del mapa.

1



Hay que aumentar el tamaño de letra: un tipo de 14 puntos es lo más pequeño que se debe usar para un monitor

3



Hay que utilizar patrones más distintivos y evitar patrones o variaciones demasiado finas o detalladas

5



Se debe usar color, pero recordar que los monitores no pueden desplegar millones de colores. Las variaciones sutiles de color pueden no ser visibles en todos los monitores.

2



El mapa completo debe caber en la pantalla sin desplazarse, si hacer un zoom no es posible

Hay que hacer puntos y líneas 15% más grandes que en un mapa para imprimir.

4



Debe haber un límite en la cantidad y complejidad de los datos del mapa, comparado con un mapa para imprimir.

6



### 3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CARTOGRAFÍA DETERMINÍSTICA EN ZONIFICACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA

Durante las entrevistas que se realizaron a servidores públicos para elaborar esta metodología, se abordó extensamente el problema de la relación entre la cartografía de riesgo y la zonificación. Este punto es uno de los principales nudos en la utilización efectiva de cualquier Atlas de Riesgos en las tareas que implica la planeación territorial y el desarrollo urbano, razón por la cual es importante delinear algunos aspectos relevantes para mejorar su potencial de ser utilizado. Abordaremos algunos elementos relacionados con los parámetros cromáticos y categorías que se utilizan usualmente en México, tanto en zonificación primaria como secundaria, para después plantear los alcances y limitaciones del diseño de productos cartográficos sobre los componentes del riesgo aplicados a instrumentos de planeación del suelo urbano.

En primer término, debemos señalar que uno de los elementos más importantes de un mapa es su uso del color para comunicar un fenómeno territorial. A lo largo de la historia de la cartografía (Olson, 2015), autores clásicos como Arthur Robinson (desde los años cincuenta), y muchos autores contemporáneos, por ejemplo Brewer (1994) han señalado la importancia de un buen uso del color para desplegar apropiadamente la información, los patrones y las relaciones que se busca mostrar a través de un mapa.

[El color] actúa como un elemento clarificador y simplificador, al generar contraste, así como incrementar el número de niveles visuales y actuar como un agente unificador. De esta manera, el uso de color tiene un efecto significativo en la reacción subjetiva del lector del mapa y tiene un marcado efecto en la perceptibilidad (Robinson, 1967).

Sin embargo, además de ser un instrumento para mejorar la comunicabilidad de los productos cartográficos, el color a veces representa convenciones específicas de ciertos campos de conocimiento que utilizan mapas para facilitar la identificación de elementos de interés propios de un gremio. Tal es el caso del uso del color en el ámbito del urbanismo; razón por la cual una parte de la cartografía del Atlas de Riesgos Metropolitanos (también aplicable a los Atlas de Riesgos Municipales) en lugar de seguir las recomendaciones de los cartógrafos respecto al uso de la cromática, deben seguir convenciones que facilitan su legibilidad dentro de campos profesionales específicos.

Aunque no existe una norma oficial para nuestro país relativa al uso del color en la cartografía urbanística, tenemos dos tipos de convenciones. Una de ellas es la de los tipos de zonas y sus claves alfanuméricas, presentes en diversas normativas; por ejemplo, el **Reglamento de Zonificación del Estado de Jalisco**, el cual, en su Art. 22 desglosa con detalle dichas zonas y sus claves y las agrupa en grandes categorías. Este tipo de regulación existe también en otras entidades federativas.

El segundo tipo de convención es el que se deriva, con adaptaciones diversas a lo largo del tiempo y en cada país de los manuales de codificación estadounidenses (*Standard Land Use Coding Manual* de la oficina de Administración de la Renovación Urbana del Departamento de Comercio de Estados Unidos (1965); de la American Planning Association (Jeer y Bain, 2017) o español (Unión Internacional de Arquitectos, 1977). Mientras que el primero se enfoca, sobre todo, en la codificación nominal de los usos de suelo, el manual norteamericano compara tres códigos distintos utilizados en Estados Unidos, y el español incluye colores y símbolos entre los cuales incluso se encuentran algunos relativos a amenazas o a fenómenos peligrosos que deben preverse.

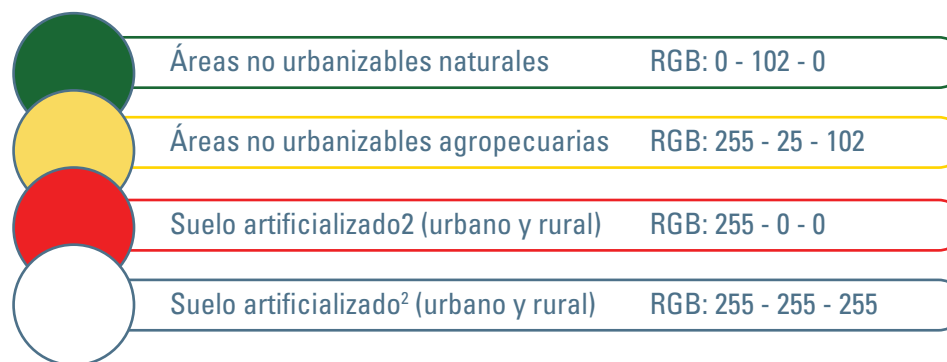
En México, se sigue un estándar cercano al español, en el cual la zonificación secundaria utiliza colores amarillos para los usos habitacionales, azules para los equipamientos, verdes para las áreas verdes, rosas para usos mixtos, rojos para la infraestructura de gobierno y violetas o grises para usos industriales o infraestructura peligrosa.

Otro ejemplo reciente para el caso mexicano es el documento del año 2019 *Términos de Referencia para la elaboración o actualización de Planes o Programas Municipales de Desarrollo Urbano*<sup>14</sup>, en los cuales por primera vez hay una definición de la colorimetría de los usos de suelo tanto en la zonificación primaria como secundaria. Para el caso de la zonificación primaria, es similar a lo descrito en el párrafo anterior (aunque con algunas diferencias relevantes en las diferentes infraestructuras).

Sin embargo, el uso del color es de carácter netamente descriptivo (nominal). Si bien este documento menciona que se debe incorporar el riesgo y la vulnerabilidad social en la evaluación de instrumentos de planeación municipal vigentes, la propuesta de este documento no cualifica la condición de riesgo en el territorio. En realidad, el sentido de su indicación refiere exclusivamente a exposición a diversas amenazas y no incluye un abordaje o estrategia metodológica específica para incorporar el análisis de riesgo en los Programas Municipales de Desarrollo Urbano.

En ese sentido, es importante señalar que la colorimetría propuesta para la zonificación primaria (aquella que es de carácter general e indicativa para los procesos de planeación) está muy limitada en esta propuesta, ya que propone lo siguiente:

**FIGURA 9. COLORIMETRÍA DE ZONIFICACIÓN PRIMARIA PROPUESTA EN LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA ELABORACIÓN O ACTUALIZACIÓN DE PLANES O PROGRAMAS MUNICIPALES DE DESARROLLO URBANO DE SEDATU**



<sup>14</sup> Este documento se encuentra en el sitio [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/451049/190404TdR\\_PMDU.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/451049/190404TdR_PMDU.pdf). Último acceso: 13 de julio de 2020.

De acuerdo con estos términos de referencia, relativos a la zonificación primaria “las subclasificaciones que se propongan pueden ser coloreadas en tonos degradados de los colores generales propuestos”. Sin embargo, estos colores no representan de manera adecuada el conjunto de procesos que el Art. 59 de la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano señala para este tipo de zonificación. Para ello, se trae a colación dicho artículo:

Como se puede ver a partir de la revisión literal del Art. 59, las fracciones III a IX contienen indicaciones sobre la formulación de la zonificación primaria que no es posible detallar solamente bajo la colorimetría propuesta por los Términos de Referencia; por lo cual, en complemento a dicho señalamiento, se sugerirá que la clasificación de algunos de los parámetros y usos, susceptibles de integrarse en el marco del Atlas de Riesgos Metropolitano como insumo para que la

### **Artículo 59.** Corresponderá a los municipios formular, aprobar y administrar la Zonificación de los Centros de Población ubicados en su territorio.

La Zonificación Primaria, con visión de mediano y largo plazo, deberá establecerse en los programas municipales de Desarrollo Urbano, en congruencia con los programas metropolitanos en su caso, en la que se determinarán:

- I.** Las áreas que integran y delimitan los Centros de Población, previendo las secuencias y condicionantes del Crecimiento de la ciudad.
- II.** Las áreas de valor ambiental y de alto riesgo no urbanizables, localizadas en los Centros de Población.
- III.** La red de vialidades primarias que estructure la conectividad, la Movilidad y la accesibilidad universal, así como a los espacios públicos y equipamientos de mayor jerarquía.
- IV.** Las zonas de Conservación, Mejoramiento y Crecimiento de los Centros de Población.
- V.** La identificación y las medidas necesarias para la custodia, rescate y ampliación del Espacio Público, así como para la protección de los derechos de vía.
- VI.** Las Reservas territoriales, priorizando las destinadas a la urbanización progresiva en los Centros de Población.
- VII.** Las normas y disposiciones técnicas aplicables para el diseño o adecuación de Destinos específicos tales como para vialidades, parques, plazas, áreas verdes o equipamientos que garanticen las condiciones materiales de la vida comunitaria y la Movilidad.
- VIII.** La identificación y medidas para la protección de las zonas de salvaguarda y derechos de vía, especialmente en áreas de instalaciones de riesgo o sean consideradas de seguridad nacional, compensando a los propietarios afectados por estas medidas.
- IX.** La identificación y medidas para la protección de los polígonos de amortiguamiento industrial que, en todo caso, deberán estar dentro del predio donde se realice la actividad sin afectar a terceros. En caso de ser indispensable dicha afectación, se deberá compensar a los propietarios afectados.





zonificación primaria tenga un desglose mayor y, en la medida de lo posible, similitudes con los colores utilizados para la zonificación secundaria de manera que exista la mayor coherencia y legibilidad posible para los servidores públicos profesionistas del desarrollo urbano y del ordenamiento territorial. Es importante tomar también en consideración que existen estándares cartográficos sobre el uso de color en mapas cualitativos en cuanto a la representación de rasgos del terreno; por ejemplo, el uso del azul para representar cuerpos de agua, o el verde para vegetación.

Para cerrar esta sección, sintetizamos algunas de las principales recomendaciones propias del campo de la cartografía para mejorar la comunicabilidad de un producto. En general, se debe considerar que, para los mapas determinísticos que definen una cualidad o característica relativa al riesgo en categorías no ordenadas (nominales), y que, por lo tanto, lo que muestran son diferencias de tipo, se sugiere usar un gradiente de dos tonos ("hue"), con gradiente ("lightness") y saturación iguales o muy similares; por ejemplo, las categorías binarias urbano/suburbano en dos gradientes de rojo, y vegetación natural/

urbana en dos gradientes de verde. Por otro lado, para los mapas probabilísticos que, como su nombre lo indica, representan valores que corresponden a un orden numérico, deben presentar tonos secuenciados. En este caso, se requieren series de dos o más tonos si el orden numérico tiene más de siete categorías, dado que es complicado para el usuario interpretar las secuencias largas que se presentan en un solo tono<sup>15</sup>.

Finalmente, un elemento crucial del mapa es que el rasgo central de éste debe tener un claro contraste respecto al fondo y a otros elementos secundarios del producto. Es decir, debe haber una manera de hacer resaltar el tema que se cuenta en el mapa a través del color o a través de líneas u otros elementos gráficos (por ejemplo, utilizar una textura particular para representar el agua o ciertos tipos de vegetación). Los mapas temáticos pueden contener figuras que en un manejo proporcional pueden representar tasas o información complementaria relativa a volumen, densidad o característica de un fenómeno, lo cual es particularmente importante para la representación de probabilidades o mapas que utilicen alguna isaritma, por ejemplo, algunos mapas de peligro de lluvia intensa.

**15** Para mayor detalle, los textos de Brewer (1994) y Tyner (2010) proporcionan muchos ejemplos. Hay sugerencias prácticas para el uso del color en el sitio desarrollado por Cynthia Brewer, Color Brewer 2.0, disponible en el sitio <https://colorbrewer2.org/#>. Última consulta: 19 de julio de 2021.

## 3.4. LA CARTOGRAFÍA DE LOS PROCESOS CLAVE DE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO

Como cierre de este capítulo, abordaremos el proceso para identificar los elementos clave de los productos para la gestión integral del riesgo. Tal y como se presentó en la **Sección 2.2. Los Atlas de Riesgos y los procesos de gestión integral del riesgo (CUADRO 6)**, en esta metodología identificamos seis procesos clave: 1) Generar conocimiento sobre el riesgo de desastres en sus diferentes ámbitos, 2) Prevenir el riesgo futuro, 3) Reducir el riesgo existente, 4) Preparar la respuesta, 5) Responder y rehabilitar, 6) Recuperar y reconstruir. En esa misma sección también señalamos, en el **CUADRO 7**, cinco componentes útiles para identificar a los usuarios y los posibles productos que pudieran requerir para realizar procesos de gestión integral de riesgo: a) Definir el perfil del usuario, b) Facultad o atribución de GIR conferida al usuario, c) El fundamento legal de sus facultades y atribuciones, d) La misión o proceso clave dentro del esquema general de gestión integral del riesgo, y e) Los productos que apoyan a las tareas del proceso clave.

Esta sección abunda sobre cómo traducir estos cinco elementos en productos cartográficos específicos, no sólo en términos de todo lo señalado en la **Sección 3.2. La cartografía de un Atlas de Riesgos** (por ejemplo, sus variables, escala, metadatos, etcétera) sino, sobre todo, en términos de su utilidad para un proceso específico de gestión. Es decir, para este proceso, lo más importante es comprender para qué tareas (o solucionar qué problemas) se utilizará el producto cartográfico en cuestión. La diferencia entre cualquier metodología existente para hacer Atlas de Riesgos y la que aquí presentamos se centra en este punto: el proceso sustantivo, a partir de la modelación y el cálculo de riesgo, es tener un producto final con potencial de ser útil en el marco de atención a un problema territorial, geográfico, relativo a ese riesgo.

Para ello, veamos la estructura del **CUADRO 13**, donde se presentan algunos ejemplos de estos productos en los cuales, el contenido es pensado directamente en función del uso que se le dará.

El **CUADRO 13** nos muestra la semilla de lo que será la estructura del Sistema de Información Geográfica o geovisualizador que utilizemos. Parte del registro de un usuario específico, con facultades, atribuciones y/o intereses identificables, quien tiene un papel en alguno de los procesos clave de gestión de riesgo, y requiere de un insumo para realizarlo o resolverlo. Este insumo proviene de un modelo científico de riesgo, y se traduce en un producto que le señala al usuario, en su interés particular y en el lenguaje cartográfico más adecuado posible para éste, cuál es el problema o la solución que puede implementar.

Esta tabla nos muestra la diferencia entre un Atlas de Riesgos tradicional que se estructura a través del análisis de los fenómenos respecto a uno orientado a procesos clave de gestión. La estructura original de un Atlas, elaborado a partir de las categorías de “fenómenos perturbadores” contemplados en la Ley General de Protección Civil está orientada desde una visión naturalista que señala el fenómeno físico y la exposición a la amenaza asociada a éste como la causa predominante del riesgo. En esta propuesta, por el contrario, se busca generar un sistema de información cuya prioridad sea la de formular y visualizar los varios productos cartográficos necesarios para tomar decisiones en el marco de distintos modelos y escenarios de riesgo, validados técnica y científicamente, de manera que lo que se presenta a los usuarios sea útil a un servidor público (y al ciudadano con interés en el tema) para tomar una decisión informada a partir de ese conocimiento, en la medida que la información y el conocimiento científico lo permitan.

• • **CUADRO 13. EJEMPLOS DE DISTINTOS PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS EN UN ENFOQUE ORIENTADO A LOS PROCESOS CLAVE DE GESTIÓN DEL RIESGO**

USUARIO	MISIÓN O PROCESO CLAVE	EJEMPLO DE PRODUCTOS	
		TEMAY USO FINAL	CONTENIDO
<b>Personal de desarrollo urbano municipal</b>	1. Conocer el riesgo	Vulnerabilidad física: visualizar la escorrentía.	Capa dinámica con animación a partir de escenarios de lluvia, escalable 1:30,000 - 1:350,000 (metropolitano), cuantitativo discreto, a doble color, con divisiones en isoyetas.
	2. Prevenir el riesgo futuro	Preservación de áreas de infiltración para reducir la amenaza de inundación.	Mapa determinístico (cualitativo) de áreas (polígonos) con alto potencial de infiltración en una de las microcuencas metropolitanas (1:50,000).
<b>Personal de protección civil municipal</b>	4. Preparar la respuesta	Valores máximos (envolventes) de profundidad de inundación.	Mapa determinístico de niveles de riesgo, construido a partir del cálculo probabilístico de envolventes, como insumo para determinar las zonas y rutas de evacuación en caso de inundación pluvial (1:10,000-1:30,000).
<b>Personal de IMEPLAN</b>	6. Recuperar y reconstruir	Áreas de posible reubicación en caso de daños en viviendas, asociados a fracturas, licuefacción u otras condiciones del suelo que impidan reconstruir o rehabilitar.	X número de mapas determinísticos (cualitativos) de las áreas (polígonos) reservadas para reubicación de asentamientos humanos (escalable 1:2,500).
<b>Personal de oficinas municipales de Obras Públicas</b>	5. Responder y rehabilitar	Escenarios de peligro y amenaza: cuantificar la infraestructura expuesta en una situación de lluvia extrema.	Ubicación de la infraestructura de transporte (vías, mobiliario urbano, etc.) expuesta a altos tirantes de inundación en un escenario de peligro de lluvia de percentil 95.

Fuente: elaboración propia

# Ideas fuerza del **CAPÍTULO 3**

**C**ualquier producto cartográfico, ya sea un producto impreso o digital, requiere de un **proceso de diseño y producción que identifique el usuario y el objetivo de comunicación** del mapa. La información cruda puesta en un geovisualizador puede dificultar significativamente el acceso a esta información, en lugar de facilitarlos.

Existen mapas de referencia, mapas de propósito especial y mapas temáticos. **La mayoría de los productos cartográficos relativos al riesgo y sus componentes, son mapas temáticos.**

Dentro de la categoría de mapas temáticos, los hay **cuantitativos y cualitativos**, cada uno de los cuales requiere identificar adecuadamente qué tipo de variable muestra, para **delimitar adecuadamente el tema del producto y utilizar los recursos gráficos más adecuados** para facilitar su interpretación.

El proceso de elaborar un producto cartográfico tiene cuatro fases principales: la planeación, el análisis de los datos, la presentación y la edición. Ello implica identificar el **propósito** del producto, el **tema** principal, la **audiencia o usuario**, la **narrativa** del mapa, y su **formato** principal de uso.

Los mapas producidos para su consulta final en un Sistema de Información Geográfica en una computadora de escritorio o en un geovisualizador, deben considerar no sólo los elementos ya señalados de producción, sino además factores como resolución de **color**, **interactividad** y **animación**.

Existen diversas metodologías para la **codificación y colorimetría de los usos de suelo**, tanto en zonificación primaria y secundaria. Es importante que los productos desarrollados para orientar la planeación del suelo urbano **consideren las convenciones del campo urbanístico**, de manera que sean legibles y utilizables para este segmento de servidores públicos.

El objetivo más importante de un Atlas de Riesgos es producir insumos para que diferentes usuarios puedan **resolver tareas o solucionar problemas en las diferentes fases de la gestión integral del riesgo, a partir de la mejor evidencia científica disponible.**



**COMPONENTE METODOLÓGICO 3**

# MODELACIÓN DE VULNERABILIDAD SOCIAL<sup>16</sup>



## 4.1. ¿PARA QUÉ MEDIR LA VULNERABILIDAD SOCIAL EN UN ATLAS DE RIESGOS?

**E**xisten muchos trabajos de medición de la vulnerabilidad social para distintos propósitos, tanto en nuestro país (Constantino, R. y Dávila, H., 2011; García et al., 2006; Magaña, 2013; Thomas Bohórquez, 2013) como internacionalmente (Arteaga y San Juan, 2012; Cardoso, 2017; Cutter et al., 2009; Golovanevsky, 2007; Tate, 2012).

Dada la diversidad de las propuestas existentes en este campo de conocimiento, es necesario sintetizar los principios básicos de estas propuestas para entonces poder seleccionar los elementos más útiles para los dos propósitos que tiene el marco de un Atlas de Riesgo: modelar el riesgo y comunicar la susceptibilidad al daño.

### Modelar el riesgo

La vulnerabilidad es un componente que, junto a información de las amenazas y la exposición de las personas, sus bienes y la infraestructura crítica, permite calcular el riesgo como probabilidad de un daño no aceptable o crítico. Notemos que, desde esta perspectiva, los indicadores de vulnerabilidad social se escogen completamente en función de la amenaza. También es importante ver que, como parte del riesgo (la probabilidad de rebasar el umbral de daño crítico), el indicador de

vulnerabilidad social debe ayudar a definir 1) cuál es ese umbral crítico de daño sobre el cual la probabilidad se convierte en algo no aceptable y 2) definir la probabilidad de que ese daño ocurra, en algún ejercicio matemático con los otros dos componentes (amenaza y exposición). Es decir, se abordan los factores o procesos físicos y ambientales a los que hace referencia la Ley General de Protección Civil, Artículo 2 Fracción LVIII.

16 La vulnerabilidad física se aborda en el capítulo siguiente, **Componente metodológico 4, Modelación de inundaciones.**

## Comunicar la susceptibilidad al daño

La segunda connotación de la vulnerabilidad es la de información clave para la toma de decisiones sobre una población susceptible al daño por sus características específicas. En esta segunda connotación, la vulnerabilidad no se ve como un cálculo de probabilidad de daño, sino como información determinística sobre el estado que guardan ciertas unidades espaciales (manzanas, áreas geoestadísticas básicas, localidades y municipios) para saber la cantidad de población expuesta, sus características, la infraestructura crítica expuesta, su densidad, dispersión o aislamiento territorial, su religión, prevalencia de discapacidad, los daños de eventos previos, etc. En este sentido, esta información provee una medida de las “deficiencias” en el desarrollo social, que permiten a un tomador de decisiones poder ponderar las decisiones sobre prevención, atención de emergencias y conocer a los grupos sociales en esa condición de desventaja, que los hace más susceptibles al daño. En esta acepción, la vulnerabilidad social ayuda a la toma de decisiones en el territorio, al identificar aspectos específicos de desventaja social o desigualdad en la distribución de recursos, sobre los cuales es posible incidir. Es decir, se abordan los factores o procesos sociales y económicos a los que hace referencia la Ley General de Protección Civil, Artículo 2 Fracción LVIII.

Ambos componentes son importantes en un Atlas, pero necesitan procesos técnicos muy distintos, y se alimentan de fuentes muy diferentes. Para el primer caso, lo que hace falta es tener una batería de variables que sean ‘sensibles’ a cada tipo de amenaza y estandarizarlas en uno o varios índices<sup>17</sup>. Dichos índices, dependiendo de la resolución necesaria para visualizar adecuadamente la amenaza, pueden incluso ser contruidos a partir de variables censales, o a partir de información

de encuestas complementarias a variables censales que puedan ser periódicamente actualizadas de manera local. En el caso de que un gobierno local o un órgano de coordinación metropolitana estuviera interesado en complementar la información de vulnerabilidad social en una alta resolución, y que dicha información no formara parte o no estuviera disponible en tabulados o microdatos censales, se puede levantar una encuesta complementaria sea compatible con las fuentes estadísticas oficiales. Para ello, se sugiere reproducir las mismas variables del instrumento de interés (por ejemplo, la Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares (ENIGH) o la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo, entre otras), con un diseño muestral que permita tener información en una resolución detallada que estos instrumentos no tienen en cuanto a su muestreo original y sumar las variables de la encuesta de la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales de Municipales de Peligros y Riesgos para la parte de vulnerabilidad social (García et al. 2014, p. 75 en adelante).

Esto es importante porque, tal como se revisó en la **Sección 1.4. Componentes dinámicos y componentes estáticos del Atlas de Riesgos Metropolitano**, una manera de mantener vigentes y actualizados los Atlas de Riesgos es a través del uso de información pública que sea actualizada en periodos regulares.

Las variables de cualquier índice de vulnerabilidad social deben ser seleccionadas bajo un *principio de parsimonia*; es decir, más que abarcar muchas dimensiones, requieren enfocarse en pocas pero lo más significativas posible, y que no estén correlacionadas entre sí; de esta manera, nos aseguramos que expresen en mejor medida los aspectos más importantes que interactúan con la amenaza para predecir probabilidad de daño crítico o no aceptable.

<sup>17</sup> En este sentido, cabe señalar que no es conveniente, por coherencia metodológica, mezclar diferentes tipos de índices (por ejemplo, representar algún aspecto de vulnerabilidad con un índice aditivo jerárquico, y en el mismo trabajo, representar otro aspecto de la vulnerabilidad con un índice matricial). Sin embargo, puede ser necesario por propósitos de comunicación, presentar de manera separada los valores resultantes de cada dimensión de la vulnerabilidad que resulte significativa para el cálculo del riesgo.

Por otro lado, cuando utilizamos los índices de vulnerabilidad social para comunicar la susceptibilidad al daño, lo que hace falta es otra batería de variables que se pueda trabajar como índices que se construyen para cumplir con algún objetivo de intervención territorial. En primer término, estos índices pueden servir para medir la "intensidad" de la desventaja (dónde están las personas en peor condición, y cuál es el sentido de su desventaja); o bien, para medir un rasgo en particular donde haya que actuar rápido (por ejemplo, dónde hay poblaciones discapacitadas, niños o adultos mayores). Esa información también puede ser censal, ser levantada con una encuesta con mayor resolución que los tabulados censales, construirse a partir de microdatos o ser resultado de proyecciones sociodemográficas o económicas. Esta batería de variables es justo la que se debe desarrollar para cada fenómeno. Ejemplo de este segundo tipo de connotación de vulnerabilidad social está en trabajos como los de Natenzon (2015) y Román et al. (2017).

Bajo estos antecedentes, es importante resaltar que la segunda acepción del concepto de vulnerabilidad social es útil en el marco de un Atlas de Riesgo para comunicar a quienes lo consultan acerca de aspectos significativos de intervención territorial en los diferentes momentos y procesos clave (por ejemplo, al considerar la reducción del riesgo existente, preparar la respuesta o reconstruir). En la conceptualización de un Atlas de Riesgo como un sistema de información utilizable en múltiples fases de la gestión del riesgo (Cutter, 2003; Emrich et al., 2011), la batería de indicadores sobre las características de la población, las actividades económicas y la infraestructura expuesta son una parte fundamental del sistema.

Así pues, si bien la modelación del riesgo incluye variables asociadas a la vulnerabilidad social, ésta también nos sirve de manera independiente, ya que así los usuarios de Atlas de Riesgos pueden identificar rápidamente ciertos aspectos sociales, relacionados con temas como la condición estructural de las viviendas, la composición sociodemográfica de la población, o el perfil de las unidades económicas para diseñar intervenciones preventivas específicas.

## 4.2. ÍNDICES DE VULNERABILIDAD SOCIAL EN UN ATLAS DE RIESGOS

Los índices de vulnerabilidad social refieren a las características culturales, económicas y demográficas de la población en una unidad espacial que constituye la unidad de análisis (manzana, colonia, AGEB, municipio o localidad). En general, existen tres estrategias para elaborar los índices de vulnerabilidad (Tate, 2012). Las estrategias aditivas (aditiva jerárquica y aditiva ponderada) (Bollin y Hidajat, 2006; Dwyer et al., 2004), las factoriales (componentes principales) (Cutter et al., 2003) y las matriciales (cruce de valores relativos y absolutos) (Barrenechea et al., 2000; Natenzon, 2015).

Para un Atlas de Riesgos, en esta metodología proponemos seguir una estrategia matricial. Ésta es la más útil porque nos sirve para considerar la intensidad de la desventaja y la "masa" o magnitud de cada problema (variable) en una unidad espacial específica. Es decir, no solamente nos sirve para ver qué tan bien o mal están las personas respecto a un criterio específico (por ejemplo, ingreso o educación), sino también qué cantidad de personas existen y qué proporción de la población total representan en una unidad espacial determinada.



**FIGURA 10. MATRIZ COMBINADA DE VALORES ABSOLUTOS Y RELATIVOS, POR CASO, PARA LA DETERMINACIÓN GLOBAL DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL**

		IVSD VALORES ABSOLUTOS				
		MB	B	M	A	MA
IVSD VALORES RELATIVOS	MB	MB, MB	MB, B	MB, M	MB, A	MB, MA
	B	B, MB	B, B	B, M	B, A	B, MA
	M	M, MB	M, B	M, M	M, A	M, MA
	A	A, MB	A, B	A, M	A, A	A, MA
	MA	MA, MB	MA, B	MA, M	MA, A	MA, MA

Fuente: Natenzon (2015), p. 6

REFERENCIAS: MB: muy bajo, B: bajo, M: medio, A: alto, MA: muy alto.

Este tipo de índices son muy convenientes para representar el comportamiento de una variable en unidades espaciales. Si bien, permite hacer una síntesis general de la vulnerabilidad social cuando se observan sus componentes de manera desglosada, permite ver el peso de cada variable en una escala ordinal y tiene una base matemática muy sencilla. Es este último método, por su replicabilidad y sencillez, es el escogido para ilustrar la condición general de vulnerabilidad social en este marco metodológico.

La integración de este índice en adelante lo denominaremos con las siglas IVS (Índice de Vulnerabilidad Social) mismo que sigue la estrategia publicada por Claudia Natenzon para el Índice de Vulnerabilidad Social a Desastres (IVSD), en la 3ª Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Natenzon, 2015, pp. 5-6), cuya explicación se reproduce de manera cercana al original en los siguientes párrafos.

El Índice de Vulnerabilidad Social se compone de una matriz que combina dos tipos de valores de las variables seleccionadas: el absoluto y el relativo. Los valores absolutos sirven para dimensionar la variable en términos de magnitud (cuántas unidades [personas, hogares, localidades] presentan características desventajosas). Los valores relativos sirven para dimensionar la variable en términos de intensidad de la carencia (qué proporción de esas unidades [personas, hogares, localidades] respecto al total). El índice combina tanto los absolutos como los relativos en cinco rangos de valor, los cuales se utilizan de manera diferenciada; en ambos casos, lo que se busca es mostrar la mayor heterogeneidad en los valores de las variables.

Para el caso de los absolutos, los valores de las variables se cortan en cinco categorías utilizando el sistema de cortes por quintiles; es decir, los cortes definidos cada 20% de casos. En todas las variables se asigna el valor más alto de vulnerabilidad (del 1 al 5), al valor más alto de la variable.

Para el caso de los relativos, el conjunto de casos de cada variable se corta en cinco rangos o intervalos iguales, definidos a partir de los valores; ello permite ver la distribución en cinco rangos de valores, cada uno de los cuales de la misma magnitud. A cada rango se le asignó un valor entre el 1 y el 5, en el cual, en todas las variables se asigna el valor más alto de vulnerabilidad, al valor más alto de la variable.

Una vez que se calculan ambos componentes, que en cada caso corresponderán a un valor entre 1 y 5 (donde el 1 es muy bajo y el 5 es muy alto) para cada uno de los casos contemplados (en este caso, AGEBs), sus valores se cruzan en la siguiente matriz (**FIGURA 10**):

La matriz constituye una síntesis de la vulnerabilidad social de cada uno de los casos (área geoestadística básica o cualquier unidad territorial que se utilice, como municipio o manzana).

Ese valor final de síntesis se introduce en el Sistema de Información Geográfica, y constituye el resultado final del IVS general. Sin embargo, la matriz es el instrumento para identificar cuál es el factor crítico que define en mayor peso la vulnerabilidad general, así como el nivel de intensidad negativa (criticidad) que muestra. En la sección

**4.4. Metodología para la integración de los indicadores del IVS** se describe a detalle el procedimiento para recuperar la información necesaria para la versión general del IVS, que podría posteriormente utilizarse para integrar un índice específico para temas que sea relevante resaltar para usuarios y tomadores de decisiones, a partir de la información censal existente. La metodología propuesta puede utilizarse, con ajustes, para desarrollar cartografía a partir de otros indicadores de vulnerabilidad que se desee resaltar para comunicar aspectos específicos relacionados con desventajas sociales o susceptibilidades.

Las razones por las cuales se utiliza esta estrategia, en contraste con muchas otras estrategias para determinar la vulnerabilidad social, son las siguientes:

- Su fácil replicabilidad a partir de información censal disponible cada diez años. Con ello es posible conocer el comportamiento de cada componente en puntos específicos del pasado, y replicarlo en contextos futuros con los mismos criterios.

- El corte de cada nivel de intensidad negativa es objetivo, con lo cual, aunque el resultado final de la variable es ordinal, la estrategia para determinar los rangos se establece a partir de los valores objetivos de las variables y la distribución de los casos.
- Cada variable e indicador tiene un peso igual, por lo cual el índice no requiere ponderaciones. Con ello, el equipo que la utilice no debe encontrar métodos adicionales para asignar pesos a los distintos factores
- Permite visualizar fácilmente el factor o factores con mayor peso absoluto o relativo, con lo cual se pueden comunicar de mejor manera los problemas a los actores sociales encargados de atender cada uno de ellos.

Parte de las características para el cálculo de vulnerabilidad social que presentamos en esta lista son útiles para analizar la disponibilidad de otras fuentes de información que podrían, potencialmente, ser utilizada en la construcción de conocimiento sobre este aspecto. Las fuentes de información que son compatibles con los aspectos escalares que se mencionan en el apartado **1.1. Características de un Atlas de Riesgos metropolitano vs Atlas de Riesgos estatales y municipales** (especialmente el **CUADRO 1**), deben tener las siguientes características:

- Presentar una periodicidad regular
- Contener información sobre todas las unidades espaciales contenidas en el espacio geográfico de interés (AGEBs, localidades, manzanas). Es decir, no pueden contener información para un fragmento de dicho espacio geográfico y para otro no, por ejemplo, de ciertos municipios sí y de otros no.
- Deben tener una resolución espacial y, en el caso de las encuestas, un diseño muestral que permita identificar la heterogeneidad del aspecto a representar dentro de la extensión geográfica del Área Metropolitana. Se requiere una resolución más fina que la de una unidad municipal, dado que se busca representar de manera significativa los procesos que

ocurren en el territorio metropolitano. Una resolución más gruesa puede dar lugar a falacias ecológicas.

- Ser un proxy adecuado del aspecto deficitario (intrínseco) o sensible a la amenaza (específico) que ayuda a comprender la susceptibilidad al daño.

Estas condiciones son difíciles de encontrar en fuentes de información que no sean censos y conteos. En el caso de algunas encuestas, aunque tienen información relevante que podría ser considerada

para la construcción de índices de vulnerabilidad social, suelen tener un diseño muestral que no permite inferencias en una resolución menor a la metropolitana (es decir, se obtiene un valor único para toda el área metropolitana). Ejemplo de ello son los muestreos válidos por ámbito rural/urbano por entidad federativa o por estrato (complemento rural, 50 mil a 100 mil...). Por esta razón, dichos instrumentos, aunque contienen información muy valiosa, tienen limitaciones en cuanto a las inferencias espaciales que podemos obtener de ellos en esta escala.

### 4.3. APLICACIONES DEL IVSY OTROS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD EN COMUNICACIÓN DE RIESGOS

De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud, la comunicación de riesgos “se refiere al intercambio en tiempo real, de información, recomendaciones y opiniones, entre expertos y/o funcionarios y personas que se enfrentan a una amenaza (riesgo) para su sobrevivencia, su salud o su bienestar económico o social. El objetivo final de la comunicación de riesgos es que toda persona expuesta a un riesgo sea capaz de tomar decisiones informadas para mitigar los efectos de la amenaza (riesgo), como el brote de una enfermedad, y tomar las medidas y acciones de protección y prevención” (Sanchez, 2015).

La *Guía para la elaboración de la estrategia de comunicación de riesgo. De la teoría a la acción de la Organización Panamericana de la Salud* (Brennan y Gutiérrez, 2011), señala que las estrategias de comunicación de riesgo que incluyen fases de preparación, prevención, respuesta y recuperación. Si bien, hay un claro componente relacionado con la gestión de crisis, la comunicación de riesgos incluye de igual manera, un importante elemento preventivo, así como otro adicional relacionado con la recuperación después de la fase crítica. Es particularmente rele-

vante para la implementación de un Atlas de Riesgos incidir en las fases de preparación y prevención; y, sin embargo, es en las fases en las que usualmente se ejerce menos el proceso de comunicación, ya que no está vigente en la agenda política y social la urgencia relacionada con las fases críticas de una emergencia o de un desastre.

Sin embargo, la comunicación de la condición de una población o territorio respecto a su riesgo es importante para poder incidir adecuadamente en los distintos aspectos de la vulnerabilidad social que componen ese riesgo; o bien, en su caso, diseñar estrategias de mitigación de la exposición. Este proceso de comunicación, o más bien, procesos (en plural), se asocian a quién es el actor que está en posibilidades de incidir en la reducción de vulnerabilidades o en la mitigación, cuál es su ámbito de actuación, sus atribuciones legales, su conocimiento técnico, legal o especializado, o bien, sus intereses en la agenda pública para el caso del sector ciudadano. Así, los índices de vulnerabilidad social y sus diferentes expresiones (numéricas, matriciales o cartográficas) son un componente muy importante tanto para definir

las acciones y prioridades de los entes públicos (por ejemplo, para priorizar la inversión en obra pública, fortalecer capacidades o planear acciones), como para la preparación ante emergencias. Los índices sirven para planear y gestionar recursos, hacer capacitaciones y diseñar mensajes (con sus respectivos canales y formatos de difusión).

Los índices de vulnerabilidad social tienen como objeto comunicar, son instrumentos intencionalmente flexibles que se pueden y deben adecuar y adaptar a las necesidades de comunicación de los usuarios. Por ejemplo, una Unidad de Protección Civil y atención a emergencias requiere conocer los factores asociados directamente con la atención de crisis, lo cual implica que los índices de vulnerabilidad utilizados para dicha función deberán resaltar el peso específico de componentes como poblaciones con movilidad limitada, o menor accesibilidad. En otro ejemplo, una dependencia de planeación municipal requerirá conocer el riesgo global, pero también elementos como movilidad urbana reducida o conflictiva, la condición de irregularidad de un asentamiento, o información sobre vulnerabilidad estructural de un parque habitacional.

En este sentido, la metodología propuesta para la generación de un índice de vulnerabilidad social necesariamente deberá tomar en cuenta los aspectos más importantes para comunicar cuáles son los problemas en los ámbitos de actuación pública de los usuarios del Atlas y seguir los pasos metodológicos correctos. Éstos se sintetizan en el **CUADRO 14**.

Si bien este último criterio no aplica en la estrategia matricial que seguimos, es importante considerarla al utilizar otros tipos de índices frecuentes (por ejemplo, los aditivo-jerárquicos), ya que implica incidir en el peso específico que un índice otorga a un determinado factor. Usualmente, esto se da sustituyendo las estrategias de corte de valores absolutos y relativos para destacar o recalcar algún rango de valores críticos (por ejemplo, los dos quintiles más bajos, o los dos cortes porcentuales más altos), que ayude al tomador de decisiones a identificar de mejor manera los valores más críticos de indicadores de su interés.

Con base en los principios planteados en las dos secciones previas, presentamos ahora la integración de los indicadores del índice de vulnerabilidad social que utilizamos en esta metodología.

## • • CUADRO 14. PASOS PARA CONSTRUIR UN ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL

- 1 Definir la estrategia más conveniente para la construcción del índice (aditiva, factorial o matricial).
- 2 Seleccionar cuidadosamente las variables, a partir de los criterios conceptuales y contextuales relevantes, pero tomando en cuenta su relevancia, el rigor con el que fueron levantadas, su homogeneidad o heterogeneidad y su replicabilidad futura.
- 3 Realizar la estandarización u homologación de las variables.
- 4 En su caso, establecer rangos de valor o cortes (umbrales) a partir de criterios claros.
- 5 Construir los indicadores a partir de las variables seleccionadas.
- 6 En el caso de métodos aditivos o jerárquicos, establecer ponderadores y los criterios que estos siguen. Es particularmente relevante hacer explícita la razón por la cual se asigna un peso mayor a un conjunto de factores que a otro.

Fuente: elaboración propia

## 4.4. INTEGRACIÓN DE LOS INDICADORES DEL IVS

El índice de vulnerabilidad social (IVS) en este trabajo tiene tres variantes:

- El IVS (1) construido a partir de microdatos censales (para representar los municipios) que da cuenta del estado general de cada uno de los municipios que conforman el Área Metropolitana de Guadalajara.
- El IVS (2) construido a partir de tabulados censales (para representar las Área Geoestadísticas Básicas) que representa diversas dimensiones de desventaja social con una resolución mayor (AGEB) pero con una agregación más gruesa respecto al IVS(1)<sup>18</sup>.
- El IVS (3) construido a partir de tabulados, similar al IVS (2) en términos de su escala, pero con indicadores distintos, con mayor sensibilidad a la amenaza de inundación.

En las siguientes tres secciones se presentan los procedimientos para la construcción de las tres variantes.

### 4.4.1. Integración del IVS(1). Microdatos

En el siguiente cuadro se detallan las dimensiones, variables e indicadores de este índice de vulnerabilidad. El hecho de que esté construido a partir de microdatos significa que se tiene la máxima resolución en cuanto a las variables y, por la forma en la que está construida la información censal; implica que se pueden aplicar al-

gunos filtros a los datos y hacer algunos indicadores compuestos a partir de dos variables. Ejemplo de ello es el indicador I. Nivel educativo del jefe de hogar, que se deriva de cruzar dos variables: el nivel educativo y la posición al interior del hogar, a través del identificador de cada microdato.

<sup>18</sup> Los conceptos relacionados con la escala están explicados con detalle en la Sección 1.1., Cuadro 1.

• • **CUADRO 15. INDICADORES PARA EL IVS(1) –MICRODATO,  
NIVEL MUNICIPAL**

DIMENSIONES	VARIABLES	INDICADORES
<b>Condiciones Sociales</b>	Educación	a. Analfabetismo
	Salud	b. Exclusión de servicios de salud públicos
	Demografía	c. Población de 0 a 14 años
		d. Población de 65 y más años
<b>Condiciones Habitacionales</b>	Vivienda	e. Hacinamiento crítico
	Servicios básicos	f. Falta de acceso a red pública de agua potable
		g. Falta de acceso a desagües cloacales
<b>Condiciones</b>	Trabajo	h. Condición de actividad desventajosa
<b>Económicas</b>	Educación	i. Nivel educativo del jefe de hogar
	Familia	j. Hogares sin cónyuge

Las fuentes de los indicadores seleccionados son las siguientes:

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

Censo de Población y Vivienda 2010. Microdatos del cuestionario básico.

Se solicitó el acceso y autorización del uso de los datos a través del Laboratorio de Microdatos de INEGI.

A continuación, se presenta la definición de los indicadores para el caso de México.



## EDUCACIÓN a - Analfabetismo

Para este primer indicador la pregunta seleccionada del Censo 2010 fue "¿Sabe leer y escribir un recado?". Las categorías que se utilizan para definirlo son Sí / No. Del indicador se seleccionó a la población de 8 años y más de edad que declaró no saber ni leer ni escribir un recado y se incorpora a la base de datos del IVS bajo el nombre de "Analfabetismo".

Para el indicador en términos relativos, se dividió la población de 8 años de edad y más que no sabe leer ni escribir un recado por el total de población de 8 años y más que sí sabe leer y escribir un recado.

Se selecciona la información sobre alfabetismo por ser la mediación cognitiva primordial con la información oficial.



## SALUD

### b - Exclusión de servicios de salud públicos

Para la exclusión a los servicios de salud, se contabiliza el número de personas que no forman parte de los servicios enumerados en el cuestionario básico.

El cuestionario incluye a no derechohabientes, inscritos en lo que fue el Seguro Popular

1. IMSS
2. ISSSTE
3. ISSSTE estatal
4. Pemex, Defensa o Marina
5. Seguro popular o para una Nueva Generación
6. Seguro privado
7. Seguro de otra institución
8. No tiene derecho a servicios médicos

Para la elaboración del IVS absoluto, se contabilizan las personas en la categoría 8. Para el IVS relativo, se toma el porcentaje de personas sin derecho a servicios médicos, entre el total de población. Se selecciona el indicador de derechohabencia como proxy para conocer la accesibilidad a servicios de salud.



## DEMOGRAFÍA

Para la dimensión demografía, se tomó el segmento inferior y superior de la pirámide poblacional o de la estructura por edades según grandes grupos.

### c - Población de 0 a 14 años

Se trata del segmento más joven de la pirámide poblacional. Para el IVS absoluto se tomó la primera de las categorías, esto es, población de 0 a 14 años. Para el IVS relativo se calculó el porcentaje representado

por la cantidad de personas de 0 a 14 años sobre el total de población de un área determinada. En este caso no se divide por la cantidad de activos (15-64) porque lo que se quiere demostrar no es la dependencia potencial, sino el peso de los dos extremos de la pirámide de edades sobre la población total del área.

### d - Población de 65 años y más

Se trata del segmento más envejecido de la pirámide. Para el IVS absoluto se tomó la última de las categorías, esto es, población de 65 años y más. Para el IVS relativo se calculó el porcentaje de personas de 65 años y más sobre el total de población de un área determinada.

Los grupos de población contemplados en los indicadores a. y b. tienen menor capacidad para prevenir frente a una lluvia intensa con la finalidad de implementar acciones de reducción de vulnerabilidad social, o autogestión del riesgo.



## VIVIENDA

### e - Hacinamiento crítico

Para la dimensión de vivienda se seleccionó el *Hacinamiento*. De las categorías existentes se tomó la de mayor criticidad, esto es tres y más personas por cuarto (Kaztman, 2011, p. 86). El hacinamiento en las viviendas es un factor crucial para entender varios aspectos asociados a la calidad de vida y a los daños que potencialmente puede generar la materialización de una amenaza.

El hacinamiento representa el cociente entre la cantidad total de personas en la vivienda y la cantidad total de dormitorios disponibles (sin contar baño/s y cocina/s). Por dormitorio se entiende "cuarto de la vivienda que se utiliza para dormir, independientemente de que también se realicen otras actividades". Las categorías son:

1. Hasta 0.50 personas por cuarto
2. De 0.51 a 1.00 personas por cuarto
3. De 1.01 a 1.50 personas por cuarto

4. De 1.51 a 2.00 personas por cuarto
5. De 2.01 a 3.00 personas por cuarto
6. Más de 3.00 personas por cuarto

Para la elaboración del IVS absoluto, se tuvo en cuenta la categoría 6, más de 3,00 personas por cuarto. Para el IVS relativo se tomó el porcentaje de viviendas con más de tres personas por cuarto en relación con el total de viviendas.



## SERVICIOS BÁSICOS

En el caso de los indicadores seleccionados para dar cuenta de los servicios básicos disponibles en las viviendas, se tomó el caso de la disponibilidad de agua y la falta de acceso a desagües cloacales.

### f - Falta de acceso a red pública de agua potable

Para este indicador se tuvo en cuenta la disponibilidad de agua entendida como la “clasificación de las viviendas particulares según la forma en la que los ocupantes se abastecen de agua para consumo personal y doméstico”. El indicador de acceso al agua y de los desechos cloacales son muy relevantes como proxy de la seguridad humana y de la calidad de los servicios urbanos que se asocian a daños y pérdidas. En el Censo del 2010 se especifica que una vivienda puede contar con lo siguiente:

1. **Agua entubada dentro de la vivienda:** “condición de las viviendas particulares que cuentan con tuberías que transportan el líquido para que las personas puedan abastecerse mediante grifos ubicados en la cocina, excusado, baño u otras instalaciones similares”.

2. **Agua entubada fuera de la vivienda, pero dentro del terreno:** “condición de las viviendas particulares que cuentan con una tubería que transporta el líquido y cuyo grifo está ubicado solo en el terreno que ocupa la vivienda”.
3. **Agua entubada de llave pública (o hidrante):** en este caso el agua que se utiliza y consume en la vivienda se obtiene mediante su traslado de una toma pública.
4. **Agua entubada que acarrear de otra vivienda:** “condición de las viviendas particulares cuyos ocupantes acuden a otra vivienda que tiene agua entubada, o a una llave pública para abastecerse y transportar el líquido hasta su vivienda”.
5. **Agua de pipa:** en este caso el agua que se utiliza y consume en la vivienda se obtiene mediante su traslado a través de camiones cisterna (pipas).
6. **Agua de un pozo, río, lago, arroyo u otra:** el agua que se utiliza y consume en la vivienda se obtiene mediante su traslado desde un cuerpo de agua.

Para la elaboración del IVS, se tomó la sumatoria de las categorías 3, 4, 5, y 6. En el caso del IVS relativo, se obtuvo el porcentaje de viviendas sin acceso a la red pública de agua corriente sobre el total de viviendas.

### g - Falta de acceso a desagües cloacales

Para este indicador se tuvo en cuenta la disponibilidad de drenaje o desagüe y su conexión, o la “distinción de las viviendas particulares según la existencia de drenaje” entendido como el “sistema de tuberías que permite desalojar de la vivienda las aguas utilizadas en el excusado, fregadero, regadera u otras instalaciones similares”. En el Censo del 2010 se especifica que en una vivienda el drenaje puede estar conectado a:

1. **Red pública:** conexión a la red pública de alcantarillado para descarga de las aguas residuales de la vivienda.





2. **Fosa séptica:** "instalación, excavación o preparación especial en el ámbito de la vivienda, en la que se desalojan por medio del drenaje las aguas utilizadas".
3. **Tubería que va a dar a una barranca o grieta:** en este caso se hace referencia a un sistema de tubos o mangueras por medio del cual se desalojan las aguas utilizadas hacia otro terreno fuera del ámbito de la vivienda.
4. **Tubería que va a dar a un río, lago o mar:** consiste en un sistema de tubos o mangueras por medio del cual se desalojan las aguas utilizadas hacia un cuerpo de agua.
5. **No tiene drenaje:** En el caso del IVS absoluto, se tuvieron en cuenta las categorías 3, 4 y 5 de un área determinada. En el caso del IVS relativo, se obtuvo el porcentaje de viviendas sin acceso a desagües cloacales sobre el total de viviendas de un área determinada.



## TRABAJO

### h - Condición de actividad desventajosa

Para este indicador se tuvo en cuenta la *Condición de actividad*. En el Censo del 2010 la condición de actividad económica queda definida como la "situación que distingue a la población de 12 y más años, de acuerdo con si en la semana de referencia participó o no en la actividad económica, o si buscó vincularse a alguna. Se clasifica en: Población económicamente activa y Población no económicamente activa". Se trata entonces de la población económicamente activa (población de 12 o más años) que, según el Censo de 2010 puede identificarse por alguna de las siguientes categorías:

10. Trabajó (por lo menos una hora).
13. Se declara que busca trabajo y por verificación se rescata que trabaja.
14. Se declara que es jubilado o pensionado y por verificación se rescata que trabaja.

15. Se declara que es estudiante y por verificación se rescata que trabaja.
16. Se dedica a los quehaceres del hogar y por verificación se rescata que trabaja.
17. Se declara que tiene alguna limitación física o mental... y por verificación se rescata que trabaja.
18. Se declara que no trabaja y por verificación se rescata que trabaja:
19. No se tiene información en condición de actividad y por verificación se rescata que trabaja.
20. Tenía trabajo, pero no trabajó.
30. Buscó trabajo.
40. Pensionada(o) o jubilada(o).
50. Estudiante.
60. Se dedica a los quehaceres del hogar.
70. Tiene alguna limitación física o mental que le impide trabajar. Para la elaboración del IVS absoluto se tuvieron en cuenta las categorías 20, 30, 40, 50, 60 y 70. En el caso del IVS relativo, se calculó el porcentaje entre la población desocupada y la población económicamente activa. Brinda información sobre la proporción de personas que están demandando trabajo y no lo consiguen en relación con el total de la población económicamente activa. El indicador nos ayuda a entender la capacidad de recuperación de las personas ante las pérdidas al enfrentar una amenaza.

### i - Nivel educativo del jefe de hogar

Para este indicador, su construcción se basó en dos categorías del Censo 2010: 1) Parentesco; y 2) Escolaridad acumulada (años aprobados acumulados). Este indicador es un proxy de diversos recursos clave del jefe de hogar (por ejemplo, la lectoescritura); es también conocido que la mayor escolaridad acumulada presenta una correlación positiva con el nivel de ingreso.

El parentesco indica el “vínculo existente que los integrantes de la vivienda tienen con el jefe(a) del hogar censal, ya sea por consanguinidad, unión conyugal, adopción, afinidad o costumbre”. Para construir el indicador se tomó sólo la categoría Jefa o Jefe del hogar censal, que es la “persona reconocida como tal por los residentes habituales de la vivienda”.

Para el nivel educativo, se tomó la *escolaridad acumulada (años aprobados acumulados)*, que equivale a los años escolares cursados y aprobados. Ya que el indicador busca identificar al número de jefe(a)s del hogar con secundaria incompleta<sup>19</sup>, sólo se tomaron las siguientes categorías:

00 = Sin Escolaridad  
00 = Preescolar  
01 = 1º. Primaria  
02 = 2º. Primaria  
03 = 3º. Primaria  
04 = 4º. Primaria  
05 = 5º. Primaria  
06 = 6º. Primaria  
07 = 1º. Secundaria  
07 = 1º. Técnico o comercial con primaria  
08 = 2º. Secundaria  
08 = 2º. Técnico o comercial con primaria

Las restantes categorías, a partir de la categoría 09 = 3º. Secundaria y hasta la 24 = 6º. Doctorado, quedaron descartadas.

Para el indicador en términos relativos, se dividió el total de jefe(a)s de hogar con educación secundaria incompleta, sobre el total de jefe(a)s de hogar en el municipio.



## COMPOSICIÓN FAMILIAR

### j - Hogares sin cónyuge

Para este indicador, su construcción se basó en cuatro categorías del Censo 2010: 1) Parentesco; 2) Situación conyugal; y 3) Número de hijos. Un hogar cuyo jefe no tiene cónyuge, tiende a presentar mayores tasas de dependencia, y se correlaciona con mayor precariedad laboral e ingresos menores.

El parentesco indica el “vínculo existente que los integrantes de la vivienda tienen con el jefe(a) del hogar censal, ya sea por consanguinidad, unión conyugal, adopción, afinidad o costumbre”. Para construir el indicador se tomó sólo la categoría Jefa o Jefe del hogar censal, que es la “persona reconocida como tal por los residentes habituales de la vivienda”.

Por situación conyugal se entiende la “condición de unión o matrimonio en el momento de la entrevista de las personas de 12 y más años, de acuerdo con las costumbres o leyes del país. Esta se clasifica en Unidas, Alguna vez unidas y Nunca unidas”. El Censo de 2010 identifica las siguientes categorías para la situación conyugal:

- |                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Unión libre                 | 6. Casada(o) sólo religiosamente    |
| 2. Separada(o)                 | 7. Casada(o) civil y religiosamente |
| 3. Divorciada(o)               | 8. Soltero                          |
| 4. Viuda(o)                    |                                     |
| 5. Casada(o) sólo por el civil |                                     |

Para construir el indicador de hogares sin cónyuge sólo se tomaron las categorías 2, 3, 4 y 8 (esta última sólo si reporta contar con hijos, lo que ayudaría a identificar a personas solteras pero que decidieron adoptar). Para el IVS relativo, se calcula el porcentaje de hogares nucleares sin cónyuge sobre el total de hogares con jefatura masculina o femenina.

<sup>19</sup> Se toma este límite porque en México, de acuerdo con el Art. 3º Constitucional, la educación básica se conforma por la preescolar, la primaria y la secundaria. Una secundaria incompleta o inferior implica que la persona no completó la educación básica.

## 4.4.2. Integración del IVS(2). Tabulados

Las fuentes de los indicadores seleccionados son las siguientes:

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) Censo de Población y Vivienda 2010, documento *Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por AGEB y manzana urbana*. Disponible en [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2010/doc/fd\\_agebmza\\_urbana.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2010/doc/fd_agebmza_urbana.pdf)

Las variables elegidas a partir de tabulados para conformar el IVS(2) y sus indicadores son los siguientes:

• • **CUADRO 16. INDICADORES PARA EL IVS(2) –A PARTIR DE TABULADOS, POR AGEB**

DIMENSIONES	VARIABLES	INDICADORES
<b>Condiciones Sociales</b>	Educación	a. Analfabetismo
	Salud	b. Exclusión de servicios de salud públicos
	Demografía	c. Población de 0 a 14 años
		d. Población de 65 y más años
<b>Condiciones Habitacionales</b>	Vivienda	e. Viviendas particulares habitadas de un solo cuarto
	Servicios básicos	f. Falta de acceso a red pública de agua potable
		g. Falta de acceso a desagües cloacales
<b>Condiciones Económicas</b>	Trabajo	h. Población no económicamente activa
	Educación	i. Población que no completó la educación obligatoria
	Familia	j. Hogares con jefatura femenina



### EDUCACIÓN a - Analfabetismo

Se suman los totales de la variable 98 (población de 8 a 14 años que no saben leer y escribir) y 101 (población de 15 años y más analfabeta).

Para el indicador en términos relativos, se dividió la población de 8 años de edad y más que no sabe leer ni escribir por el total de población de 8 años y más que sí sabe leer y escribir en la AGEB.



### SALUD b - Exclusión de servicios de salud públicos

Se selecciona el total de la variable 137 (población sin derechohabencia a servicios de salud). Para el indicador en términos relativos, se divide el total de la variable 137 entre el total de la población de la AGEB (variable 1).



## DEMOGRAFÍA

### c - Población de 0 a 14 años

Se suman las variables 4 (población de 0 a 2 años), 22 (población de 3 a 5 años), 25 (población de 6 a 11 años) y 31 (población de 12 a 14 años).

Para el indicador en términos relativos, se divide el total de la variable 137 entre el total de la población de la AGEB (tabulado 1).

### d - Población de 65 años y más

Se toma el total de la variable 47 (población de 65 años y más).

Para el indicador en términos relativos, se divide el total de la variable 47 entre el total de la población de la AGEB (variable 1).



## VIVIENDA

### e - Hacinamiento crítico

Se toma el total de la variable 170 (viviendas particulares habitadas con un solo cuarto). No se toma la categoría relacionada con el hacinamiento (promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas) (variable 165), ya que éste arroja un valor global para la AGEB (como su nombre lo indica, un promedio) sin proporcionar información sobre el número absoluto de hogares que tienen condiciones de hacinamiento. Al presentar un promedio, la variable 165 generaliza el valor del indicador, la cual, cuando se representa en un mapa, es una falacia ecológica.

En contraste, la variable 170 no necesariamente se relaciona con viviendas hacinadas, pero sí refiere a las viviendas que están en mayor probabilidad de presentar hacinamiento.

Para el IVS relativo, se divide entre la variable 170 (viviendas particulares habitadas con un solo cuarto) entre la variable 160 (total de viviendas particulares habitadas). Dado que no es posible obtener el

porcentaje de viviendas particulares que están en condiciones de hacinamiento con los tabulados, se divide la cantidad de viviendas que están en mayor probabilidad de presentar hacinamiento, las que tienen un solo cuarto, y se divide entre el total de viviendas particulares habitadas. Esta división no arroja la cifra real de viviendas hacinadas, pero es la mejor aproximación posible con los datos existentes, en caso de que disponga de microdatos.



## SERVICIOS BÁSICOS

### f - Falta de acceso a red pública de agua potable

Se toma la variable 176 (viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda). Para el valor relativo, se divide la variable 176 entre el tabulado 160 (total de viviendas particulares habitadas) de la AGEB.

### g - Falta de acceso a desagües cloacales

Se toma la variable 179 (viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje). Para el valor relativo, se divide la variable 179 entre la variable 160 (total de viviendas particulares habitadas) de la AGEB.



## TRABAJO

### h - Desocupados (a partir de población no económicamente activa)

Se toma el total de la variable 128 (población no económicamente activa). Para el valor relativo, se divide la variable 128 entre la variable 13 (población de 12 años y más) de la AGEB.



## CONDICIÓN ECONÓMICO-EDUCATIVA

### i - Población que no completó la educación obligatoria

Se toma el total de la variable 113 (población de 15 años y más con secundaria incompleta). Para el valor relativo, se divide la variable 113 entre la variable 16 (población de 15 años y más) de la AGEB.



## COMPOSICIÓN FAMILIAR

### j - Hogares con jefatura femenina

Se toma el total de la variable 152 (hogares censales con jefatura femenina). Para el valor relativo, se divide la variable 152 entre la variable 150 (total de hogares censales) de la AGEB.

### 4.4.3. Variaciones del IVS

Como se especificó en el apartado 4.1. **¿Para qué medir la vulnerabilidad social?**, la vulnerabilidad se construye no sólo para identificar una población susceptible al daño por sus características intrínsecas y específicas. También tiene una función de comunicar aspectos o componentes clave para la toma de decisiones para diferentes procesos de gestión de riesgo.

Los índices de vulnerabilidad social deben construirse a partir de la mejor evidencia disponible para seleccionar las dimensiones adecuadas y los indicadores que, dentro de un modelo matemático, representen de mejor manera la susceptibilidad al daño y comuniquen mejor los aspectos sociales sobre los cuales se requiere incidir para la reducción de la vulnerabilidad o reducir las desigualdades en el acceso a recursos la incrementan.

En este apartado, se presentan dos ejemplos de ajuste del IVS para reflejar la vulnerabilidad social ante inundaciones. En un primer ejemplo, se ajusta el IVS construido a partir de tabulados, a dimensiones intrínsecas y específicas de daño en ese contexto. En un segundo ejemplo, se construye un indicador específico como proxy de exposición, sin integrarlo en un índice; de esta manera, es posible ver la distribución individual de esa variable (en este caso, micro unidades económicas en áreas de exposición).

#### EJEMPLO 1. Ajuste de IVS específico a exposición a inundaciones (por tabulados)

Las fuentes de los indicadores seleccionados son las siguientes: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo de Población y Vivienda 2010, *Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por AGEB y manzana urbana*. Disponible en [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2010/doc/fd\\_agebmza\\_urbana.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2010/doc/fd_agebmza_urbana.pdf)

Las variables elegidas a partir de tabulados para conformar el IVS(3) y sus indicadores son los siguientes:

#### • • CUADRO 17. INDICADORES PARA EL IVS(3) – A PARTIR DE TABULADOS, POR AGEB, CON INDICADORES DE EXPOSICIÓN ANTE AMENAZA DE INUNDACIÓN

DIMENSIONES	INDICADORES
Exposición	a. Población menor a 5 años
	b. Población mayor de 65 años
	c. Población con discapacidad
	d. Bienes de las viviendas
	e. Viviendas sin drenaje
	f. Viviendas con piso de tierra

## a - Población menor a 5 años

Se suman los totales de las variables 4 (personas de 0 a 2 años de edad) y 22 (población de 3 a 5 años). Para el indicador en términos relativos, se divide el total de la suma de las variables 4 y 22 entre el total de la población de la AGEB (variable 1).

## b - Población mayor a 65 años

Se toma la variable 47 (personas de 65 a 130 años de edad). Para el indicador en términos relativos, se divide el total de la variable 47 entre el total de la población de la AGEB (variable 1).

Estos grupos de población tienen menor capacidad para prevenir frente a una lluvia intensa con la finalidad de implementar acciones de reducción de vulnerabilidad, o autogestión del riesgo.

## c - Población con discapacidad

Se calcula la diferencia entre la población total (variable 1) y la variable 82 (población sin limitación en la actividad). La diferencia es la población con al menos un tipo de discapacidad.

En el mismo sentido que los dos indicadores anteriores, la población contemplada en el indicador c. presenta limitaciones para realizar acciones de autogestión del riesgo; adicionalmente, la relación de dependencia hacia otras personas puede disminuir la capacidad de respuesta ante emergencias.

## d - Bienes de las viviendas

Para el indicador, se calcula la diferencia entre las viviendas particulares habitadas totales (variable 160) y la variable 181 (viviendas particulares habitadas sin ningún bien). La diferencia son las viviendas que no tienen bienes expuestos. Desafortunadamente, no se publicaron los datos de viviendas particulares con 1, 2, 3, o el total de los

bienes considerados en las preguntas del censo, por lo cual no es posible diferenciar el número de viviendas que tienen más bienes respecto a las que tienen menos bienes.

Para el indicador en términos relativos, se divide la diferencia de viviendas calculada (viviendas con algún bien), entre el total de viviendas particulares habitadas (variable 160).

El indicador fue seleccionado debido a que el grado de afectación material depende de los bienes expuestos. Así, el valor o la cantidad de bienes materiales que serían susceptibles de perderse ante una inundación determinaría un nivel de exposición que contribuye a ser más vulnerable. Mientras más bienes, mayor exposición. Cabe señalar que un indicador más específico (dependiente de la amenaza) puede también diferenciar cada uno de los bienes, ya que algunos de ellos son recursos para la reducción de la vulnerabilidad social. En ese sentido, se debe especificar en el indicador si se consideran para el cálculo de exposición o de vulnerabilidad, como nosotros lo hacemos al presentar este ejemplo.

## e - Viviendas sin drenaje

Se toma la variable 170 (viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje). Para el indicador en términos relativos, se divide el total de la variable 170 entre el total de viviendas particulares habitadas (variable 160).

Esta variable y la siguiente (viviendas con piso de tierra) refiere a los hogares cuyas características físicas implican una mayor afectación y, por lo tanto, susceptibilidad al daño, en caso de una inundación.

## f - Viviendas con piso de tierra

Se toma la variable 167 (viviendas particulares habitadas con piso de tierra). Para el indicador en términos relativos, se divide el total de la variable 167 entre el total de viviendas particulares habitadas (variable 160).



## EJEMPLO 2. Indicador específico de exposición de unidades vulnerables ante inundaciones

La fuente de este indicador es:

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

Directorio Estadístico de Unidades Económicas (DENUE)

<https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6>

[https://www.inegi.org.mx/contenidos/masiva/denue/denue\\_diccionario\\_de\\_datos.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/masiva/denue/denue_diccionario_de_datos.pdf)

La variable elegida para construir el indicador de exposición de unidades económicas susceptibles es la "Descripción estrato personal ocupado" (ESTR\_POC). Se seleccionan los tabulados 1 (0 a 5) y 2 (6 a 10). Se utiliza también la información de latitud y longitud de los archivos vectoriales asociados, para su geolocalización.

El indicador se utiliza solamente en absolutos, para comunicar en la cartografía la distribución de tales establecimientos en las zonas consideradas de mayor probabilidad de inundación (alta y muy alta). Para ello, se calcula la densidad de unidades económicas micro (0 a 10 personas, que se consideran como establecimientos con dificultades para la recuperación de daños materiales directos) a partir del cálculo de densidad de Kernel. Los resultados de esta densidad se clasifican en cinco rangos, a partir de la técnica de intervalos geométricos.

Los indicadores que se representan individualmente tienen una función específica de comunicación de la vulnerabilidad social y/o la exposición, a través del lenguaje cartográfico. Mientras que la representación de indicadores es una síntesis de las dimensiones más relevantes que permiten calcular los grupos sociales o unidades geográficas con mayores probabilidades de sufrir impactos, los indicadores individuales ayudan a identificar aspectos directos en los cuales las acciones de gestión deben enfocarse para la reducción del riesgo.

## 4.5. A MODO DE CIERRE

Los índices de vulnerabilidad social son un elemento indispensable en los Atlas de Riesgos, no sólo porque forman parte del cálculo de riesgo propiamente dicho, sino porque son medios para identificar y comunicar las dimensiones de la sociedad que están en condiciones adversas o negativas y se asocian a una mayor susceptibilidad al daño. En el análisis de riesgo, el componente de vulnerabilidad es el camino para identificar los factores en los cuales es posible incidir, considerando los diversos procesos clave que constituyen la gestión preventiva.

Muchos trabajos previos han analizado la vulnerabilidad social, y algunos otros han abordado los problemas para representar este aspecto en los Atlas de Riesgos. Sin embargo, en muchos Atlas de Riesgos en nuestro país se tiende a integrar capas de información de los denominados "agentes afectables" (población, infraestructura, cultivos, etcétera), en lugar de su vulnerabilidad.

# Ideas fuerza del **CAPÍTULO 4**

La vulnerabilidad social sirve para identificar las condiciones sociales que generan una **mayor susceptibilidad al daño** ante cualquier amenaza.

La vulnerabilidad social tiene dos tipos de aplicaciones diferentes: en primer lugar, formar parte de los componentes para **calcular el riesgo** (en conjunto con la amenaza y la exposición); y, por otro lado, **proveer información clave para la toma de decisiones**.

Existen diferentes estrategias para calcular la vulnerabilidad social, en las cuales se integran y ponderan diferentes aspectos de la realidad, a través de **indicadores**, los cuales se reúnen a través de algún procedimiento matemático (adición, análisis factorial, cruce matricial etc.) para generar **índices**.

**No existe un índice de vulnerabilidad único o universal** que pueda ser utilizado en todas las circunstancias, escalas o ante todas las amenazas. Sin embargo, los índices de vulnerabilidad deben construirse a partir de criterios conceptuales sólidos, incluyendo el análisis de disponibilidad y escala de la información, y el tipo de uso que se les quiera dar para **dar cuenta de un aspecto social deficitario**.

Los índices de vulnerabilidad social pueden construirse para **dar cuenta de aspectos problemáticos a atender en una unidad espacial** determinada, o pueden construirse como **módulos con indicadores específicos a cada tipo de amenaza**.







**COMPONENTE METODOLÓGICO 4**

# MODELACIÓN DE INUNDACIONES



## 3.1. INTRODUCCIÓN

**E**l análisis de inundaciones que se desarrolla en este documento responde a la necesidad de identificar el riesgo y sus componentes, a una escala metropolitana, para poder ser utilizado en el desarrollo de productos cartográficos diferenciados para diferentes momentos de gestión de riesgo, tal y como se desarrolló en los Componentes metodológicos 1 y 2. Como se planteó en la parte introductoria de este texto, es particularmente relevante considerar que la mayor parte de sus usos y usuarios están orientados a procesos de planeación metropolitana (Ver la **Sección 2.3. El diseño de Atlas orientado a procesos clave de gestión de riesgos**); es decir, es un producto que, por sus usuarios y procesos misionales, se desarrolla en una escala operacional que busca identificar los procesos hidrológicos generales de las cuencas y subcuencas del dominio de interés, de tal manera que sea aplicable para procesos de zonificación primaria. En ese mismo sentido, es relevante señalar que su objeto no es la identificación de los mecanismos puntuales a escala de microcuencas, los cuales se requieren, por ejemplo, para la operación de obras hidráulicas, o para informar zonificación secundaria, lo cual es la orientación propia de los atlas de riesgos a escala municipal. La metodología que se presenta en esta

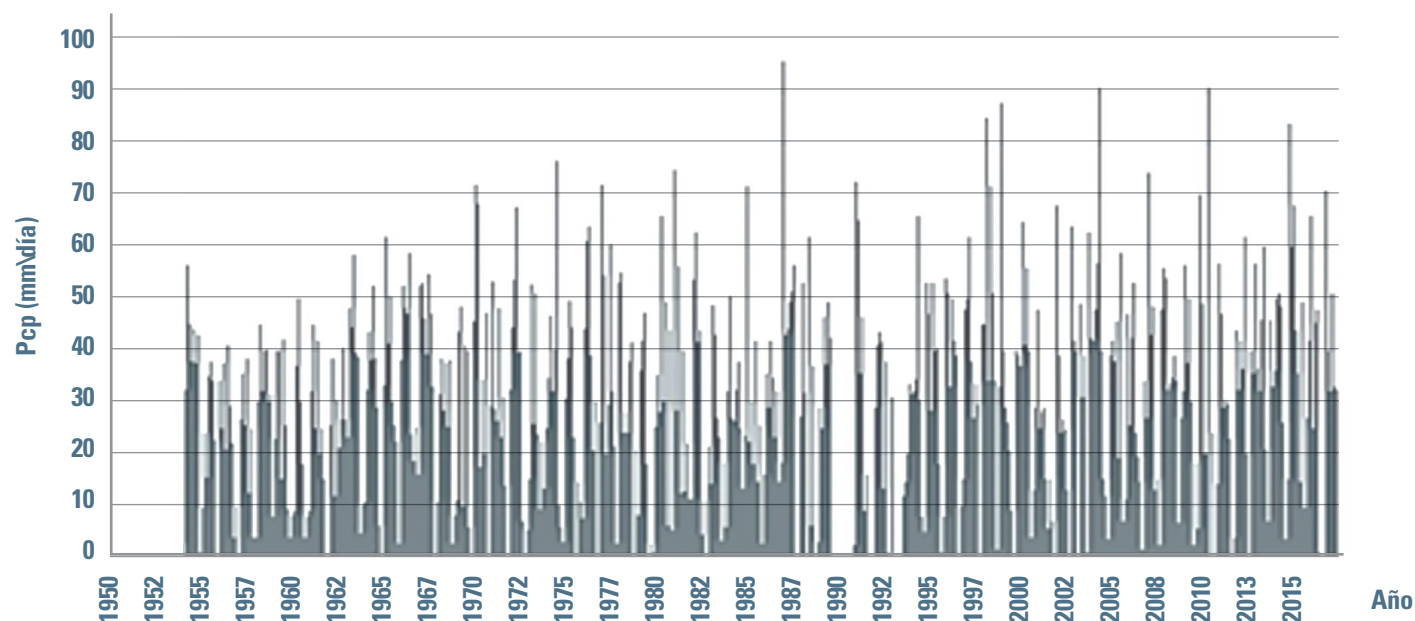
sección ha sido diseñada para identificar las zonas del AMG con mayor probabilidad de presentar inundaciones estáticas y dinámicas<sup>20</sup>, a partir de la integración de un análisis del peligro meteorológico y la identificación de la vulnerabilidad física del territorio, derivada tanto de factores físicos como de la ocupación humana en el territorio metropolitano.

En materia de riesgos hidrometeorológicos, peligro se refiere a la probabilidad de que ocurra un evento meteorológico o climático que, en un contexto con factores de vulnerabilidad física, resulta en una afectación, como pueden ser las inundaciones. El cálculo del peligro que, como ya se mencionó en la **Sección 1.3. Riesgo, peligro, amenaza, exposición y vulnerabilidad**, se hace a partir del cálculo de probabilidades que se obtiene a partir de datos que se relacionan con impactos cambiantes, con el fin de determinar cuándo hay más peligro (es decir, los umbrales en donde el impacto negativo es significativo).

Por ejemplo, es común que los sistemas de administración del agua o de protección civil en las ciudades consideren que, valores de lluvia de 20 o 30 mm/hr, sean un umbral crítico de peligro que incrementa a niveles intolerables el riesgo de inundación. A partir de datos históricos se ha estimado cuál es la probabilidad de que de los días con lluvias que constituyan un peligro usando valores de lluvia diaria (**FIGURA 12**).

<sup>20</sup> Inundación dinámica es el flujo de agua constante o temporal, con condiciones cambiantes de velocidad de escurrimiento, originadas en áreas de captación con pendiente y que pueden transportar sedimentos y escombros (un aspecto particularmente relevante en la gestión de riesgo en áreas urbanizadas). La inundación estática o lenta se refiere al aumento paulatino del nivel del tirante.

**FIGURA 11. LLUVIAS DIARIAS EN LA ESTACIÓN GUADALAJARA ENTRE 1954 Y 2018**



**Fuente:** Elaboración propia con datos del Servicio Meteorológico Nacional

Sin embargo, hay ocasiones en que aún con lluvias menores a un valor dado (umbral), terminan en inundación, lo cual puede suceder si el terreno está saturado por lluvias continuas en una zona o porque la condición de la cuenca ha sido modificada.

Es así como, para definir un peligro, no es solamente cuestión de contar cuántas veces llueve fuerte en una zona, sino analizar un proceso y sus tendencias en el tiempo. Se debe considerar que, con el cambio climático, por ejemplo, el peligro de lluvias intensas ha ido incrementándose, por lo que definir el peligro, requiere estudiar sus aspectos dinámicos. La **FIGURA 11** muestra las lluvias diarias en la estación Guadalajara (Observatorio) entre 1954 y 2018, y en ella es posible observar cómo después de la década de los setenta, los eventos de precipitación diaria superior a 30 mm/día presentan un aumento en la magnitud y frecuencia.

Cuando estimamos valores de peligro (probabilidades), se pueden realizar tareas del proceso clave 2. Prevenir el riesgo futuro (ver **Sección 2.3. El diseño del Atlas orientado a procesos clave de gestión de riesgos**). Los valores de peligro pueden ayudar a diseñar intervenciones de tipo estructural, es decir, se busca corregir las condiciones de vulnerabilidad física y social, aún cuando no esté ocurriendo el fenómeno que causa daño. Así, se puede mejorar el drenaje, implementar un esquema diferente de manejo del agua en una presa considerando pronósticos climáticos, o se pueden recuperar algunos de los servicios ecosistémicos rehabilitando o restaurando una cuenca.

Por otro lado, cuando se trabaja con estimaciones de riesgo basadas en información de una amenaza, se hace referencia a la materialización del ya mencionado peligro, pero en eventos específicos, con una intensidad, ubicación y momentos dados. Por lo general, se hace

estimación de la amenaza con datos observados o un pronóstico de corto plazo. Los valores de la amenaza nos permiten tomar otro tipo de acciones ante el riesgo, particularmente en los procesos clave 3. Reducir el riesgo existente y 4. Preparar la respuesta. Un ejemplo de ello es el de un sistema de alerta temprana, en donde se movilizan cuerpos de manejo de emergencias o se alerta a las personas sobre qué hacer para no estar presentes (expuestas) en la zona y el momento en que se pueda presentar una inundación. En otras palabras, la amenaza se refiere a un evento con una expresión geográfica y temporal específica que, de no atenderse, puede generar altas probabilidades de desastre.

Así, peligro y desastre tienen implicaciones que van más allá de la semántica, pues involucran dos tipos de acciones de diferente índole en materia de gestión de riesgo. Las acciones de gestión de riesgo a partir del análisis del peligro son muy distintas de las que se derivan del análisis de amenaza; esto permite diferenciar el tipo de usuario o actor clave que debe usar la información. Como ya lo vimos en la **Sección 2.4. Estrategia para identificación de los usuarios y contextos de uso**, para el primero se puede trabajar con los responsables de la planeación, mientras que para el segundo caso se puede enfocar en los cuerpos encargados de la emergencia, como son los de protección civil o las instancias encargadas del manejo hidráulico de la ciudad.

Es necesario reconocer que para muchos resulta indistinto hablar de peligro o de amenaza, pues las capacidades de pronóstico de un evento geofísico específico pueden ser muy limitadas. Por ejemplo, la predecibilidad de sismos como peligro es casi nula, y limitada cuando se trata de erupciones volcánicas. Sin embargo, la predecibilidad en el caso del tiempo meteorológico o de clima es mucho mayor y por ello, las acciones de prevención con amenaza son toda una línea en trabajo, sin olvidar que procesos como el cambio climático (peligro) requieren de acciones de adaptación. Caracterizar el peligro requiere de conocimiento sobre los fenómenos naturales en un área geográfica específica.

Durante el siglo xx se instaló en México una red de estaciones de superficie que permite caracterizar las lluvias diarias y saber dónde es mayor la probabilidad de ocurrencia de tormentas severas. Es a través

de esta red de estaciones meteorológicas que hoy podemos caracterizar el clima regional y en ocasiones local, con el fin de establecer niveles de peligro. Además, desde hace algunas décadas, se cuenta con modernos sistemas de monitoreo remoto del tiempo, como los satélites o los radares meteorológicos que permiten caracterizar la evolución de los eventos que resultan en peligro.

La combinación de mediciones *in situ*, con estimaciones remotas ayuda a contar con diagnósticos detallados (espacial y temporal) de peligros meteorológicos. El avance en materia de modelación numérica de la atmósfera permite contar con mejores diagnósticos y pronósticos de tiempo y clima a partir de datos meteorológicos del monitoreo del tiempo, útiles para estimar el riesgo futuro.

Existen esquemas de asimilación de datos basados en principios matemáticos de interpolación que combinan estimaciones remotas (por ejemplo, a través de imágenes de satélite) con mediciones *in situ* (estaciones meteorológicas). Dicho procedimiento es común en la meteorología para pasar de datos esparcidos irregularmente en un dominio, a mallas regulares de campos meteorológicos (ejemplo, precipitación diaria o temperaturas máximas), a partir de las cuales se pueden realizar despliegues de información y diagnósticos de diversa índole. La gran variedad de fuentes de datos o herramientas para procesar datos permiten una mejor representación del factor peligro meteorológico o climático a partir de campos en mallas regulares.

Este capítulo presenta los principios básicos que se siguieron en esta propuesta metodológica para la modelación de inundaciones con un enfoque orientada a la planeación, la cual se toma como ejemplo para la identificación de varios de los tipos de riesgos climáticos a escala metropolitana. En primer lugar, profundizaremos en el peligro y su medición; después, las siguientes dos secciones abordan la diferencia entre el peligro y la amenaza; los factores de vulnerabilidad física y ambiental que influyen en el modelado de probabilidades de inundación. También se presenta la integración de los diferentes componentes en una cartografía que puede utilizarse para el desarrollo de productos para la planeación metropolitana.



## 5.2. PELIGRO METEOROLÓGICO

Un aspecto fundamental para poder avanzar en la gestión de riesgo es contar con datos adecuados sobre los fenómenos que tienen impactos en la población. La temperatura, la precipitación, la humedad y el viento son elementos meteorológicos que reflejan el estado del tiempo y su importancia es tal, que históricamente se han medido de forma regular, al menos en superficie. En el AMG se cuenta con

alrededor de 80 estaciones meteorológicas (**CUADRO 18**), con registros de temperatura máxima, mínima y lluvia acumulada diaria, las cuales están a cargo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y otras entidades. Los registros varían en el tiempo dado que el número de estaciones que se incorporan o se dan de baja en la red de monitoreo varía.

• • **CUADRO 18. ESTACIONES CON DATOS METEOROLÓGICOS**

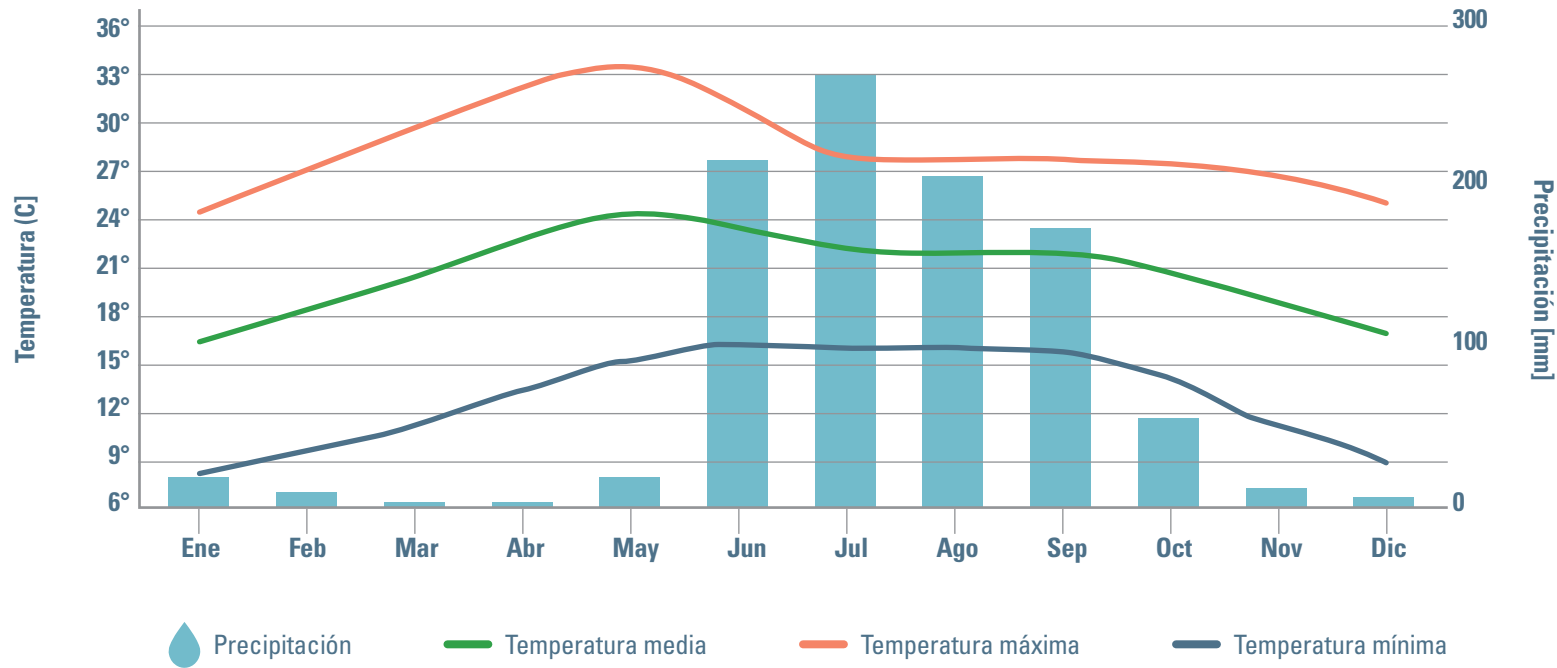
FUENTE	PERIODO	RESOLUCIÓN TEMPORAL	VARIABLES			ESTACIONES
			TEMPERATURA	PCP	VIENTO	
SMN	1981-2018*	Datos diarios	●	●		68
EMAS	2000-2018	Datos cada 10 minutos	●	●	●	5
ESIME	2000-2018	Datos cada 10 minutos	●	●	●	1
SEMADET	1996-2018	Datos horarios	●	●	●	10

**Fuente:** Elaboración propia con datos del SMN y de SEMADET. Consultado en marzo del 2020.

\*El periodo de estudio es de 1980 a 2018, aunque algunas estaciones pueden comprender periodos más extensos con datos.

**FIGURA 12. EJEMPLO DE UN CLIMOGRAMA DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL AMG**

**CLIMOGRAMA [1981-2010]: ESTACIÓN ZAPOPAN, JALISCO (20.7203, -103.3919). CLAVE 14169**



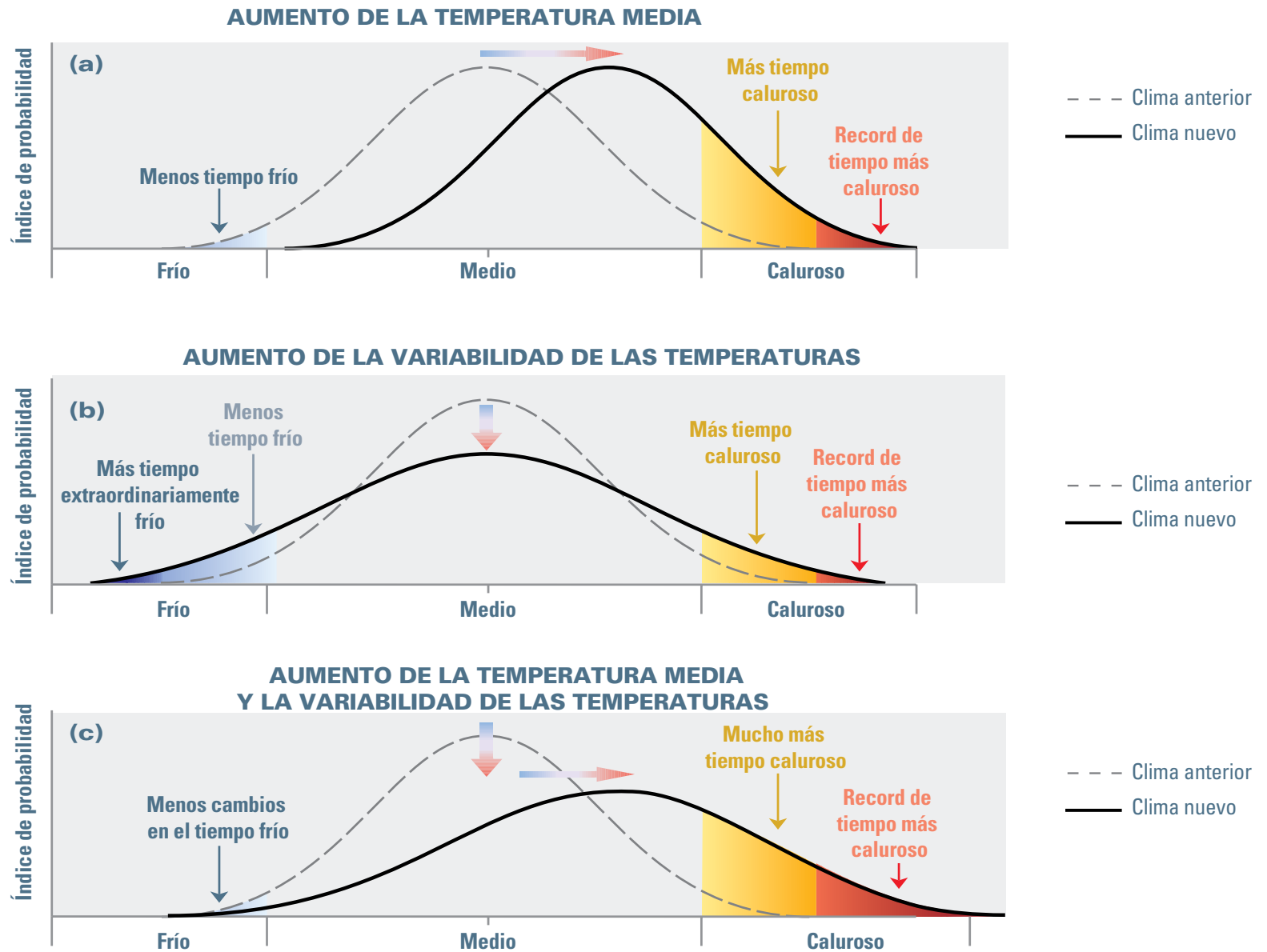
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Desde años recientes, el tiempo atmosférico en el AMG también se mide en otras redes de observación meteorológica a cargo de agencias ambientales federales y estatales. Incluso, se cuenta con algunas estaciones de aficionados, con calidad suficiente para incorporarse a los análisis meteorológicos locales. Los sistemas remotos, como radares o satélites meteorológicos, complementan las estimaciones de tiempo, principalmente donde no hay información. Finalmente, se dispone de re-análisis de datos en mallas regulares que estiman valores de una condición de tiempo, considerando las observaciones existentes y los principios dinámicos en la atmósfera. Así, las fuentes de información meteorológica son diversas, pero se

deben desarrollar esquemas para integrarlos en una base de datos uniforme en cuanto a su resolución espacial y temporal, con el fin de que de manera consistente se puedan hacer comparaciones entre periodos.

Por otro lado, es común que se hagan caracterizaciones del clima de un lugar a través de climogramas. El Servicio Meteorológico Nacional ha calculado los climogramas de las estaciones que integran la red de observatorios de superficie del país, describiendo el comportamiento medio mensual de temperatura máxima, mínima y de precipitación, con lo cual se tiene una idea de periodos calurosos, húmedos o fríos, por ejemplo (FIGURA 12).

**FIGURA 13. FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES PARA LA TEMPERATURA, REPRESENTANDO CLIMA Y SUS CAMBIOS**



Fuente: IPCC (2001, p. 87)

La representación más adecuada, a partir, por ejemplo, de datos diarios de una estación, como los observatorios meteorológicos, es a través de la función de distribución de la precipitación, con la cual se pueden analizar condiciones extremas, dadas por las "colas" de la distribución de probabilidades (FIGURA 13). A través de la función de probabilidades de la función, se puede establecer el valor a partir del cual se considera que una condición es relativamente improbable, a la cual no se está acostumbrado, y que por la tanto representa un peligro. Por medio de los percentiles se puede conocer el valor de condiciones extremas de temperatura o precipitación y así contar con una primera aproximación del peligro meteorológico.

Por peligro meteorológico entendemos la probabilidad de ocurrencia, analizada en una escala temporal de mediano y largo plazo, de que un fenómeno (en este caso, lluvias extremas, granizo, heladas ondas cálidas y gélidas o tornados) rebase los umbrales en donde el impacto negativo es significativo; es decir, una probabilidad de un evento de magnitud alta o extrema. Para el caso de la sequía meteorológica, el peligro refiere a las anomalías negativas de precipitación. La forma más común de referirse a dichos déficit de lluvia es en términos de desviaciones estándar con respecto de la media de precipitación esperada y la lluvia acumulada por periodos de uno a varios meses (McKee et al., 1993). Los valores de peligro usualmente se utilizan para diseñar acciones a mediano y largo plazo ante el riesgo, en los cuales se busca corregir las condiciones de vulnerabilidad física y social aun y cuando no esté ocurriendo el fenómeno que causa daño.

Para el presente análisis de peligros meteorológicos por lluvia en el AMG se han utilizado datos diarios de estaciones en el AMG y zonas aledañas, para un periodo que se extiende entre 1950 y 2018. Si bien los datos puntuales por estación describen adecuadamente la magnitud de las temperaturas o las lluvias diarias, también dejan un vacío en el espacio de zonas en donde no hay mediciones. También hay falta de información en diversos periodos de tiempo, por lo que la continuidad de las series de tiempo de datos de las estaciones no es total.

Dichos huecos de información en espacio y tiempo pueden cubrirse con estimaciones hechas por modelos atmosféricos, estimaciones de satélite u otros tipos de algoritmos. Para el presente estudio se ha utilizado un método de asimilación de datos conocido como "interpolación y correcciones sucesivas", que se basa en los datos observados en puntos esparcidos aleatoriamente en el dominio, a partir de los cuales se interpola a una malla regular (Cressman, 1959). El procedimiento consiste en corregir un campo preliminar de forma iterativa usando las observaciones existentes hasta que la diferencia entre la estimación y el valor observado en un punto sea menor que un valor umbral determinado. Bajo tal criterio se construyen campos meteorológicos que son estimaciones de un campo real desconocido, contando con una matriz de datos que facilita su manejo estadístico y de despliegue en Sistemas de Información Geográfica (Magaña, 2013).

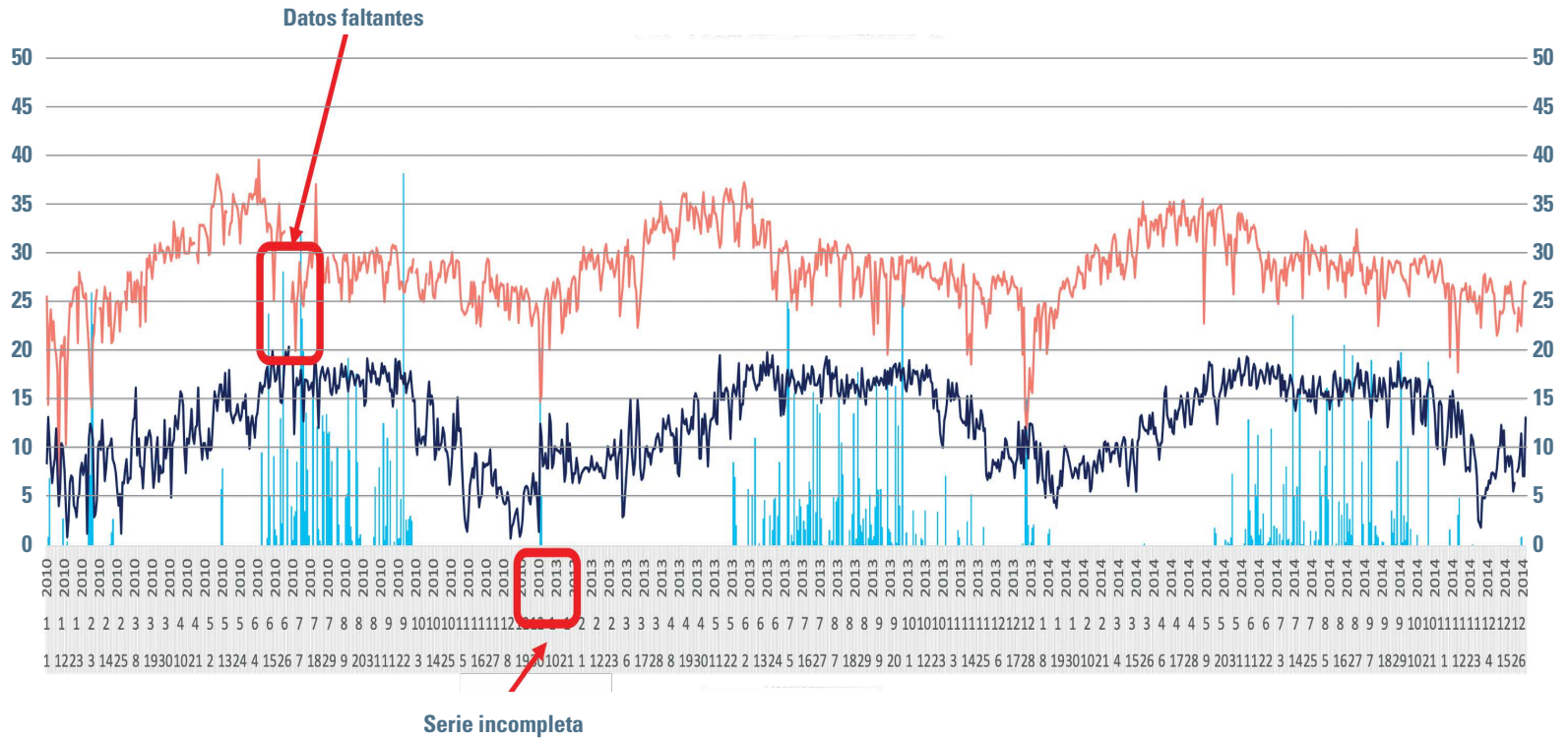
Para el AMG se construyen campos diarios de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, con los cuales se calculan estadísticas climáticas, tales como valores medios, rangos de variabilidad (varianza) y valores extremos (percentiles), para diversos plazos del periodo analizado (1950-2018). Para poder trabajar los datos, en primer lugar, se depuraron los archivos de cada estación.

En el caso de la humedad relativa del aire o de campos de viento en superficie se dispuso de series de mayor resolución espacial (10 minutos) por lo que se construyeron campos horarios, al menos para un periodo más corto (2000-2018), ya que su ciclo diurno es un elemento importante del clima. Los datos de tasa de precipitación (cada diez minutos) se usaron como referencia para establecer si la lluvia diaria es útil como representación de eventos de tormenta intensa (precipitación intensa en un periodo corto de tiempo). Los resultados mostraron que las lluvias diarias pueden ser un buen proxy de las tasas de precipitación horarias.



**FIGURA 14. EJEMPLO DE FALLAS EN LAS SERIES DE TIEMPO DIARIAS DETMAX, TMIN Y PCP EN UN OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DEL SMN (14065, GUADALAJARA)**

**ESTACIÓN 14065 Guadalajara - Observatorio**



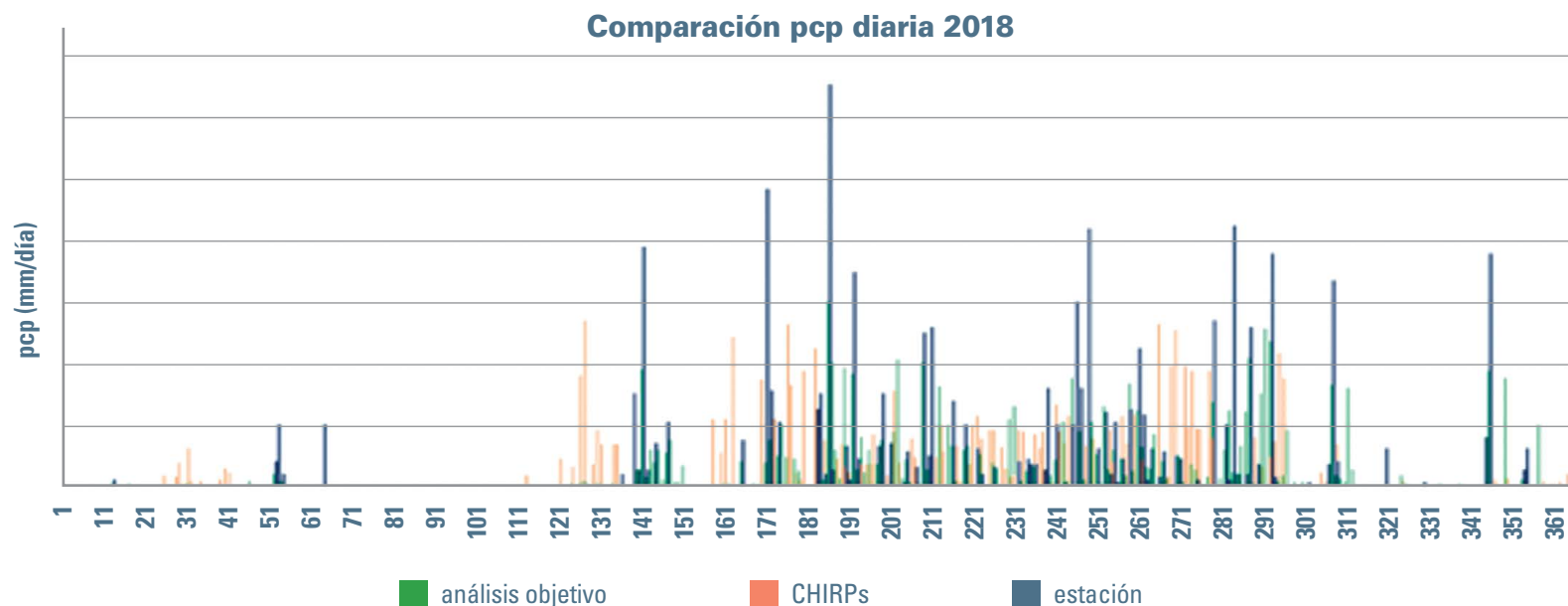
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional

El proceso de asimilación de datos se realiza con información desde 1951 hasta 1981 (datos más recientes disponibles al momento de este proyecto). Sin embargo, para consideraciones del análisis de riesgo, el interés se centró en los datos desde 1981 a 2018. Dada la distancia media

entre las estaciones utilizadas, la resolución espacial utilizada fue de 4x4km. En el caso de la precipitación, se utilizan estimaciones diarias de la base de datos CHIRPs (*Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations*), la cual integra estimaciones satelitales de lluvia<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> Estos datos están disponibles en el sitio <https://www.nature.com/articles/sdata201566> (Funk et al., 2015).

**FIGURA 15. SERIE DE DATOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN (MM/DÍA) EN UNA ESTACIÓN Y SU COMPARACIÓN CON LOS VALORES POR PIXEL**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos asimilados propios, estación del Servicio Meteorológico Nacional y malla de datos CHIRPs.

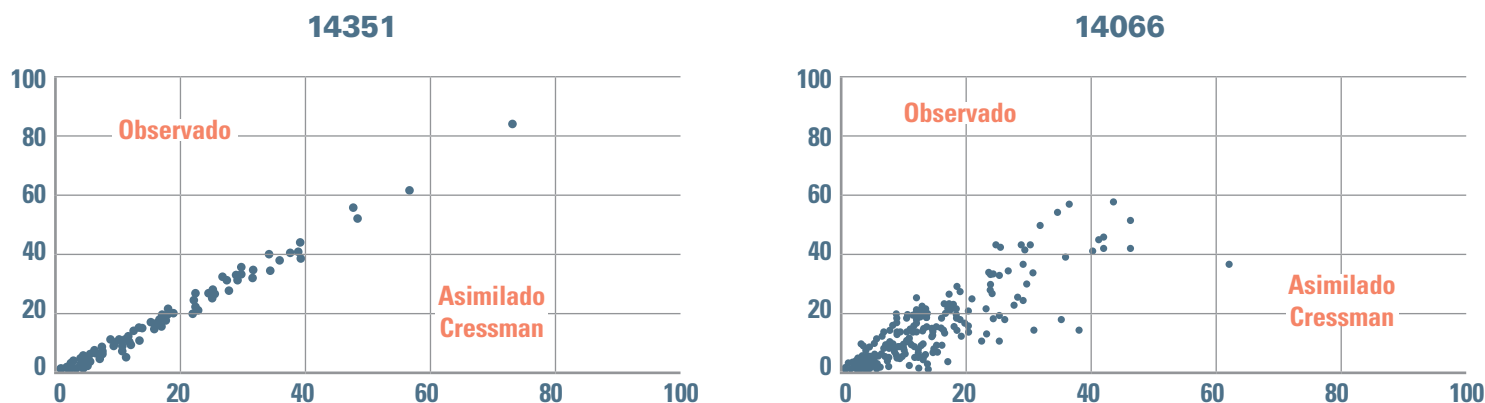
En la asimilación de datos de precipitación, un píxel representa un área de 4×4 km, mientras que el pluviómetro de la estación refleja sólo la lluvia en un punto. En todo caso, se trata de estimaciones de patrones de lluvia, cuya finalidad es estimar la cantidad de agua que cae en una región. La aproximación al campo de datos de precipitación diaria se realizó usando un campo preliminar cero, y otro con un campo preliminar dado por los reanálisis CHIRPs de 25×25 km interpolados a 4×4 km.

El resultado de la comparación entre asimilado, CHIRPs y observado, nos muestra que el asimilado genera una mejor aproximación a los datos observados que CHIRPs, principalmente en cuanto al número de días que hay precipitación (**FIGURA 15**). Los eventos extremos no alcanzan la magnitud observada puntualmente, lo cual tiene sentido, pues la estación mide el valor en un punto, mientras que los

análisis en malla corresponden a un área. Si toda el área tuviera precipitación intensa, el agua acumulada sobrepasaría significativamente la observada, y se simularían inundaciones más frecuentes e intensas que lo observado. Sin embargo, los datos asimilados en malla sí capturan eventos de precipitación intensa.

Los datos de precipitación reflejan grandes contrastes en la lluvia entre estaciones, pudiendo reportarse lluvias de más de 50 mm/día en una estación urbana, y menos de 30 mm/día en otra a menos de 5 km de distancia. Dicho comportamiento de la precipitación es característico de las lluvias de verano asociadas con nubes convectivas de mesoescala del tipo cumulonimbos. Cada uno de los eventos diarios de lluvia o de temperatura puede ser desplegado utilizando el motor de despliegue.

**FIGURA 16. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN ENTRE DATOS DE PRECIPITACIÓN DIARIA (MM) ESTIMADOS POR ANÁLISIS OBJETIVO Y VALORES OBSERVADOS (ESTACIÓN 14351 GUADALAJARA Y 14066 GUADALAJARA)**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos asimilados de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional

Los datos de precipitación diaria se asimilan mediante el esquema de correcciones sucesivas tipo Cressman. Un análisis de dispersión entre datos observados y datos analizados objetivamente permite establecer que la estimación es adecuada y tiene un alto grado de precisión tanto para valores bajos como para valores altos. Por ejemplo, para el caso de la estación 14351 se puede observar que el error es menor de 10% y que se tienen datos de calidad que representan eventos de lluvia extrema en el AMG (FIGURA 16). La calidad en la estimación de la lluvia es similar en otras zonas en donde no siempre hay estaciones o no se reportaron datos.

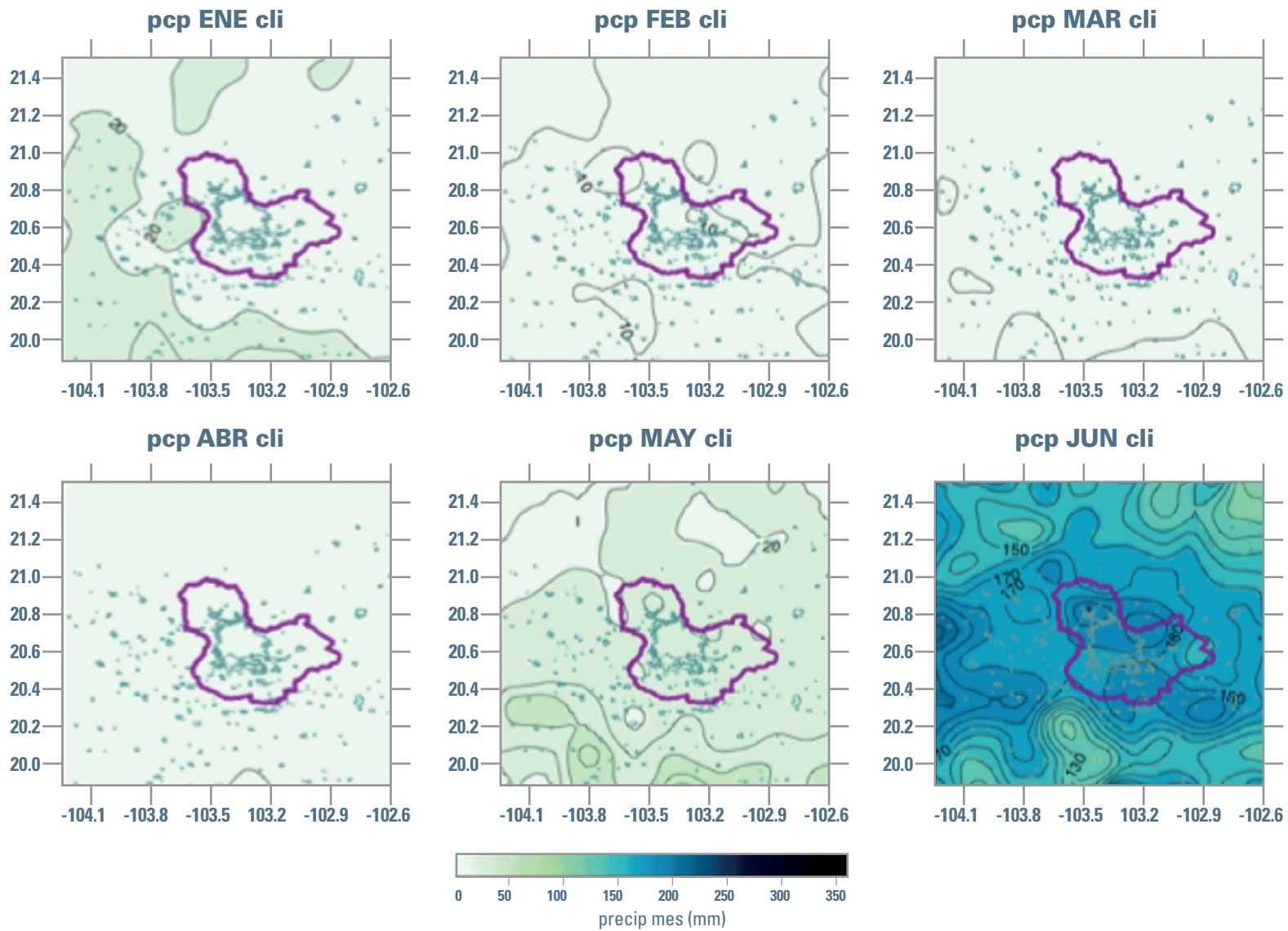
Un análisis de dispersión entre datos observados y datos analizados objetivamente permite establecer que la estimación es adecuada y tiene un alto grado de precisión tanto para valores bajos como para valores altos. En el caso de la estación 14351 se puede observar que el error es menor de 10% y que se tienen datos de calidad que representan eventos de lluvia extrema en el AMG.

Existen, sin embargo, situaciones en que la complejidad del proceso y el método hacen que la estimación sea menos precisa que el

caso anterior. En la estación 14066 en Guadalajara, las estimaciones resultan de una combinación de diversas estaciones y dan una aproximación de la lluvia diaria que no alcanza la precisión del caso anterior (FIGURA 16). A pesar de ello, la estimación es adecuada para describir eventos extremos de precipitación diaria.

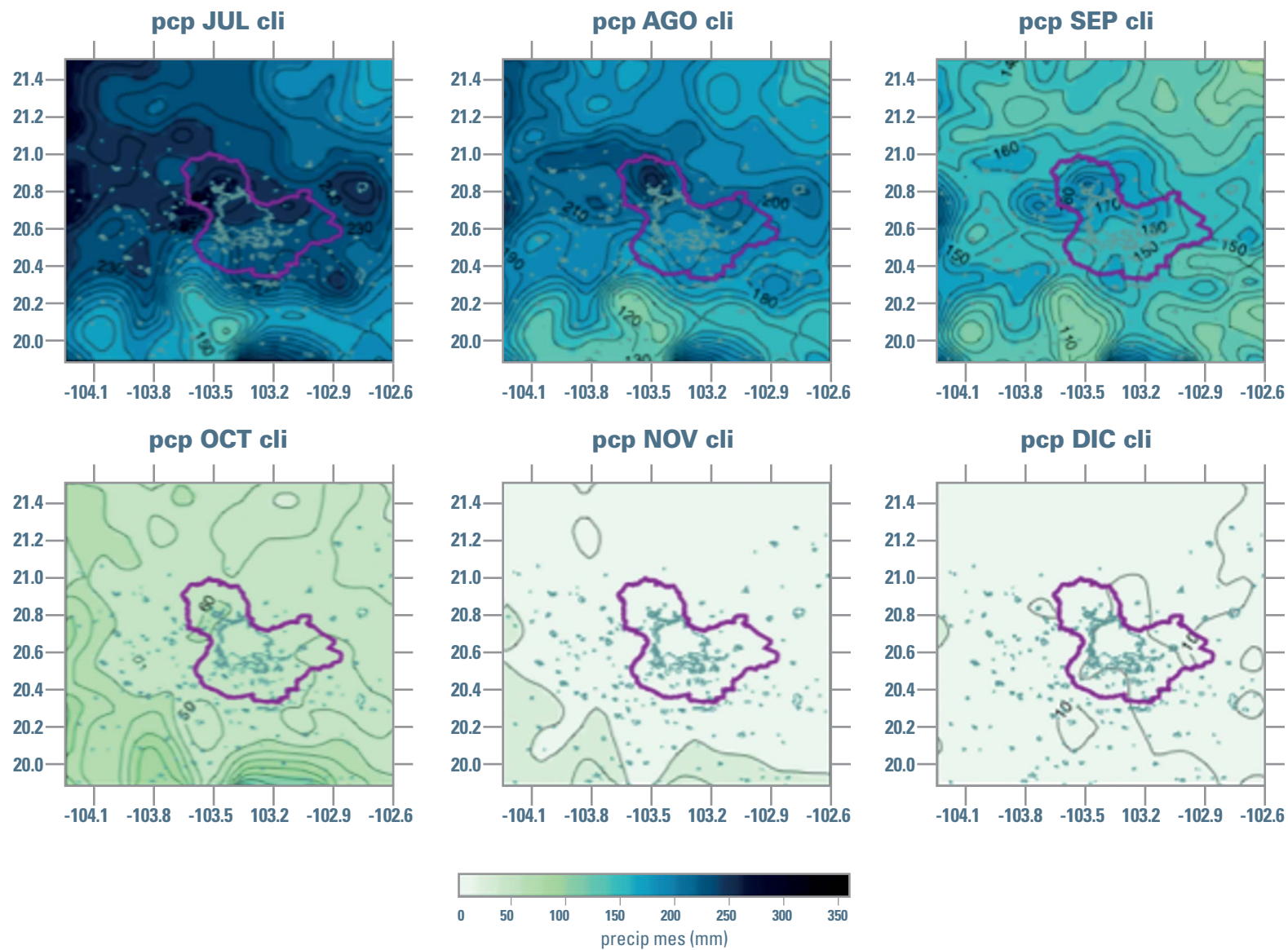
La precipitación, analizada objetivamente, captura los patrones básicos en cuanto a sus características espaciales y temporales. En general, se observa que es más intensa hacia la zona noroeste, hacia el Municipio de Zapopan, en los meses de junio a septiembre. El AMG es una zona particularmente lluviosa en el mes de julio, cuando la precipitación mensual en promedio acumula más de 200 mm/mes (ver climograma de la estación 14066 Guadalajara del SMN). Por otro lado, el mes de abril es el más seco (FIGURA 17), en tal medida, que puede generar condiciones de alto estrés hídrico en la vegetación. En ciertos años, como en el 2011 o el 2017, el mínimo de precipitación se convierte en un peligro climático que puede llevar a riesgo de incendios forestales.

**FIGURA 17. CAMPOS MEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (MM/MES) EN EL AMG**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional.

**FIGURA 17. CAMPOS MEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (MM/MES) EN EL AMG**



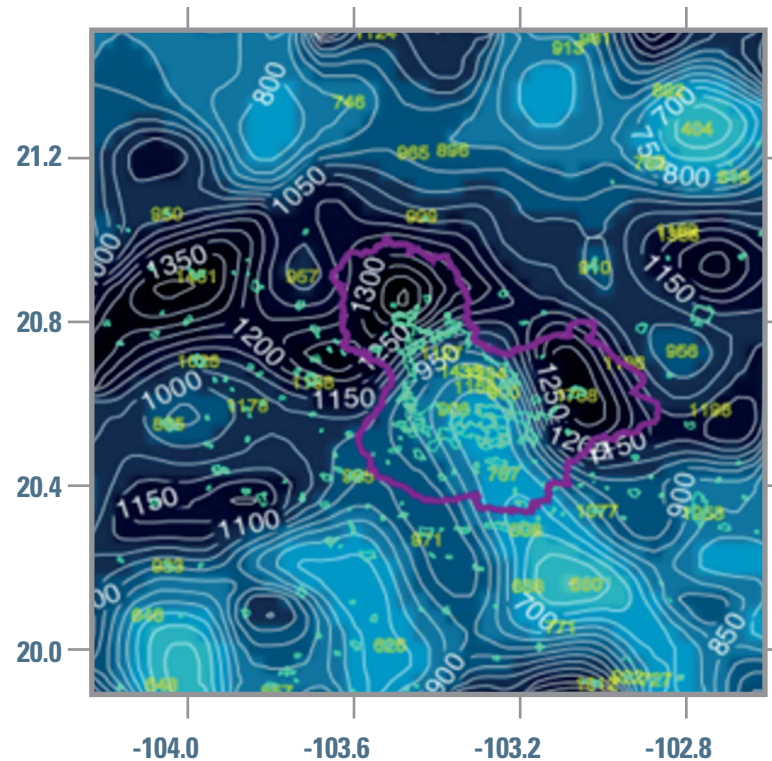
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional

**FIGURA 18. PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL AMG RESULTADO DE LOS ANÁLISIS OBJETIVOS (ISOLÍNEAS BLANCAS Y TONALIDADES AZULES), COMPARADO CON LOS REPORTES ANUALES POR ESTACIÓN (NÚMEROS AMARILLOS)**

En general, los campos de lluvia son más intensos hacia la zona oeste del AMG, pero muestran un máximo relativo exactamente sobre la zona urbana. Una de las zonas más lluviosas del AMG es en el Municipio de Zapopan; dicha condición contribuye a escurrimientos que producen escurrimientos importantes e inundaciones en la zona centro del AMG, entre Guadalajara y Tlaquepaque.

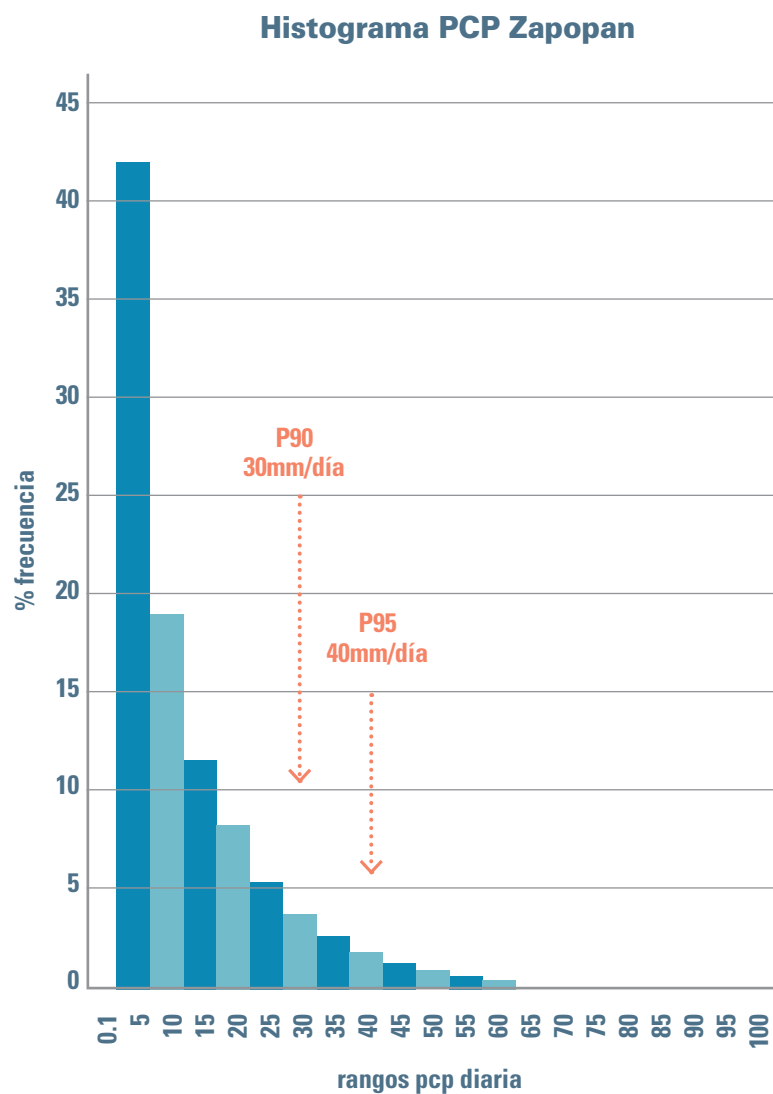
La complejidad de generar campos de precipitación se puede observar cuando se estima el acumulado anual de lluvia sobre el AMG y se compara con los reportes de observatorios en la zona. Existen fuertes contrastes en las precipitaciones acumuladas entre una estación y alguna estación vecina, por ejemplo, en la zona urbanizada. Hacia los municipios centro sur de la zona (El Salto, Ixtlahuacán, Juanacatlan), se presenta un fuerte gradiente de lluvia anual, comparado con la zona noroeste-centro (Zapopan-Guadalajara) (FIGURA 18).

Uno de los aspectos más importantes de las lluvias en el AMG es que las precipitaciones acumuladas en el verano con resultado de eventos de lluvia cada vez más intensas. Por ejemplo, la comparación de los percentiles 90 y 95 (P90 y P95) en distintos periodos. El percentil 95 de la precipitación diaria se refiere a aquellas lluvias intensas que sólo tienen 5% de probabilidad de ocurrir entre los eventos ocurridos. Su baja probabilidad de ocurrencia hace pensar que el sistema está poco preparado para eventos de esta magnitud, sobre todo, cuando su valor está por encima de las capacidades de filtrado por el suelo o del drenaje. El valor del percentil 95 en el AMG y estaciones vecinas se encuentra alrededor de 40 mm/día, y el del percentil 90, es el de las lluvias que tienen 10% de probabilidad de ocurrir, y se encuentra alrededor de 30 mm/día (FIGURA 19).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional

**FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIONES DIARIAS EN ZAPOPAN. LOS PERCENTILES 90 Y 95% ESTÁN INDICADOS CON FLECHAS VERDES**



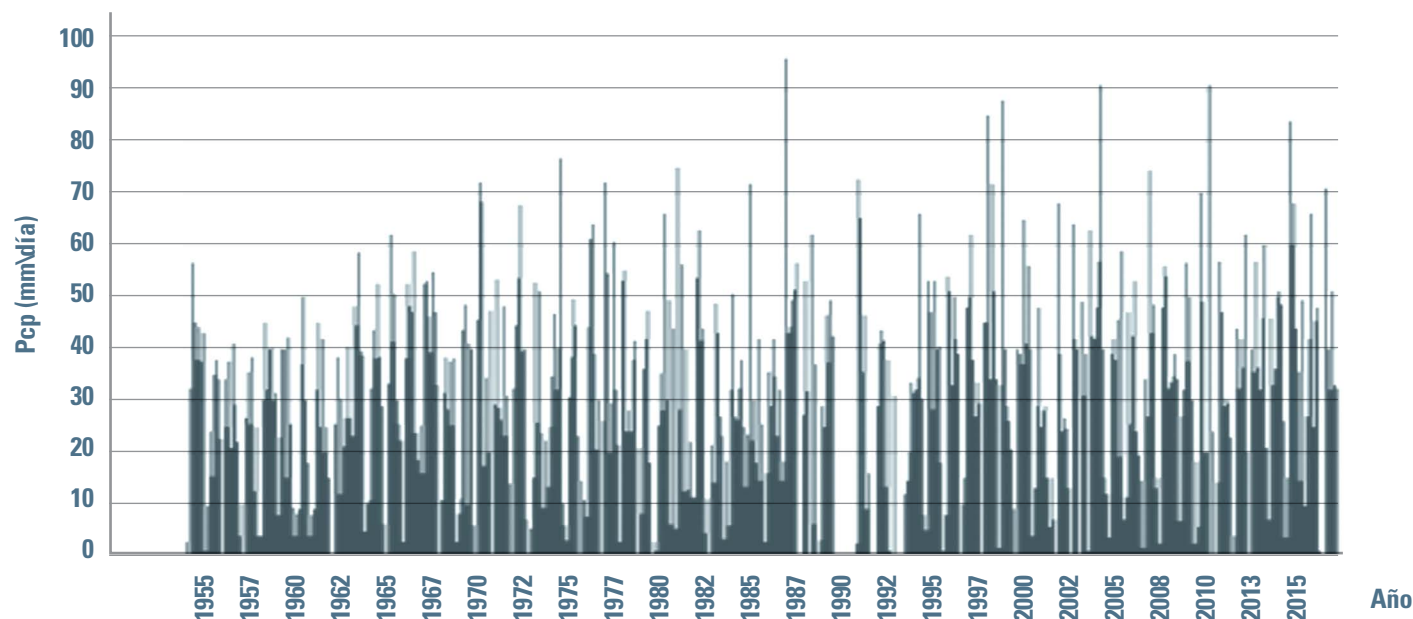
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del SMN. Consultado en marzo del 2020.

El análisis de la serie de tiempo de la estación 14169 muestra un aumento en la intensidad de la precipitación diaria en las décadas de los setenta y ochenta, que muy probablemente se debe al proceso de urbanización del AMG. Es posible apreciar en esta estación ubicada en Guadalajara, que entre los 1970 y 1980 hay un aumento en la frecuencia de lluvias intensas de más de 50 mm/día (FIGURA 20).

Un análisis de los percentiles en diversos periodos recientes muestra que éstos han aumentado en prácticamente todas las estaciones del AMG. Por ejemplo, en la estación Zapopan se puede apreciar que entre 1950 y 1972 el P95 era de 37.5 mm/día, pero para el periodo 1973-1995 llegó a 40 mm/día y en el periodo más reciente (1996-2018) el P95 es de 42.5 mm/día. A pesar de la falta de datos, en particular para el periodo 1950 a 1972, se observa la misma tendencia en la mayoría de las estaciones, por lo que se puede afirmar que con los años llueve cada vez más intensamente en el AMG, mostrando así que el peligro por lluvias fuertes es mayor en décadas recientes. Aún más, en prácticamente todas las estaciones, el P90 y el P95 son de valores cercanos o mayores a 30 mm/día, umbral que se considera peligro crítico.

Aunque no se ha hecho una verdadera atribución (Magaña y Galván, 2010), es probable que la formación de la ICU lleve a mayores niveles de humedad relativa en el AMG y con ello, el agua precipitable en la atmósfera esté aumentando. Al incrementarse la temperatura en superficie, la atmósfera es menos estable y las probabilidades de lluvias intensas se incrementan. Dicha tendencia es común en gran parte de las urbes que crecen y cambian su entorno drásticamente (Aguilar et al., 2005). Así, el crecimiento urbano genera peligro, al crear un ambiente de lluvias más intensas que rebasan un umbral crítico (30 mm/día) (CUADRO 19).

**FIGURA 20. PRECIPITACIÓN DIARIA EN LA ESTACIÓN 14169 GUADALAJARA ENTRE 1950 Y 2017**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional

Un análisis de los percentiles en diversos periodos recientes muestra que éstos han aumentado en prácticamente todas las estaciones del AMG. Por ejemplo, en la estación Zapopan se puede apreciar que entre 1950 y 1972 el P95 era de 37.5 mm/día, pero para el periodo 1973-1995 llegó a 40 mm/día y en el periodo más reciente (1996-2018) el P95 es de 42.5 mm/día. A pesar de la falta de datos, en particular para el periodo 1950 a 1972, se observa la misma tendencia en la mayoría de las estaciones, por lo que se puede afirmar que con los años llueve cada vez más intensamente en el AMG, mostrando así que el peligro por lluvias fuertes es mayor en décadas recientes. Aún más, en prácticamente todas las estaciones, el P90 y el P95 son de valores cercanos o mayores a 30 mm/día, umbral que se considera peligro crítico.

Aunque no se ha hecho una verdadera atribución (Magaña y Galván, 2010), es probable que la formación de la ICU lleve a mayores niveles de humedad relativa en el AMG y con ello, el agua precipitable en la atmósfera esté aumentando. Al incrementarse la temperatura en superficie, la atmósfera es menos estable y las probabilidades de lluvias intensas se incrementan. Dicha tendencia es común en gran parte de las urbes que crecen y cambian su entorno drásticamente (Aguilar et al., 2005). Así, el crecimiento urbano genera peligro, al crear un ambiente de lluvias más intensas que rebasan un umbral crítico (30 mm/día) (**CUADRO 19**).



• • **CUADRO 19. VALORES PUNTUALES DE PERCENTILES PARA DIFERENTES ÉPOCAS**

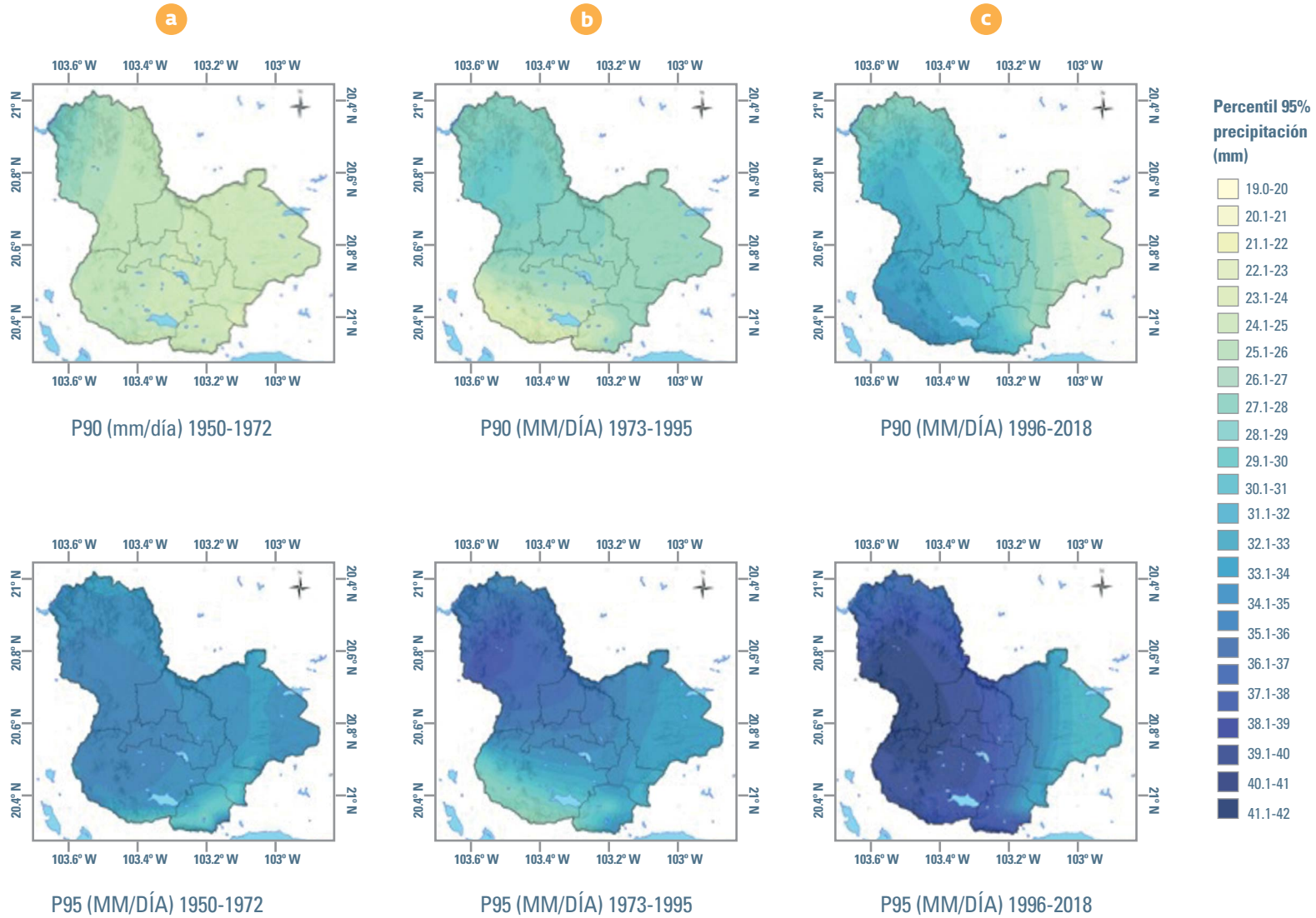
ESTACIÓN	PERIODO	RESOLUCIÓN TEMPORAL	ESTACIONES
Zapopan	37.5 (25.9)	<b>40</b> (28.5)	<b>42.5</b> (33.2)
Guadalajara Obs	32.1 (22)	37.9 (29.4)	<b>40.3</b> (30.6)
Guadalajara DGE	39.2 (25.5)	35.9 (27.5)	<b>40.3</b> (31.5)
La Experiencia		34.7 (25.5)	<b>40</b> (29.2)
Tlaquepaque	32 (24)	38 (28.2)	<b>40.5</b> (30.5)
Tlajomulco de Zúñiga		30 (24)	<b>40.3</b> (33.5)
Ixtlahuacán del Río	33 (24)	35 (26)	35.5 (27)
Cuixtla	33.1 (25)	35 (27)	36.3 (26.1)
Zapotlanejo		34 (26.8)	33.6 (25.9)
Santa Rosa	34.5 (30.4)	37.2 (27.9)	37.8 (27.9)
Tonalá			(37.7) 27.8

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional

A pesar de que los análisis a nivel estación resultan útiles para mostrar la tendencia de las lluvias extremas, es necesario considerar el patrón de lluvias y sus tendencias de cambio en el AMG. Por ello, se analizan los campos en todo el dominio AMG que, aunque son diarios, dan una idea adecuada de las tasas de precipitación. Las ventajas de esta aproximación (uso de campos) radican en que permiten alimentar modelos de lluvia escurrimiento que llevan a estimar zonas en donde las condiciones físicas y ambientales llevan a inundaciones.

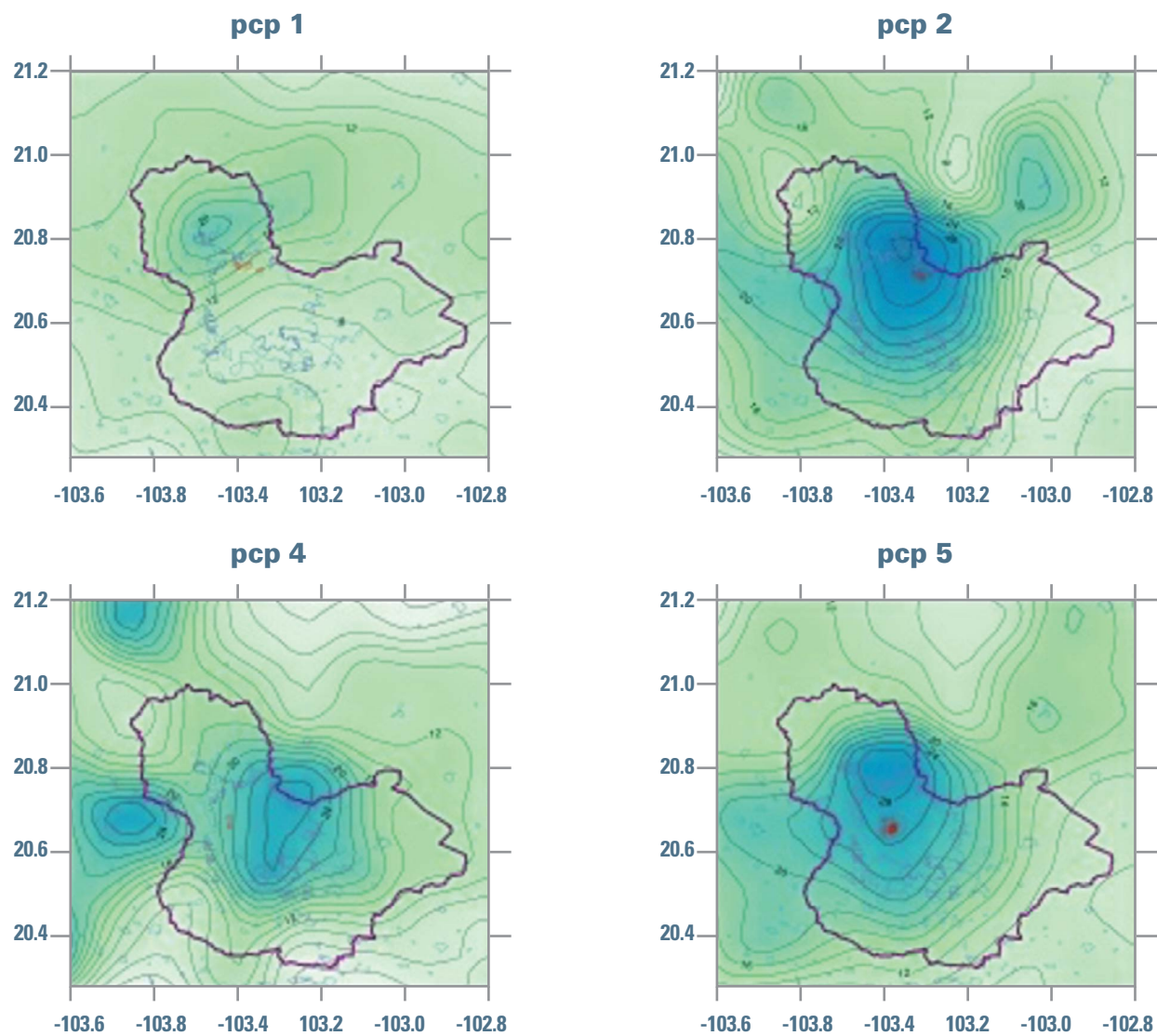
Un análisis de los valores del percentil 90 y el percentil 95 muestra que el aumento en el AMG ha ocurrido de forma sistemática en todo el dominio, y que los eventos más intensos se presentan entre el municipio de Zapopan y Guadalajara, principalmente en años recientes. Las precipitaciones intensas escurren hacia las partes bajas donde se acumulan formando encharcamientos o inundaciones. Por tanto, es posible afirmar que el peligro de inundaciones está aumentando en el AMG.

**FIGURA 21. PERCENTILES P90 Y P95 DE PRECIPITACIÓN DIARIA (MM/DÍA) PARA EL AMG CORRESPONDIENTES A LOS PERIODOS A) 1950-1972, B) 1973-1995 Y C) 1996-2018**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional

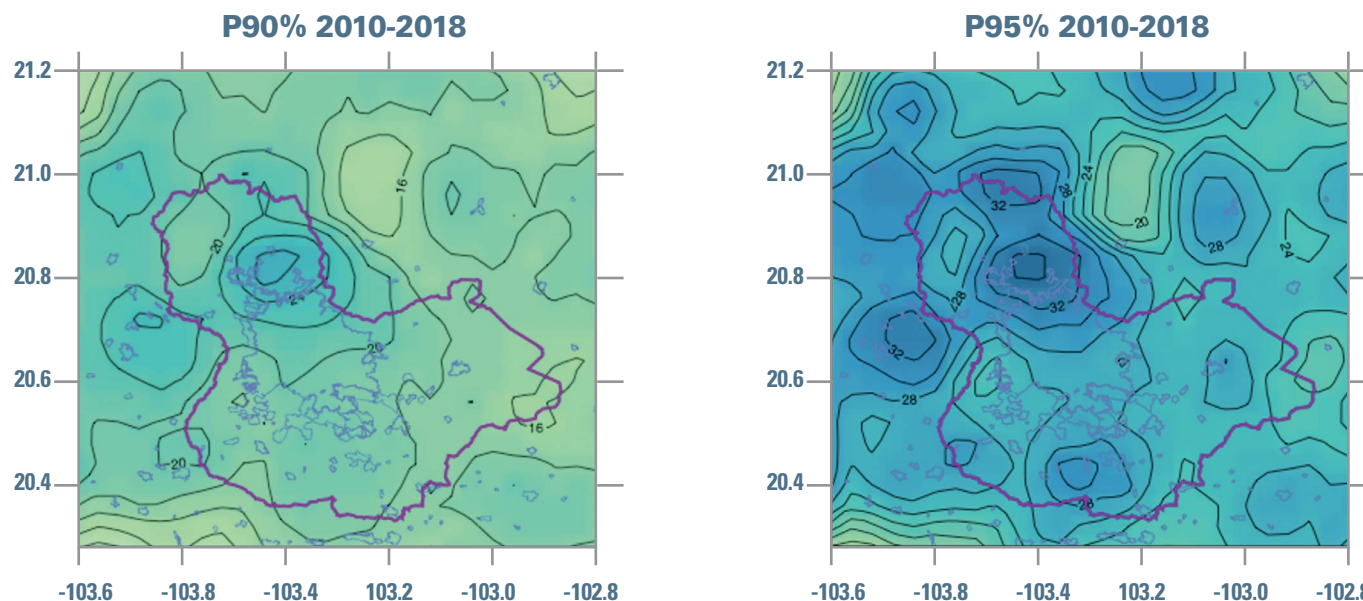
**FIGURA 22. PATRONES COMPUESTOS DE LLUVIA DIARIA QUE CAUSAN INUNDACIONES EN LOS PUNTOS INDICADOS EN ROJO EN EL PERIODO 2000-2018<sup>22</sup>**



Fuente: elaboración propia

<sup>22</sup> Las líneas color violeta representan los límites administrativos del AMG. El recuadro ilustra la región de interés para el análisis de precipitación.

**FIGURA 23. CAMPOS DE VALORES DEL PERCENTIL 90% Y 95% DE PRECIPITACIÓN DIARIA EN EL AMG PARA EL PERIODO 2010-2018**



Fuente: elaboración propia

Si se consideran los patrones de valores de percentiles 90% o 95%, que refieren a las probabilidades de lluvia diaria de 10% o de 5% respectivamente. En éstos se encuentra que, en gran parte de la zona urbanizada del AMG, se pueden tener lluvias de más de 20 mm/día en un 10% de los días con precipitación, considerando el periodo 2000-2018 (FIGURA 22). En otras palabras, si en promedio llueve en el AMG entre 80 o 100 días por año, habrá entre 5 y 10 eventos de lluvia intensa que aumente las probabilidades de encharcamiento o inundación<sup>23</sup>, lo que coincide con el reporte de las estaciones meteorológicas urbanas.

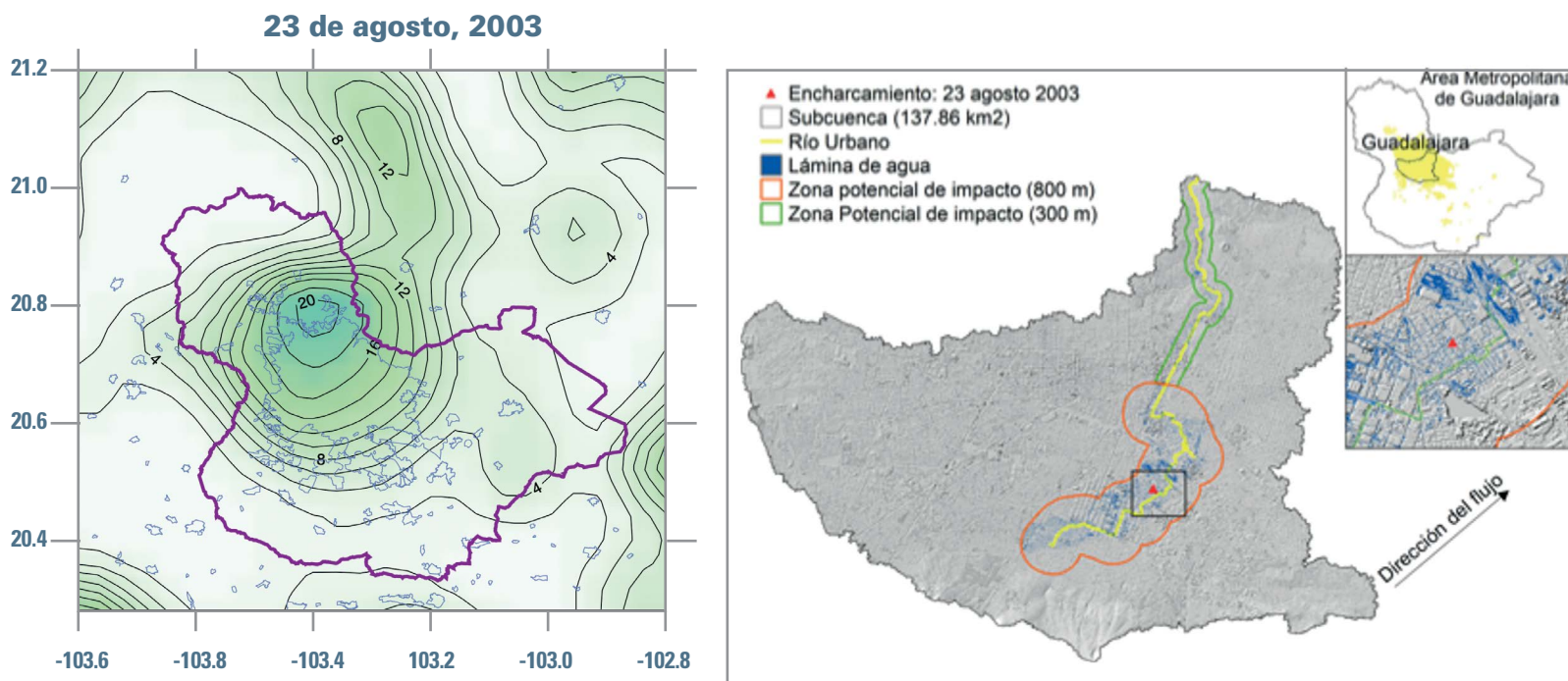
Muchas de las avenidas de las zonas urbanas en el AMG atraviesan o van a lo largo de lo que antes fueron los cauces de ríos. Lo anterior puede generar zonas de acumulación o de conducción de

agua, dando como resultado la formación de "ríos urbanos". La presencia de glorietas u otras barreras arquitectónicas (por ejemplo, Arcos del Milenio en Guadalajara) tienden a ser factores barrera que favorecen la acumulación de escurrimientos. En el caso del AMG, estas zonas tienden a coincidir con aquellas en que se vienen registrando un mayor número de inundaciones (por ejemplo, entre los municipios de Guadalajara y Tlaquepaque).

El 23 de agosto de 2003 se presentó una tormenta intensa al norte de Guadalajara (más de 20 mm/día), la cual generó escurrimientos que un modelo hidrológico sugiere hacia la parte centro del municipio (FIGURA 24).

<sup>23</sup> Para la mayoría de los ayuntamientos, el parámetro para determinar un encharcamiento es un espejo de agua de menos de 30 cm.

**FIGURA 24. LLUVIA DEL 23 DE ABRIL DE 2003 SOBRE EL AMG Y ESTIMACIÓN DE LAS ZONAS AFECTABLES POR INUNDACIÓN (ZONAS EN AZUL)**



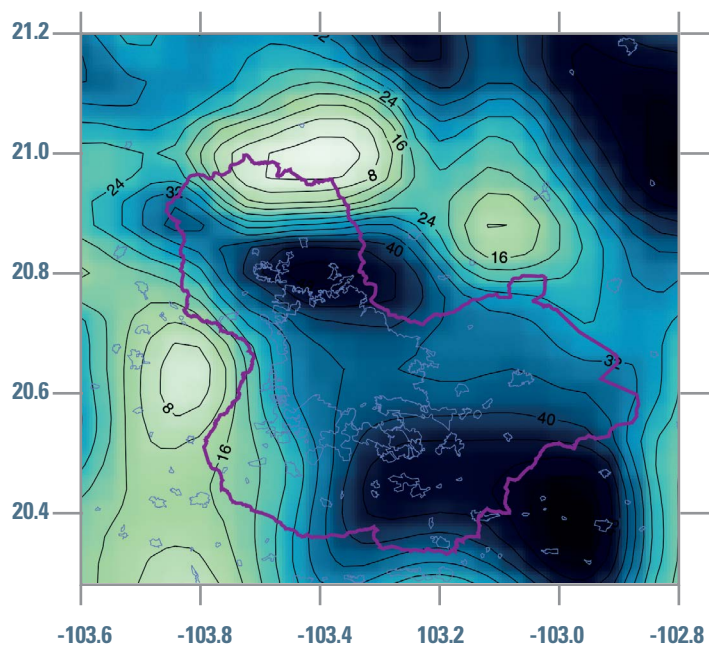
Fuente: elaboración propia

Las zonas en donde la probabilidad de inundación aumenta ante tal evento contienen el lugar donde se registró una inundación. Aún sin poderse determinar con toda precisión el lugar de esta inundación, las zonas de riesgo denotan el efecto que lluvias intensas y condiciones de vulnerabilidad tienen sobre ciertas partes de la ciudad. La estructura, totalmente urbana del municipio lleva a la formación de ríos urbanos que en ciertos puntos generan acumulación de agua e inundaciones. En la **FIGURA 24**, el punto donde se reporta una inundación está denotado con un triángulo rojo. La línea amarilla corresponde a la formación de un "río urbano" en el municipio de Guadalajara.

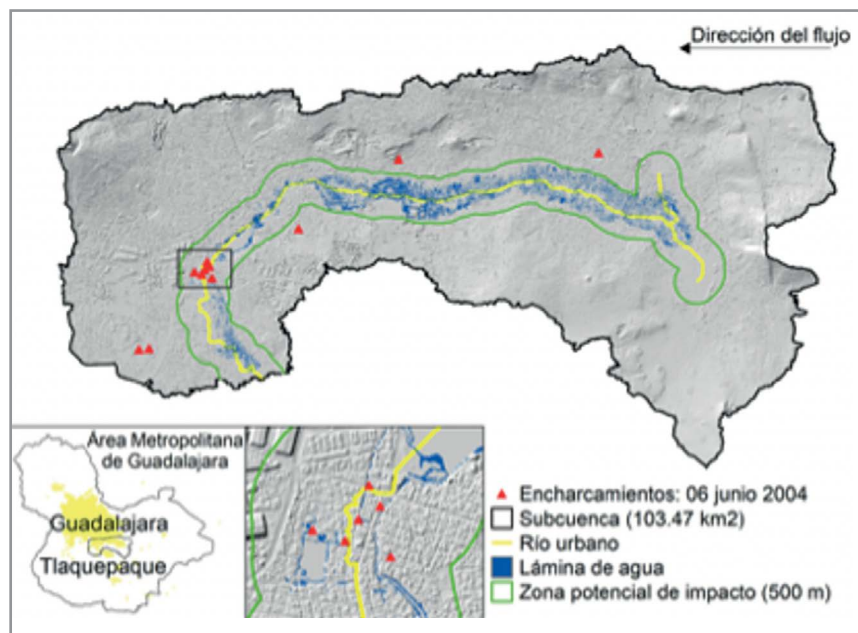
Cuando las lluvias son aún más intensas, como sucedió el 6 de julio de 2004 sobre el AMG (**FIGURA 25**), las afectaciones son aún mayores, en

un mayor número de lugares. El patrón de lluvias entre la parte sur de Zapopan y norte de Guadalajara alcanzó más de 40 mm/día, y escurrimientos que afectaron el municipio de Tlaquepaque. Hacia la parte sur de Tlaquepaque las lluvias fueron intensas también (mayores de 40 mm/día) y los escurrimientos hacia el centro del AMG generaron diversas afectaciones. Los caudales tienden a encausarse a lo largo de ríos naturales o lo que hoy son ríos urbanos, los que al encontrar barreras generan diversas zonas de acumulación y con ello inundaciones. La coincidencia entre las zonas que el modelo indica que pueden ser afectadas por inundación, y la ubicación de las inundaciones, muestra que es posible diseñar estrategias de acción que reduzcan los efectos de lluvias intensas.

**FIGURA 25. LLUVIA DEL 6 DE JUNIO DE 2004 Y SUS IMPACTOS EN TÉRMINOS DE INUNDACIONES DE ACUERDO CON UN MODELO DE LLUVIA ESCURRIMIENTO (ZONA AZUL)**



Fuente: elaboración propia



En la **FIGURA 25**, la ubicación de los puntos de inundación está marcada con triángulos rojos. La formación de un río urbano se muestra con una línea amarilla. En la aproximación desarrollada aquí se usa como referencia los percentiles de las lluvias como una referencia de las lluvias poco probables pero muy intensas. Con frecuencia, no basta con un valor de referencia, pues para algunos casos, el contexto en el que ocurren las lluvias es tan vulnerable, que aun con valores de percentil de lluvia no tan altos (por ejemplo, el percentil 90), se presentan inundaciones. En ocasiones, el terreno que se satura de humedad hace que casi todo lo que llueve escurra y genere eventos de inundación, aun con eventos donde la precipitación es relativamente baja, se

presentan inundaciones. Por lo anterior, se debe caracterizar en forma adecuada la vulnerabilidad física ante lluvias intensas, para llegar a una formulación adecuada de las probabilidades de inundación.

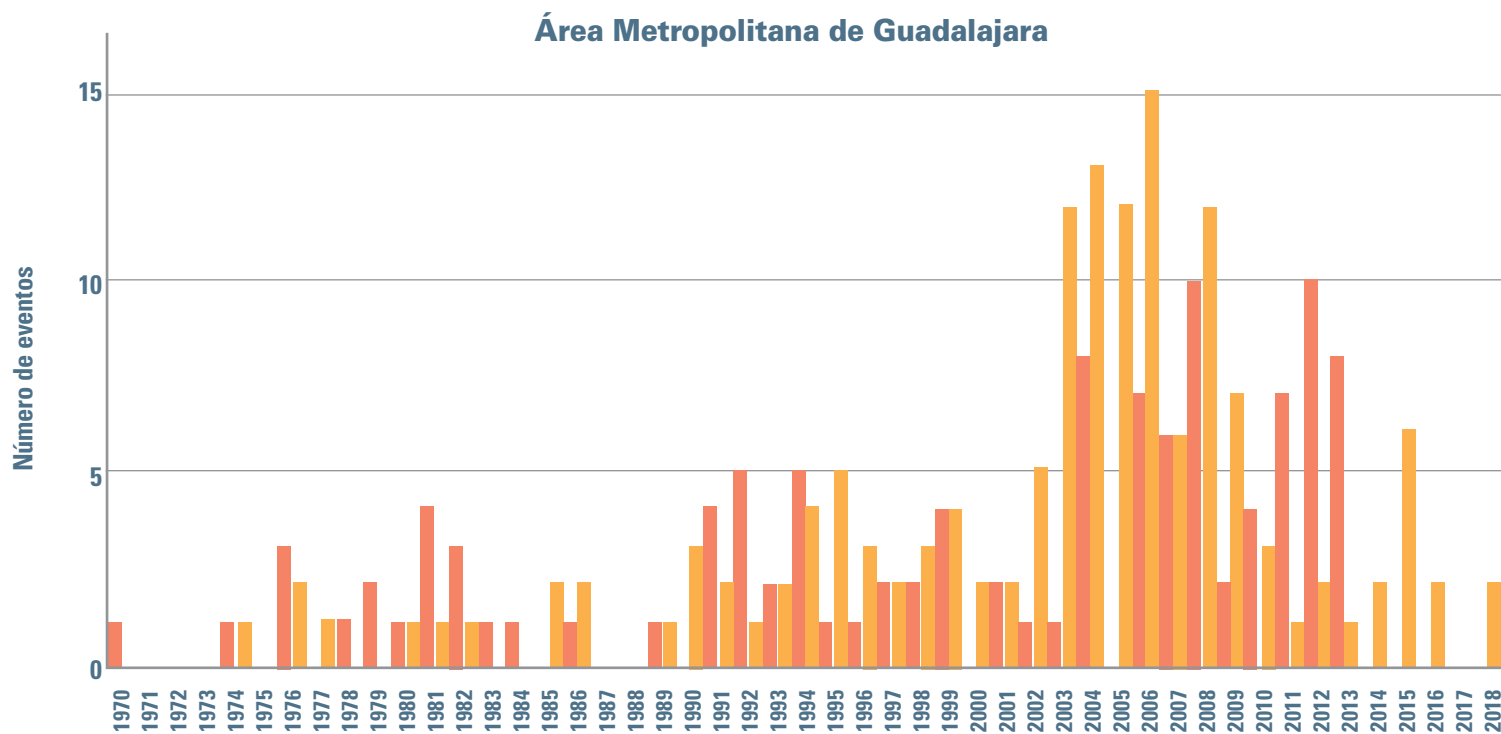
Mediante información sobre el peligro, e indicadores de vulnerabilidad, se han hecho diagnósticos de los factores más importantes de riesgo, y construidos modelos de riesgo de inundación, los cuales usan esquemas de lluvia-escorrentía para determinar probabilidades de que se presente una inundación de este tipo en algún punto de la ciudad, con el objeto de planear las acciones de reducción de riesgo que disminuyan la ocurrencia de este tipo de eventos.

## 5.3. VULNERABILIDAD FÍSICA

El uso de indicadores que hacen referencia a la condición física, económica, social y ambiental de un sistema, que hace que éste sea susceptible de ser afectado ante un fenómeno natural. Los indicadores, normalizados en un cierto rango, permiten construir un índice de

vulnerabilidad física. Para el caso de lluvias intensas, son factores de vulnerabilidad: la topografía, el tipo de uso de suelo, las capacidades de prevención, la infraestructura hidráulica, o la existencia de sistemas de respuesta a la emergencia.

**FIGURA 26. SERIE DE TIEMPO DE LOS RECUENTOS DE EVENTOS DE INUNDACIÓN EN EL AMG ENTRE 1970 Y 2018**



Fuente: Base de datos Desinventar (barras verdes oscuro) y e IMEPLAN (barras verdes claro).

La topografía determina cómo va a escurrir y en donde va a acumularse el agua. Generalmente, los modelos de elevación digital permiten definir cuencas y microcuencas hidrológicas que permiten dar seguimiento a los escurrimientos. En combinación con el tipo de uso de suelo, se establecen coeficientes de escurrimiento. El crecimiento de las ciudades conlleva cambios en la permeabilidad del suelo, reduciendo la infiltración y aumentando las posibilidades de acumulación en superficie. Datos satelitales e información de LIDAR de alta resolución permiten identificar zonas que eran ríos y arroyos, que con frecuencia se han convertido en calles, a lo largo de las cuales sigue fluyendo el agua de lluvia, y en ocasiones, presentando zonas planas en donde tiende a acumularse.

Ante tal transformación del paisaje, se han desarrollado obras de infraestructura hidráulica, como lo es el sistema de drenaje, que sustituye los servicios ecosistémicos de regulación hídrica que se perdieron con el crecimiento de la ciudad. El continuo crecimiento de la ciudad y la intensificación del ciclo hidrológico han hecho que el sistema de drenaje de las ciudades se vuelva insuficiente, lo que vuelve a ciertas zonas vulnerables a lluvias intensas. Algunas ciudades han adquirido sistemas para responder a la ocurrencia de encharcamientos mediante camiones cisterna tipo Vactor. Dicha capacidad podría aprovecharse si se usan en forma preventiva, para reducir la vulnerabilidad de ciertas zonas.

En el caso de las inundaciones en el AMG, los registros de los años recientes muestran que, al irse incorporando municipios al AMG, los reportes de inundaciones crecen (**FIGURA 26**), no siempre porque las inundaciones en esos municipios se sumen a las del total del AMG, sino por el efecto que su urbanización va aumentando el riesgo en los municipios centrales más antiguos. Para el caso de los reportes de los sitios recurrentes de inundación sistematizados por IMEPLAN, la aparente disminución de casos tiene que ver con falta de datos y no con una disminución de impactos.

De forma general, la ocurrencia de desbordamiento de ríos e inundaciones se puede explicar tomando con base las características topográficas de la región, las cuales inducen la formación de ríos, la mayoría de los cuales han desaparecido y se han convertido en vialidades. En el AMG, los escurrimientos de la parte alta de las subcuencas bajan de forma natural (por ejemplo, en el Cerro del Colli) en diversas direcciones para drenar hacia el centro y de ahí al norte, hacia la Barraca de Huentitán. Los desbordamientos de los ríos llevaron a inundaciones, principalmente en las zonas bajas, en lo que hoy son los municipios de Guadajajara y Tlaquepaque.

Entre mediados del siglo XIX y mediados del siglo XX, se presentaron inundaciones, pero es a partir de los años sesenta y setenta del siglo XX que, con el crecimiento de la ciudad y una transformación de la región, el número de desastres de este tipo creció significativamente. En la década de los setenta la tasa de crecimiento demográfico llegó a casi 5% anual, lo que provocó un constante desarrollo de infraestructura para uso habitacional, industrial o de servicios (Gutiérrez et al., 2016). El crecimiento del AMG, desde finales de la década de los ochenta hasta la fecha, ha llevado a una transformación territorial que induce un mayor número de inundaciones.

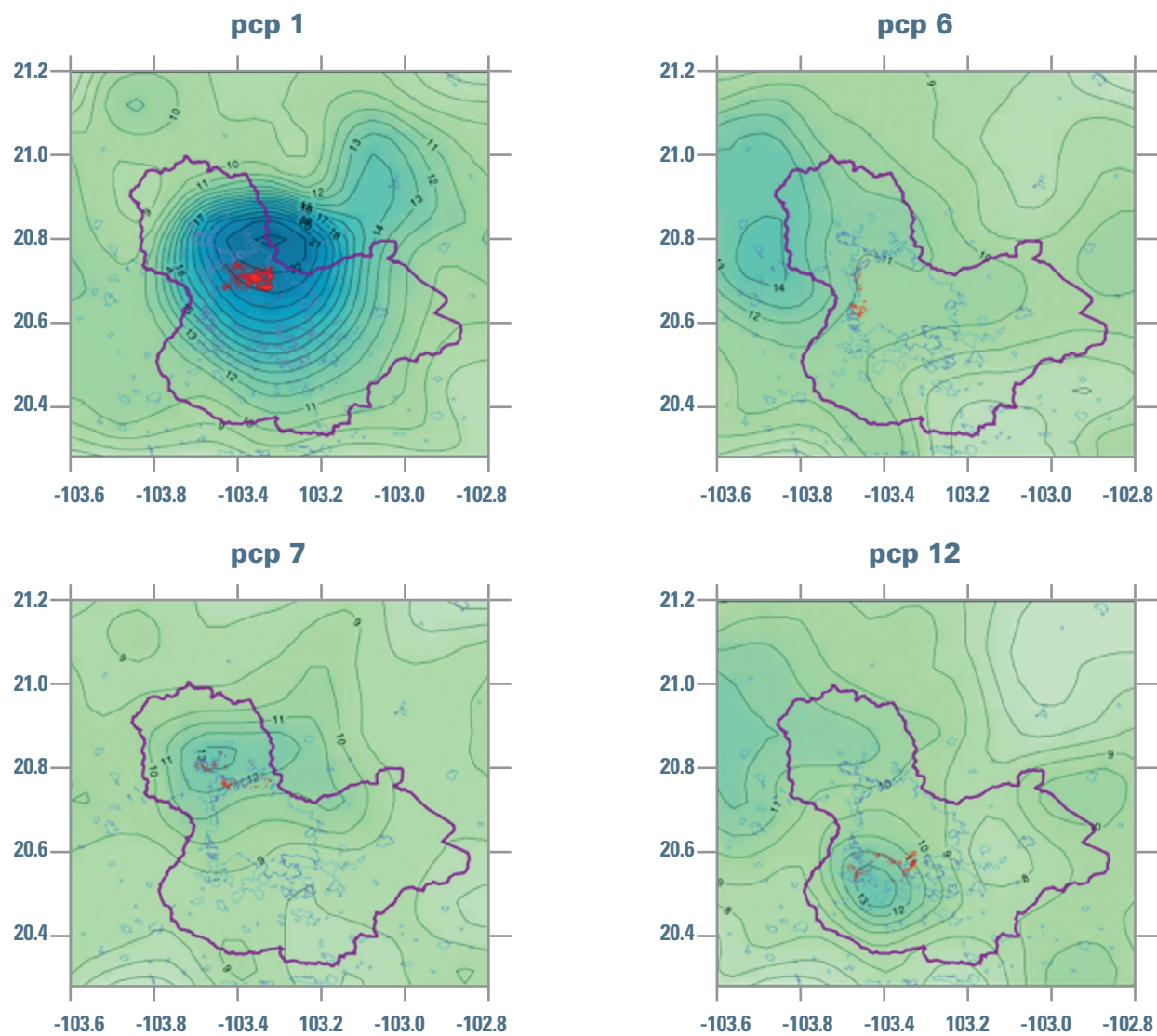
Las partes bajas del dominio son las más afectadas y, a pesar de los esfuerzos por contar con infraestructura suficiente de drenaje, el problema no se ha solucionado, por factores diversos asociados al crecimiento urbano y a los cambios de uso de suelo que conlleva, tales como el aumento de las escorrentías o la intensificación de los eventos de lluvia extrema. A partir del proceso de urbanización rápida en la década de los ochenta, se produce un incremento en el número de estos eventos que lleva a que hoy en día se tengan casi 10 por año en la mayor parte de la zona urbana del AMG.

A partir de los campos diarios de precipitación y los datos de inundaciones se establecen los patrones de lluvia diaria que representan el peligro para una zona en particular (**FIGURA 27**). Las regiones se relacionan con las microcuencas que componen el AMG, las cuales son esencialmente las microcuencas hidrológicas, siguiendo criterios de INEGI.





**FIGURA 27. EJEMPLO DE PATRONES DE PRECIPITACIÓN DIARIA QUE REPRESENTAN UN PELIGRO PARA LAS ZONAS INDICADAS<sup>24</sup>**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional y reportes de IMEPLAN.

<sup>24</sup> Las zonas indicadas con puntos rojos son zonas inundables. Las líneas azules representan cauces.

Los resultados anteriores indican que, en ocasiones, precipitaciones diarias entre 20 y 30 mm/día (campos analizados en malla) pueden resultar en inundaciones, principalmente en la zona urbanizada centro del AMG. Solo para inundaciones en las zonas periféricas los máximos de precipitación se encuentran desfasados de la zona de inundación. Las inundaciones en la zona centro se relacionan con las lluvias que ocurren en esa zona y que cada vez son más intensas. En las zonas periféricas "pesa" el efecto de escurrimiento desde las partes altas.

Este comportamiento se basa en dos elementos principales: la vulnerabilidad física natural y construida, en conjunción con el peligro de lluvia, lo cual genera la probabilidad de impactos intensos asociados a daños y pérdidas por inundación; ambos factores se explican en la siguiente sección.

Los indicadores de vulnerabilidad física corresponden a las características geográficas de la zona y los cambios que han experimentado en décadas recientes. Un modelo de lluvia-escurrimiento permite tomar en cuenta los factores físicos de vulnerabilidad como los siguientes:

- I. La pendiente
- II. La forma de la cuenca
- III. La infraestructura hidráulica existente
- IV. Los cauces naturales y artificiales  
(corrientes urbanas) predominantes

En términos generales, se puede entender como vulnerabilidad física al conjunto de elementos asociados a las características físicas del territorio que contribuyen a incrementar los escurrimientos y la acumulación de agua. La orografía resulta ser un elemento que conduce los escurrimientos generados por las cuencas y que determina zonas con mayor potencial para acumular escurrimientos, ya sea por corrientes hidrológicas o por corrientes urbanas. La vulnerabilidad física al daño por inundaciones urbanas se construye a partir de

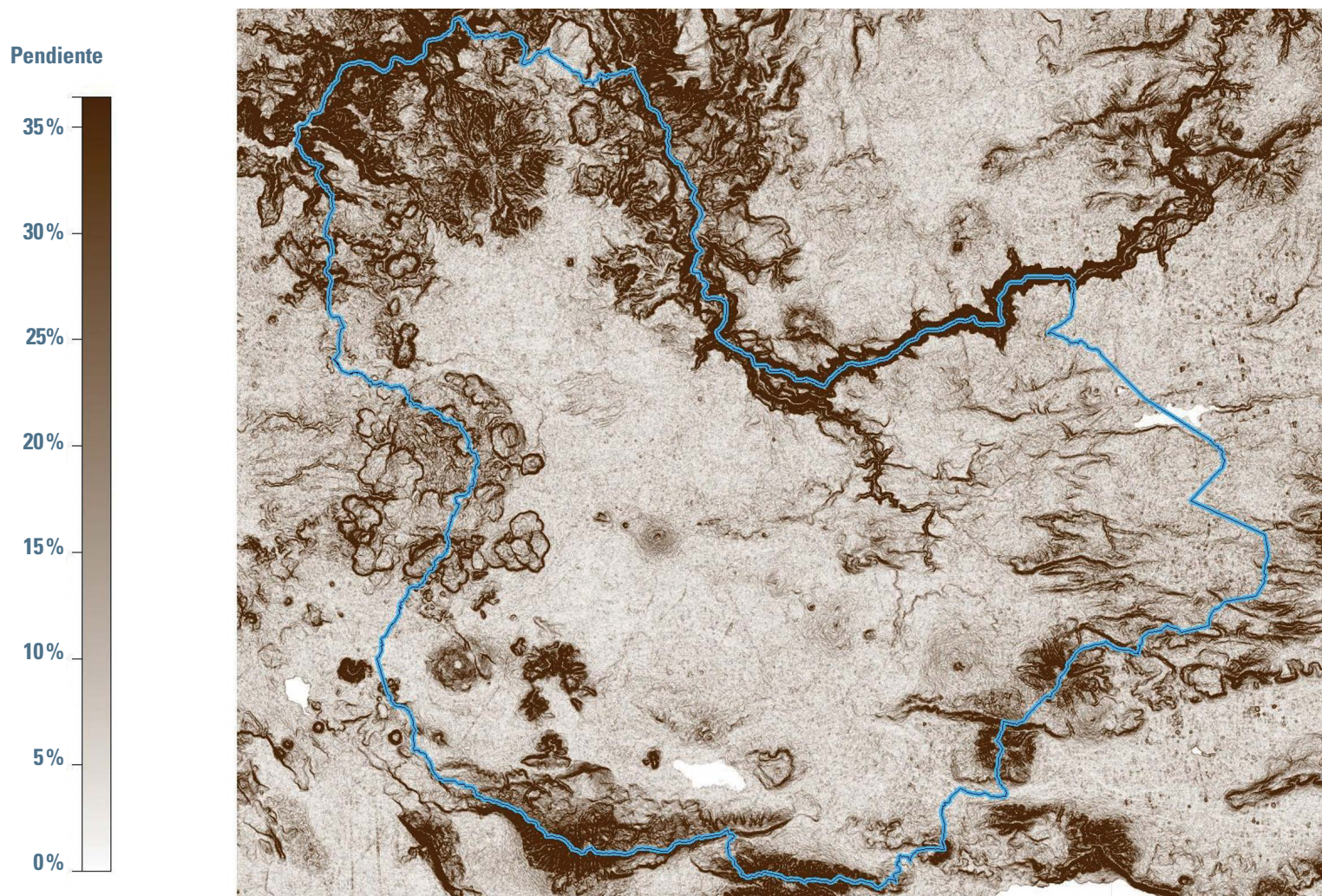
las condiciones del territorio, como la pendiente de la cuenca, el tipo de suelo, su profundidad y su textura, lo que fija la tasa de infiltración y escurrimiento.

La degradación de cuencas se ha convertido en un elemento que aumenta la vulnerabilidad ante precipitaciones intensas o prolongadas. Las lluvias de verano son típicamente intensas y de corta duración, en contraste con lluvias invernales que son menos intensas, pero de mayor duración. Una alteración fundamental del terreno es la urbanización, lo cual incide de manera importante en la conformación de cauces. El comportamiento del agua también modificado por la construcción de canales, que mitigan los impactos, pero que también pueden originar inundaciones cuando son obstruidos por residuos sólidos y azolvamiento. En las siguientes dos secciones se describirá, en el proceso de determinación, tanto del escurrimiento y acumulación, como de la capacidad de infiltración que agrava o mitiga el efecto de la lluvia intensa.

Para identificar zonas potenciales de inundación, fue necesario contar con un Modelo Digital de Elevación (MDE) de alta resolución espacial (5 m) en (X, Y y Z), que permita delimitar adecuadamente las características del terreno. La conducción de los escurrimientos por pendiente, junto con la capacidad de infiltración de los suelos, son variables hidrológicas importantes para estimar potencial de inundación por escurrimientos. Si la pendiente es mayor a 3°, se establecen zonas de aportación, mientras que las zonas receptoras o de acumulación son aquellas de pendiente menor de 3°, en donde el movimiento de los escurrimientos se considera mínimo, o sea, una condición casi estática. En un modelo de escurrimiento inundación, incorporar un mayor número de clases (pendientes del terreno) puede ser utilizado para establecer la velocidad de los escurrimientos. En todo caso, el modelo de riesgo desarrollado considera las condiciones límite para identificar los escurrimientos y las zonas potenciales de acumulación de flujos.

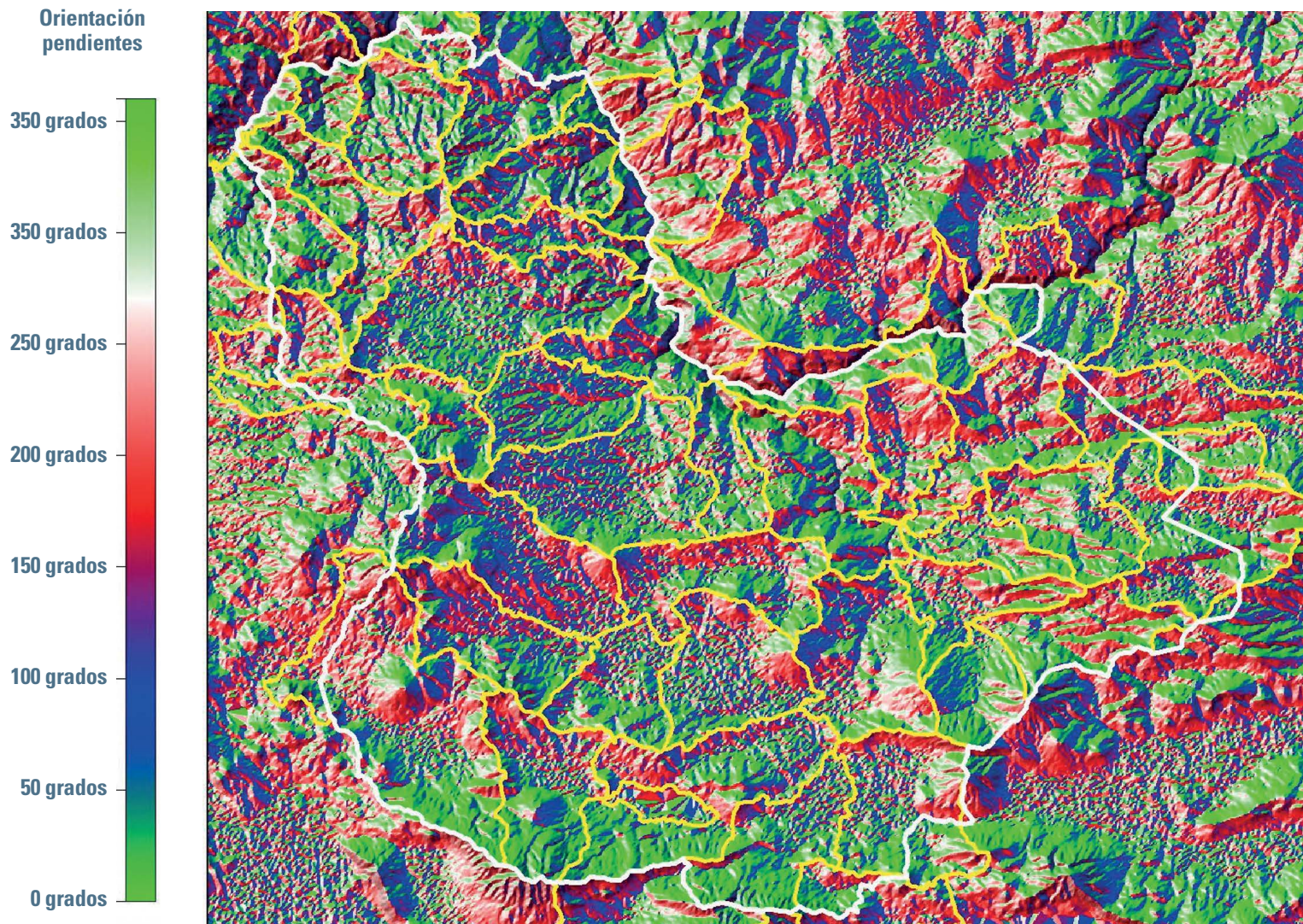


**FIGURA 28. INTENSIDAD DE LAS PENDIENTES EN EL AMG**




**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de LIDAR-INEGI

**FIGURA 29. ORIENTACIÓN DE LAS PENDIENTES DEL AMG**



Fuente: elaboración propia a partir de datos de LIDAR-INEGI



El establecimiento de niveles de pendiente resulta necesario para identificar las zonas de aportación y acumulación de escurrimientos. En cuencas cerradas, el área con menor altitud (más baja) corresponde al área de acumulación de escurrimientos. Por otro lado, en cuencas abiertas, con salida hacia otra cuenca o a un cuerpo de agua, la acumulación de escurrimientos se relaciona con la conducción de los escurrimientos por la orografía, la cercanía a los cauces y la transformación hidrológica de la cuenca. Hay que señalar que ello no se refiere solamente a cuencas naturales; también hay que considerar de manera muy importante el encauzamiento de ríos y generación de “ríos urbanos” en cauces artificiales, los cuales son una parte fundamental del funcionamiento de las cuencas urbanas.

La topografía es un proxy robusto (de primer orden) que explica la variación espacial de las condiciones hidrológicas en una cuenca (Sörensen y Seibert, 2007) por ello es importante determinar como la topografía urbana condiciona los procesos de inundación. La magnitud relativa (en función de la escala) de estos procesos hidrológicos, es sensible a la posición topográfica, la distribución del suelo y la vegetación (Moore et al., 1993). Por ejemplo, el índice de humedad, desarrollado por Beven y Kirkby (1979) combina los efectos de la topología de la red de drenaje y las áreas de contribución específica para determinar la respuesta hidrológica de la cuenca a partir de una relación de almacenamiento-área de contribución. Gracias a la alta resolución espacial de los modelos digitales de elevación (MDE) LiDAR, corregidos con información de hidrología superficial de INEGI, es posible utilizar este índice en entornos urbanos; y a partir de la ubicación de puntos de inundación sistematizados por IMEPLAN, comparar con los valores altos de vulnerabilidad física del terreno.

Como se mencionó anteriormente, el trabajo de modelación se basa primariamente en el uso del Modelo Digital de Elevación de INEGI. Sin embargo, esta información no se encuentra disponible para toda el Área Metropolitana de Guadalajara con una resolución homogénea, por lo cual, dicho modelo se utilizó en conjunto con imágenes del modelo digital de elevación derivado de las imágenes ASTER, una

iniciativa conjunta de la NASA y del Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI)<sup>25</sup>, un producto con resolución de 30 m en el Ecuador, para cubrir la parte norte del AMG, la cual no está incluida en la información disponible del MDE de INEGI utilizado. Con ambos insumos se construyó un modelo hidrológico, caracterizando la respuesta de la cuenca hidrográfica y de los caudales de escorrentía ante eventos meteorológicos de lluvia intensa en una cuenca. Para esta modelación se utiliza Global Mapper.

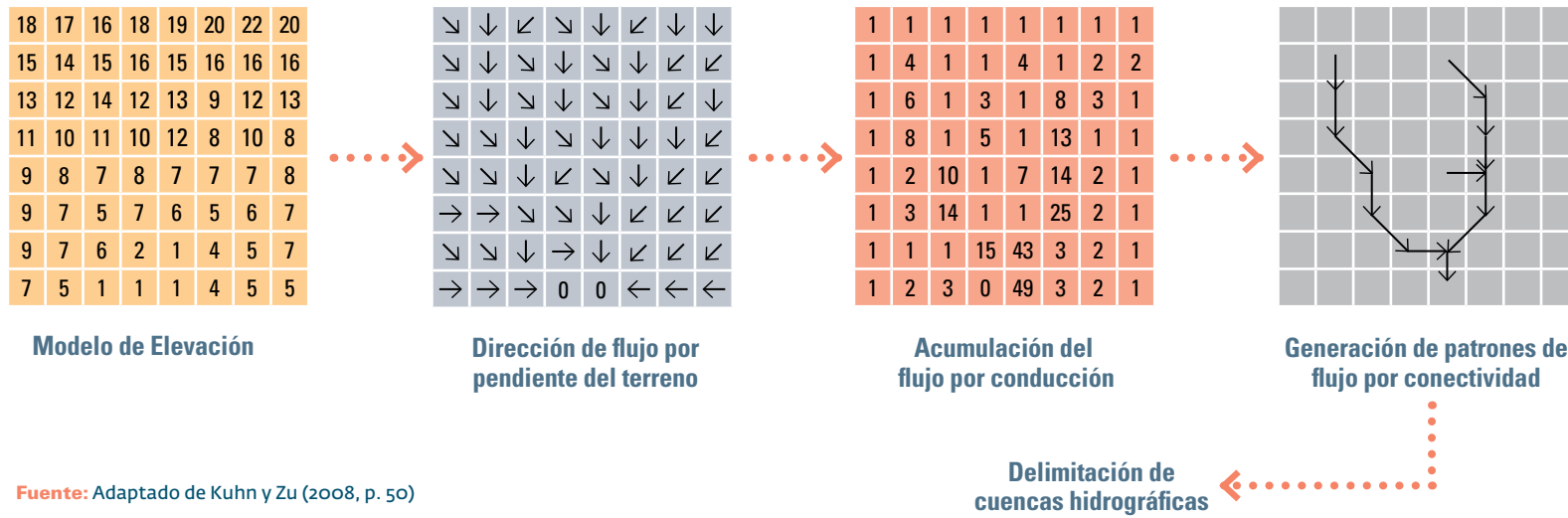
Para determinar si las ubicaciones de las inundaciones urbanas están vinculadas a la topografía, se tomó un enfoque parsimonioso (es decir, un enfoque de modelado que está restringido a los datos disponibles) y distribuido (malla regular de datos) espacialmente para construir un índice topográfico a partir de las pendientes, las direcciones y acumulaciones de flujo bajo estimaciones teóricas.

De un modelo de escurrimientos, generado a partir de del MDE, se obtiene la dirección de flujo (**FIGURA 30**). El resultado permite generar una malla con valores de magnitud que sirven para generar zonas de acumulación de flujo, considerando la aportación realizada por cada píxel, de valor más alto hacia los de menor valor, y con ello la distribución de escurrimientos superficiales (incluyendo aquellos configurados por el medio construido). Lo anterior lleva a construir una red hidrológica que permite definir cuencas, de su parte más alta hasta la salida en la parte más baja, donde se acumulan los escurrimientos. La malla de valores de acumulación de flujo está contenida en un archivo con celdas de 5x5 m, con 32 bits de profundidad (punto flotante), que es equivalente a un modelo digital de elevación en el que las elevaciones corresponden a la magnitud del flujo acumulado; esto es, a la cantidad de celdas que aportan flujo a las celdas receptoras en un punto dado.

Los valores resultantes se normalizan utilizando una función logarítmica y son ajustados a una escala continua en el intervalo de 0 a 5. A partir de ello, el ráster se reclasifica utilizando una escala con 5 clases utilizando cortes en los valores 0, 1.8, 2.4, 3, y 3.6, que corresponden a los niveles estimados de vulnerabilidad del terreno, y que representan la magnitud en acumulación de flujo.

<sup>25</sup> Disponibles en el sitio <https://terra.nasa.gov/data/aster-data>. Último acceso: 16 de abril de 2020.

**FIGURA 30. DIAGRAMA DE FLUJO QUE DESCRIBE LA DELIMITACIÓN DE CUENCAS, A PARTIR DE LA RED DE DRENAJE ACUMULACIÓN DE FLUJO OBTENIDO DE UN MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO**



Fuente: Adaptado de Kuhn y Zu (2008, p. 50)

Cabe señalar que, como ya se ha mencionado, con los modelos LiDAR es posible definir las características orográficas de una región, y con ello determinar los detalles de potencial de acumulación en superficie de agua de lluvia, para obtener el modelo de lluvia escurrimiento. La información sobre pendientes del AMG, necesaria para caracterizar escurrimientos y zonas de acumulación de agua, se obtiene de las bases de datos de INEGI, que tiene una resolución de 5 m en la vertical, lo cual da una visión general de la dinámica hidrológica metropolitana, adecuada para visualizar los procesos intermunicipales en cuencas, subcuencas y microcuencas; sin embargo, no es adecuado para identificar determinaciones muy detalladas (por ejemplo, encharcamientos en puntos bajos artificiales, como deprimidos vehiculares), o que responden a dinámicas muy locales (por ejemplo, el daño en una tubería de drenaje), las cuales deberán ser elaboradas en el contexto de diagnósticos de riesgos municipales.

En complemento al modelo de acumulación, para evaluar la vulnerabilidad física de las cuencas ante lluvias intensas, en el Atlas de Riesgos se identifica la extensión de cobertura natural y no natural del suelo en el AMG. Los cambios de uso de suelo en las subcuencas tienen un papel importante en el riesgo de inundación. A través de analizar estos elementos, se puede determinar la relación entre el tipo y uso de suelo, con sus características edafológicas, obteniéndose un valor conocido como número de curva. Este valor adimensional es ampliamente utilizado en el campo de la hidrológica para estimar los escurrimientos considerando diferentes intensidades de lluvia (Ansari et al., 2020).

La presencia de vegetación, su densidad, estructura y altura son determinantes en el proceso de infiltración (o de escorrentía superficial); es decir, de “un sistema natural de drenaje”. Por ejemplo, la velocidad de infiltración en suelos forestales es superior a la que presentan los suelos agrícolas, y es superior a la de los suelos urbanos. La pendiente aumenta

el coeficiente de escorrentía, pues una misma micro-topografía embalsa más agua en terrenos tendidos que en terrenos con pendientes. Al aumentar la escorrentía superficial, crece la erosión hídrica, que lima el micro-relieve del terreno, alisándolo y reduciendo las micro-depresiones. Ambos motivos explican la dependencia del coeficiente de escorrentía (C) de la pendiente (CUADRO 20). La urbanización lleva a que el territorio tenga los mayores índices de escurrimiento, trátase de lluvias cortas o largas, dada la escasa infiltración en el área urbanizada.

En las zonas de calles con empedrados o zonas donde se mantiene la cubierta vegetal se dan índices de escurrimiento menores, lo que significa que una parte de la lluvia se filtra y no contribuye a crear inundaciones aguas abajo. Es claro, por tanto, que los cambios de uso de suelo que transforman la cobertura de vegetación a superficie asfaltada y, por lo tanto, impermeable aumentan significativamente los escurrimientos (WSDOT, 2019 Appendix 4B).

## • • CUADRO 20. CURVAS NUMÉRICAS PARA USO AGRÍCOLA, ÁREAS RURALES Y URBANAS

TIPO DE CUBIERTA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA	CN / HSG			
	A	B	C	D
<b>NÚMEROS DE CURVA PARA CONDICIONES PREVIAS A LA URBANIZACIÓN*</b>				
<b>Pastos, pastizales o praderas (de pastoreo):</b>				
Estado regular (cobertura del suelo de 50% a 75% y con pastoreo no intensivo)	49	69	79	84
Buen estado (cobertura del suelo >75% y con pastoreo ligero u ocasional)	39	61	74	80
<b>Bosques:</b>				
Estado regular (con actividades pecuarias que no usan fuego y con residuos forestales en el suelo)	36	60	73	79
Buen estado (los bosques están protegidos del pastoreo y la hojarasca cubren adecuadamente el suelo)	30	55	70	77

\* No se incluyen los Números de Curva (NC) de zonas residenciales porque en teoría el escurrimiento que se genera en esas áreas se dirige a las calles o sistemas pluviales.

**TIPO DE CUBIERTA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA**

**CN / HSG**

**A B C D**

**NÚMEROS DE CURVA PARA CONDICIONES POSTERIORES A LA URBANIZACIÓN**

**Espacios abiertos (céspedes, parques, campos de golf, cementerios, jardines, etc.)<sup>†</sup>**

Estado regular (cubierta vegetal de 50% a 75% del área)	77	85	90	92
Buen estado (cubierta vegetal >75% del área)	68	80	86	90
<b>Áreas impermeables:</b>				
Cuerpos de agua abiertos: lagos, humedales, estanques, etc.	100	100	100	100
Estacionamientos pavimentados, tejados, caminos de acceso, etc. (excluyendo el derecho de paso)	98	98	98	98

**ADOQUINES POROSOS Y HORMIGÓN PERMEABLE (EL 85% ES IMPERMEABLE Y EL 15% ES CÉSPED)**

Césped en condición regular (CNs media ponderada)	95	96	97	97
Césped en buena condición (CNs media ponderada)	94	95	96	97
Asfalto	98	98	98	98
Grava (incluido el derecho de paso)	76	85	89	91
Suelo arcilloso (incluido el derecho de paso)	72	82	87	89

<sup>†</sup> Los CN compuestos para espacios abiertos se construyeron a partir de los valores de CN reportados en el Manual T-55 de SCS (1986).





TIPO DE CUBIERTA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA	CN / HSG			
	A	B	C	D
<b>PASTOS, PASTIZALES O PRADERAS EN PASTOREO INTENSIVO</b>				
Mal estado (cobertura vegetal <50% o con pastoreo intensivo y sin mantillo)	68	79	86	89
Estado regular (cobertura vegetal de 50% a 75% y con pastoreo no intensivo)	49	69	79	84
Buen estado (cobertura vegetal >75% y con pastoreo ligero u ocasional)	39	61	74	80
<b>BOSQUES</b>				
Mal estado (la hojarasca del bosque, los árboles pequeños y la maleza son destruidos por el pastoreo intenso o la quema regular)	45	66	77	83
Estado regular (bosques pastoreados pero no quemados y poca hojarasca cubre el suelo)	36	60	73	79
Bueno (los bosques están protegidos del pastoreo, y la hojarasca y maleza cubren adecuadamente el suelo)	30	55	70	77

Fuente: WSDOT (2019, p. 4B-4)

Esto significa que, si bien en zonas agrícolas o naturales las escorrentías tenderán a acumular menos flujos que los estimados, dicha condición límite puede alcanzarse en esas mismas zonas si el suelo es sellado por el uso de suelo urbano. Factores atenuantes a esta condición desde el punto de vista de la planeación serán el uso de pavimentos permeables, mantenimiento de áreas verdes abundantes y obras de control de velocidad y reorientación de las escorrentías.

El cambio de cobertura de suelos forestales o con vegetación primaria a coberturas de agricultura y suelo urbano, provocan una alte-

ración hidrológica, disminuyendo la capacidad de infiltración. Para establecer en qué medida la sustitución de suelos naturales tiene impacto en los flujos de lluvias, se estimó la capacidad de escurrimiento, considerando el método del número de curva, desarrollado por el *Soil Conservation Service* (SCS) (NRCS, 1986). Este procedimiento permitió evaluar la sensibilidad ante diferentes intensidades de lluvia.

El número de curva es un parámetro hidrológico del método SCS-CN. El método se emplea para estimar el volumen de escurrimientos en cuencas no instrumentadas con estaciones de aforo. SCS-CN utiliza

• • **CUADRO 21. GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SUELO**

GRUPO DE SUELOS	CONDICIÓN HIDROLÓGICA DEL SUELO
<p><b>A</b> <b>(permeable)</b></p>	<p>Suelo con bajo potencial de escurrimiento, incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla; también suelo permeable con grava en el perfil. Infiltración básica: 8-12 mm/h</p>
<p><b>B</b> <b>(medianamente permeable)</b></p>	<p>Suelos con moderadamente bajo potencial de escurrimiento. Son suelos arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. Este grupo tiene una infiltración mayor que el promedio cuando húmedo. Ejemplos: suelos migajones, arenosos ligeros y migajones limosos. Infiltración básica 4-8 mm/h.</p>
<p><b>C</b> <b>(cuasi impermeables)</b></p>	<p>Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene una infiltración menor que la promedio después de saturación. Ejemplo: suelos migajones arcillosos. Infiltración básica 1-4 mm/h.</p>
<p><b>D</b> <b>(impermeables)</b></p>	<p>Suelos con alto potencial de escurrimiento. Por ejemplo, suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Infiltración básica menor 1 mm/hr.</p>

Fuente: CONABIO, 2007; NRCS, 1986; WSDOT, 2019.

parámetros físicos robustos (suelos, vegetación y pendientes) que lo hacen útil para simulaciones hidrológicas de corta y larga duración, por ello nos podemos aproximar a problemas ambientales como las inundaciones (pluviales y fluviales). El valor de la curva numérica está en función de la permeabilidad del suelo, la cobertura y tipo de vegetación, y la condición de humedad antecedente (NRCS, 1986). La eficacia del método está suficientemente documentada para pequeñas cuencas agrícolas y urbanas (Ansari et al., 2020).

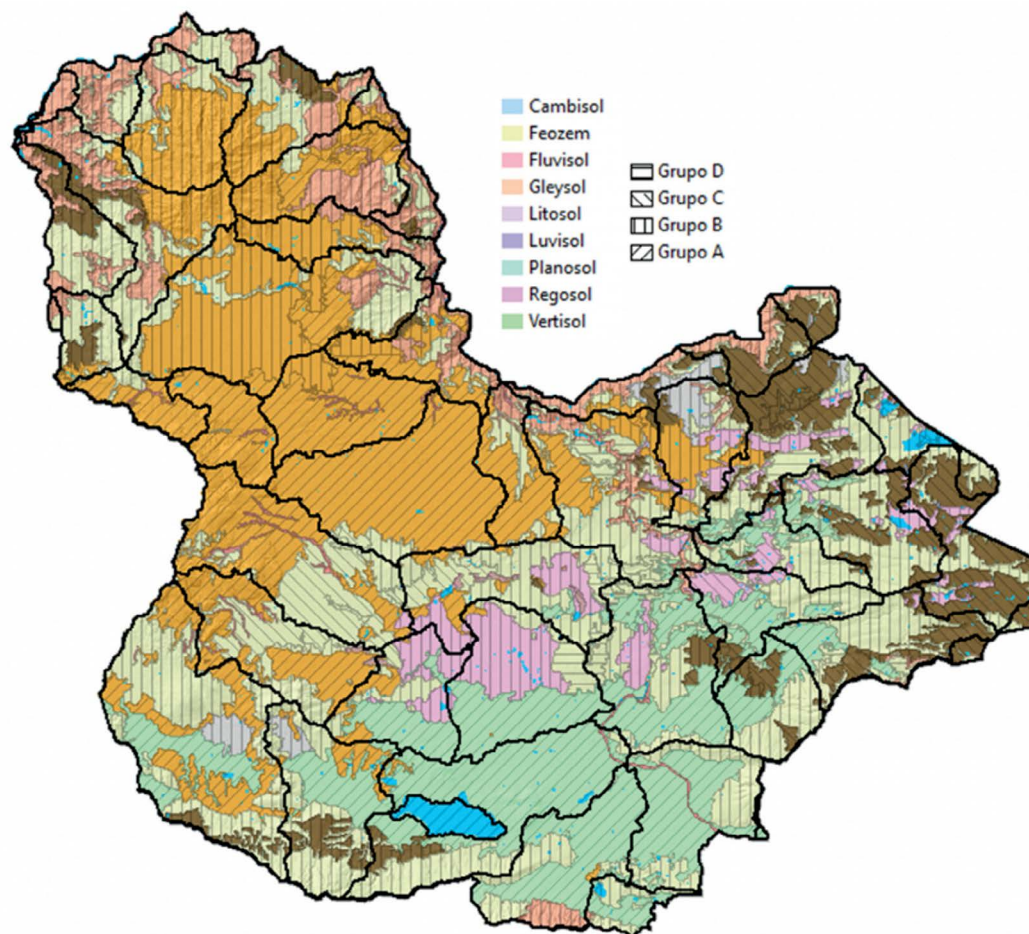
Para este Atlas, los datos de las propiedades del suelo se obtuvieron de la serie de Edafología del Instituto Nacional de Investiga-

ciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO)<sup>26</sup> y se agruparon con base en su textura y sus propiedades de infiltración (**CUADRO 21**).

Las cuencas urbanas del AMG se desarrollaron sobre suelos con bajo potencial de escurrimiento. Sin embargo, debido al proceso de urbanización (impermeabilización) se invirtió este proceso en donde los escurrimientos ya no son drenados por procesos naturales, sino por colectores pluviales y drenaje doméstico (**FIGURA 31**).

26 Disponible en el sitio: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/eda251mgw.xml?\\_httpcache=yes&\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/eda251mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no)

**FIGURA 31. AGRUPACIÓN DE LOS TIPOS DE SUELO CON BASE EN SU TEXTURA Y PROPIEDADES DE INFILTRACIÓN**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de CONABIO.

La condición hidrológica de la vegetación (y usos de suelo) se define a partir del tipo de prácticas de manejo (agrícolas, pecuarias y forestales) y el porcentaje de cobertura que proveen al suelo (CUADRO 22). Los datos (serie de tiempo) se obtuvieron de la Agencia Espacial

Europea (ESA) con resolución espacial de 300 m, 100 m y 10 m, para 1992 a 2018, 2015 a 2018 y 2019, respectivamente. Estos datos, agrupados por su condición hidrológica, crean la componente dinámica para entender el cambio en los escurrimientos superficiales (CUADRO 22)

• • **CUADRO 22. CONDICIÓN HIDROLÓGICA DE LA VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO<sup>27</sup>**

USO DEL SUELO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA
<b>Pastos naturales</b>	Los pastos en malas condiciones (<50% de cobertura) son dispersos, fuertemente pastoreados con menos que la mitad del área total con cobertura vegetal. Pastos en condiciones regulares (50 a 75% de cobertura), moderadamente pastoreados con la mitad o las tres cuartas partes del área total con cubierta vegetal. Pastos en buenas condiciones (>75% de cobertura), ligeramente pastoreados y con más de las tres cuartas partes del área total con cubierta vegetal.
<b>Bosques</b>	Los bosques en malas condiciones (<50% de cobertura) tienen árboles dispersos, fuertemente pastoreados y sin crecimiento rastrero. Bosques en condiciones regulares (50 a 75% de cobertura) son moderadamente pastoreados y con crecimiento rastrero incipiente. Bosques en buenas condiciones (>75% de cobertura) están densamente pobladas y sin pastorear.
<b>Pastizales cultivados</b>	Los pastizales cultivados en buenas condiciones (>75% de cobertura), generalmente están mezcladas con leguminosas y sujetas a un cuidadoso sistema de manejo de pastoreo; en malas condiciones (<50% de cobertura) se consideran áreas de pastizal con prácticas de sobrepastoreo.
<b>Cultivos</b>	En las áreas cultivadas, buenas condiciones hidrológicas se refieren a cultivos con buen manejo (BMP, ej. rotación de cultivos, cultivos de escarda, cultivos densos). Y las condiciones hidrológicas malas se refieren a prácticas de monocultivo y deficientes prácticas de manejo (ej. surcos en dirección a la pendiente).

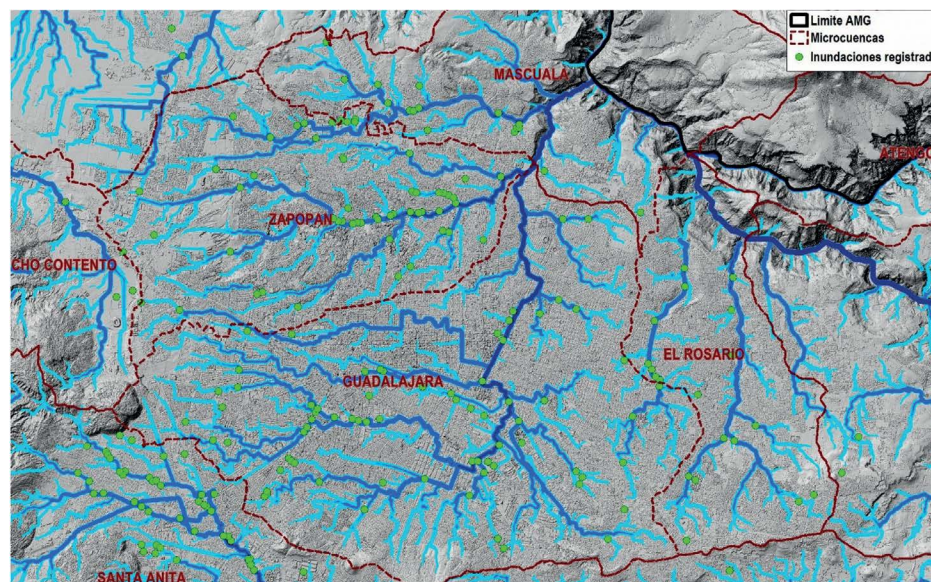
Fuente: WSDOT, 2019.

A partir de este trabajo, se obtienen clasificaciones discretas de permeabilidad: 0.8 (buena permeabilidad, logra infiltrar una parte significativa), 0.85 (media), 0.9 (baja), y 0.95 (nula, no logra infiltrar casi nada). A mayor permeabilidad, menor valor de factor. No existe un valor 1, ni siquiera en zonas urbanas consolidadas, ya que las áreas verdes, como camellones y banquetas grandes, tienen un efecto mínimo, pero perceptible a nivel regional, lo cual da cuenta de su relevancia.

Otro elemento clave para mitigar estos escurrimientos es el drenaje hidráulico, sea superficial o subterráneo; sin embargo, no existe información suficiente para su modelado preciso a esta escala de análisis. En todo caso, los modelos de riesgo desarrollados muestran la situación en el caso extremo de que el drenaje opere deficientemente. El escenario de riesgo estimado sugiere cuáles son los sitios en los que el drenaje (artificial) no opera correctamente cuando se cruza con los registros históricos de inundaciones.

<sup>27</sup> En el caso del uso urbano-construido, la premisa es que las áreas impermeables están conectadas directamente al sistema de drenaje, las áreas impermeables tienen un CN de 98 y las áreas permeables se consideran equivalentes a espacios abiertos en buenas condiciones hidrológicas.

**FIGURA 32. CLÚSTER DE PUNTOS DE INUNDACIÓN A LO LARGO DE LA SUBCUENCA SAN JUAN DE DIOS, EN EL CENTRO DEL AMG**



**Fuente:** Elaboración propia a partir del modelo de inundación e IMEPLAN

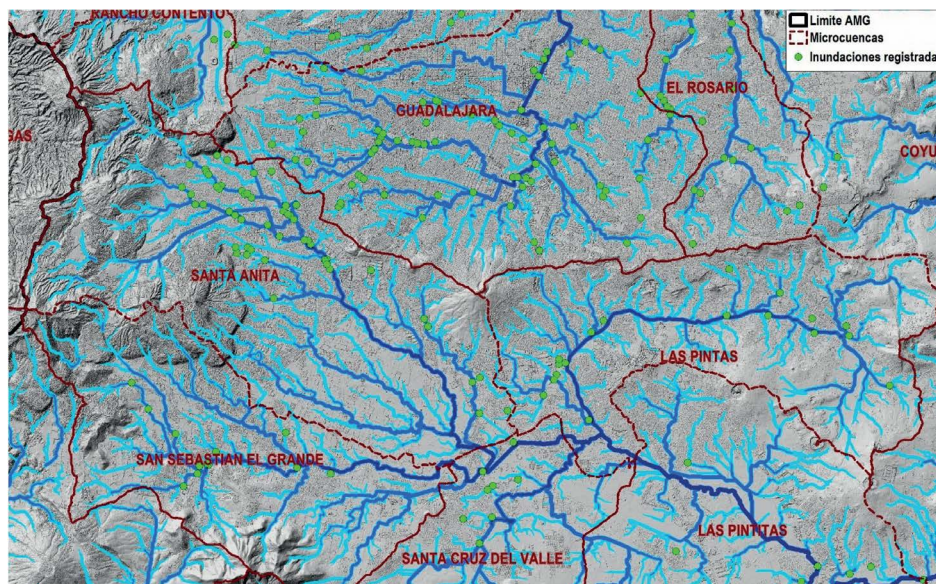
En el AMG, desde mediados del siglo XX se ha construido un sistema de drenaje para reducir el riesgo de inundaciones, el cual resulta insuficiente hoy en día. El drenaje coincide con las vialidades más importantes de la ciudad y fue construido bajo los parámetros de los años setenta y ochenta, con estimaciones de caudales correspondientes a intensidades de lluvia menores a los que se tienen en la actualidad. El drenaje es combinado en su mayor parte, es decir, conduce agua residual y agua de las lluvias, lo cual hace que su capacidad se vea rebasada con frecuencia en la temporada de lluvias, cuando las precipitaciones exceden los 30 mm/hr.

De acuerdo con información de CONAGUA (2015, p. 59), el sistema de alcantarillado del AMG es de tipo mixto, y conduce aguas negras con un porcentaje de aguas pluviales. Ello sigue los estándares de la mayor parte de los diseños de los años sesenta y setenta, no sólo del AMG, sino de muchas ciudades de México. El drenaje y los colectores de la zona

funcionan para intensidad de lluvia de alrededor de 50 mm/h y un coeficiente máximo de escurrimiento de 0.5, lo que implica que 50% de la lluvia se infiltra o evapora. Sin embargo, dado el alto nivel de urbanización en la zona, no existe una capacidad de infiltración que permita que 50% de la lluvia se infiltre o evapore. Conforme las lluvias se intensifican, el sistema de drenaje queda rebasado, pues su planeación original no consideró el aumento en los valores de lluvias extremas del periodo más recientes en que los valores de P95 de la lluvia diaria están entre 30 y 40 mm/día (Maldonado et al., 2017).

Bajo esta modelación de los factores escurrimiento/acumulación, infiltración y drenado, el modelo identifica los escurrimientos intraurbanos por proceso de conducción por pendiente, que hace fluir el agua de zonas más altas hacia rutas de escurrimiento probables. Este modelo configura una zonificación que simula la severidad con valores máximos (envolventes). Utilizando la información de la vulnerabilidad

**FIGURA 33. CLÚSTER DE PUNTOS DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA SANTA ANITA Y MICROCUENCA LAS PINTAS, EN EL CENTRO DEL AMG**



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de inundación e IMEPLAN.

física, se puede analizar la zona centro de la urbanización del AMG y compara con los sitios donde en años recientes se reporta el mayor número de afectaciones. Es claro que dichas zonas dan una idea de regiones susceptibles de ser afectadas, pero su distribución permite identificar las características físicas que las hacen vulnerables

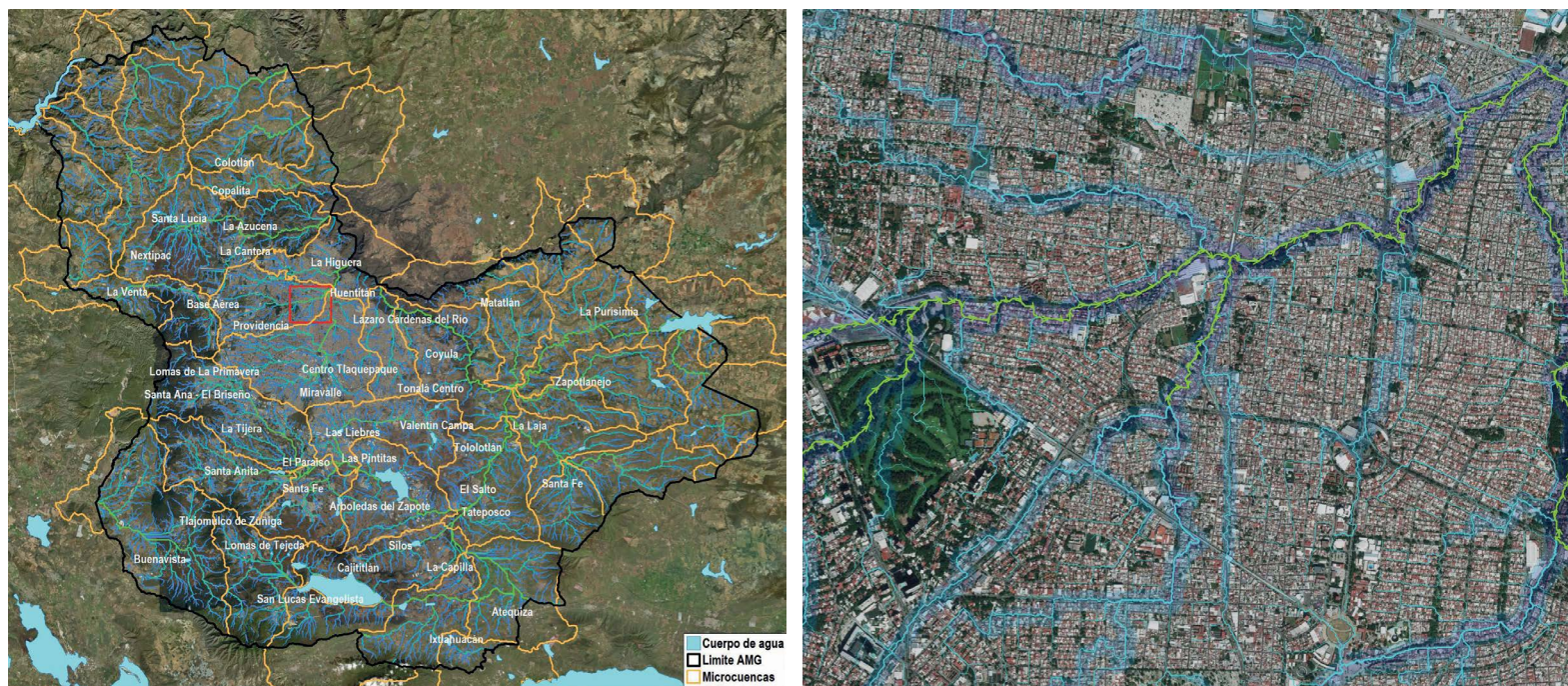
La zona convexa del centro de la urbanización del AMG se convierte en una de las principales áreas de acumulación del agua precipitada en las tormentas de verano. Un mapeo de los puntos de inundación en la microcuenca de San Juan de Dios muestra con claridad que esta zona es mayormente afectada por encharcamientos e inundaciones, debido a su condición topográfica (FIGURA 32).

Algunas de las corrientes naturales, al ser incorporadas al área urbana, se han convertido en calles y avenidas. Éstas hacen las veces de "ríos urbanos" de una forma un tanto distinta a la que se describió en párrafos anteriores, la cual puede o no seguir el trazo urbano, depen-

diendo de la configuración del terreno. En el caso de los cauces naturales incorporados, pueden registrar en ciertos puntos algunos procesos de azolvamiento o disminución de la velocidad en la que escurre el agua (por ejemplo, en los meandros o en las zonas con menor pendiente), lo cual puede acumular agua y resultar en inundación. Así sucede con frecuencia en algunas zonas de la subcuenca del Río Atemajac y en zonas, como Tlaquepaque, en la cuenca Santa Anita, donde los impactos observados de las inundaciones están sobre el cauce del río que antes existía; o bien, en la acumulación del escurrimiento que no logra llegar a lo que era el río, debido a barreras urbanas (FIGURA 33).

La distribución de los impactos históricos recientes muestra mayor concentración en la zona centro-poniente de la ciudad. Las inundaciones son más dispersas hacia la parte oriente y norte. Considerando la altura alcanzada por la lámina de agua (altura del tirante) en los registros

**FIGURA 34. SECUENCIA QUE MUESTRA 1) CAUCES DE RÍOS DE ACUERDO CON EL MDE 2) EJEMPLO DE UN RÍO CONVERTIDO EN AVENIDA DEL DOMINIO INDICADO EN CUADRO ROJO, QUE SE CONVIERTE EN “RÍO URBANO”**



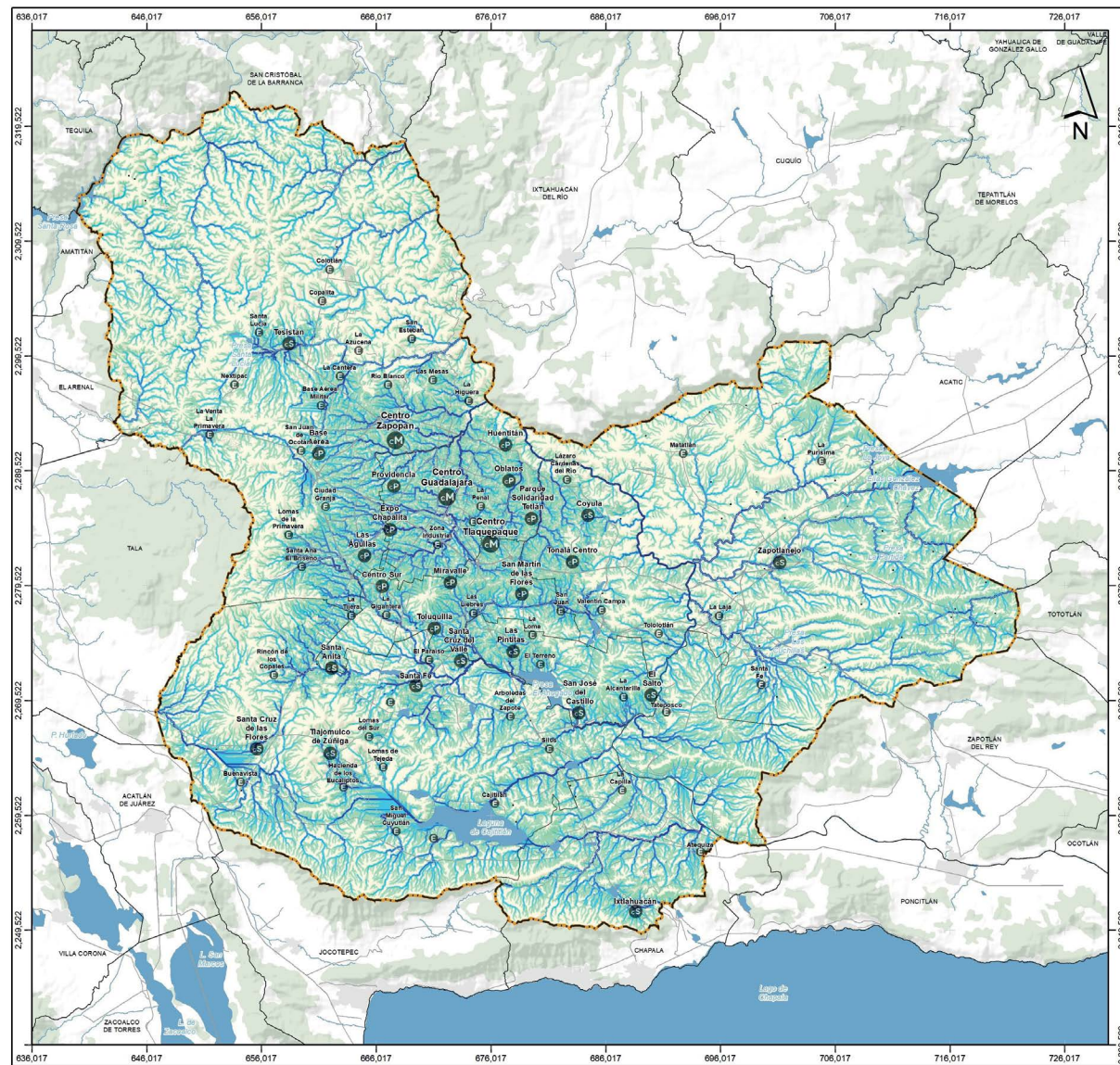
**Fuente:** Elaboración propia, a partir del Modelo Digital de Elevación de 5 m de INEGI, imágenes ASTER y Google Earth.

históricos, se tiene que un 65% de los encharcamientos-inundaciones está representado por eventos con alturas de hasta 50 centímetros. El 35% restante de los eventos tiene alturas menores a 2.0 metros, que reflejan las inundaciones en bajo puentes o pasos a desnivel. La distribución de los impactos con respecto de las vías de comunicación mostró que 41% de estos se ubican en las vías principales, mientras que 59% se localizó en vialidades secundarias principalmente de la zona oriente de la ciudad.

No obstante lo anterior, los escurrimientos no siguen completamente el recorrido de las calles, puesto que éstas no tienen la

configuración de un canal, sino que se desvían hacia otras calles dependiendo de las pendientes locales. En consecuencia, la gran mayoría de las inundaciones se encuentran dentro de la red de escurrimientos identificada por el modelo, la cual constituye el factor determinante para entender la dinámica de las inundaciones e identificar los sitios mayor riesgo, la cual puede o no coincidir con avenidas principales. Incluso, puede observarse que la ubicación de los puntos de inundaciones registradas muestra una muy alta correlación con la de los escurrimientos identificados, y no con avenidas o calles específicas.


**FIGURA 35. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA (REGIONAL)  
POR INUNDACIONES EN EL AMG**



- TEMÁTICA**
- Vulnerabilidad física del terreno ante inundaciones**
- Muy alto
  - Alto
  - Medio
  - Bajo
  - Muy bajo

Fuente: Elaboración propia





Las zonas más propensas a inundación bajo lluvias intensas son aquellas en donde se presenta un vado pronunciado (zona de geometría convexa), en donde se presenten dos flujos y se encuentren perpendiculares (por ejemplo, en donde hay cruces de avenidas), y donde se ubiquen objetos o infraestructura que pueda bloquear (azolvamiento, muros u otro tipo de barreras). Por ello, el diagnóstico de las zonas vulnerables, a partir de elementos topográficos, propensas a inundaciones puede también ser clave para vislumbrar soluciones a este problema.

Cabe enfatizar que, para que ocurran inundaciones, además de la presencia de lluvias y de la identificación de corrientes superficiales en las cuales se concentra el agua, juega un papel fundamental la configuración local del terreno. Es decir, que zonas de alta acumulación de flujo que tienen pendiente pueden sufrir inundaciones dinámicas de corta duración; y si el drenaje tiene la capacidad suficiente, esto no ocurrirá. Por otro lado, sitios que aparecen en la categoría de bajo o muy bajo riesgo pueden inundarse si se conforman cuencas locales muy pequeñas (tramos de calles, estacionamientos, pasos deprimidos), aún si se encuentran fuera de las zonas de mayor acumulación de flujo. En una cuenca endorreica local, basta con que se acumulen los escurrimientos de algunas calles aledañas para que ocurra una inundación estática significativa. Sin embargo, este nivel de análisis corresponde a los Atlas de Riesgo Municipales y a estudios locales de ingeniería.

El modelo incorpora de forma aproximada el drenaje modificando los niveles de infiltración (coeficiente de escurrimiento) urbana. Se siguió para ello la distribución y capacidad promedio de la red de drenaje. Es claro que este factor induce incertidumbre, pues se desconoce con precisión la condición actual de las alcantarillas, bocas de tormenta y del drenaje mismo, cuya capacidad varía de tramo en tramo. La ventaja de este esquema es que eventualmente se puede comparar, al menos a nivel del modelo, el efecto de recuperar servicios ambientales de regulación hídrica contra nuevas obras de ingeniería, como son los túneles emisores. Adicionalmente, las pruebas de sensibilidad de una obra se pueden probar en un municipio que no necesariamente es el que experimenta las afectaciones de inundación.

Ahora bien, cuando el índice de vulnerabilidad física se combina con el índice de peligro, por ejemplo, el P95 de precipitación diaria, bajo los parámetros y procedimientos descritos en la sección ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. se puede estimar la probabilidad de inundación. Es decir, la estimación de la probabilidad de inundaciones ante lluvias intensas capaces de generar daños y pérdidas, muestra la aplicación de la metodología en la que se caracteriza el peligro, ya sea con el percentil 95 (5% de probabilidad de que ocurran lluvias de o por encima de un valor dado), o con la probabilidad de lluvias por encima de un valor fijo (por ejemplo, probabilidad PCP >30 mm/día). Para realizar este cruce, combinamos las capas resultantes del análisis de vulnerabilidad física (incluyendo la permeabilidad), y la de peligro por lluvias, a partir de una suma ponderada, en la cual la vulnerabilidad física tiene 80% del peso total, mientras que el peligro por lluvia se considera un modulador de la gravedad de los impactos, con 20%. De esta manera, es claramente visible en el modelo de riesgo el efecto combinado de ambos factores, además de coincidir en gran medida con los registros de impactos pasados, que validan la capacidad predictiva de éste.

Adicionalmente, el modelo de inundación incluye una verificación de la dinámica hidrológica en zonas específicas de pendiente muy baja, particularmente en ciertas áreas del cauce del río Santiago, con la información de cuerpos de agua de INEGI escala 1:50,000<sup>28</sup>. Esto es relevante, ya que, por la dinámica hidrológica del río en zonas de escasa pendiente de esta zona y la resolución de los datos utilizados en el modelo, la zonificación de ciertas áreas no corresponde exactamente con un cauce delimitado. En todo caso, cabe aclarar que la resolución aquí utilizada es adecuada para el análisis regional metropolitano propio de este producto, aunque puede tener limitaciones para la identificación de dinámicas de sitios específicos que responden a condiciones distintas a las consideradas en los parámetros básicos de éste (pendiente e infiltración). El estudio de estos eventos específicos corresponde a Atlas municipales, a partir de fuentes de datos de mayor resolución.

**28** Datos disponibles en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598435>

## 5.4. INTEGRACIÓN CARTOGRÁFICA DE COMPONENTES

La cartografía de zonificación de probabilidad de inundaciones es el producto resultante de los análisis descritos en los apartados 5.2. Peligro meteorológico y 5.3. Vulnerabilidad física. Se utiliza como insumo primario la información del Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI con celdas de 5 m; y para las áreas en las que esta fuente no tiene cobertura, se utiliza el Modelo Digital de Elevación ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) con resolución nominal de 30 m METI/NASA; dichas imágenes se utilizan para el extremo norte del AMG, en áreas no urbanizadas del municipio de Zapopan. Con base en este modelo se utilizó un algoritmo que identifica los escurrimientos con base en la pendiente y la orientación estimadas de las celdas, así como la acumulación potencial en superficie de agua de lluvia.

Utilizando el software Global Mapper, se calcula la acumulación de flujo en función de la cantidad de celdas previas (aguas arriba) que aportan flujo a cada celda sucesiva. Estos valores de acumulación se encuentran interpolados como una rejilla uniforme de puntos que se transforma en un archivo ráster de 32 bits con punto flotante, que es interpretado como un modelo digital de elevación, en el cual los valores de elevación corresponden en realidad a los valores de flujo acumulado.

Los valores resultantes se normalizan utilizando una función logarítmica y son ajustados a una escala continua en el intervalo de 0 a 5. A partir de ello, el ráster se reclasifica utilizando una escala con 5 clases y cortes en los valores 0, 1.8, 2.4, 3, y 3.6, que corresponden a los niveles estimados de vulnerabilidad del terreno, y que representan la magnitud en acumulación de flujo.

Esta información, posteriormente, se cruza con los valores de potencial de escurrimiento/ infiltración, a partir de la capa de cobertura vegetal y uso de suelo. Se utiliza la clasificación de los suelos naturales

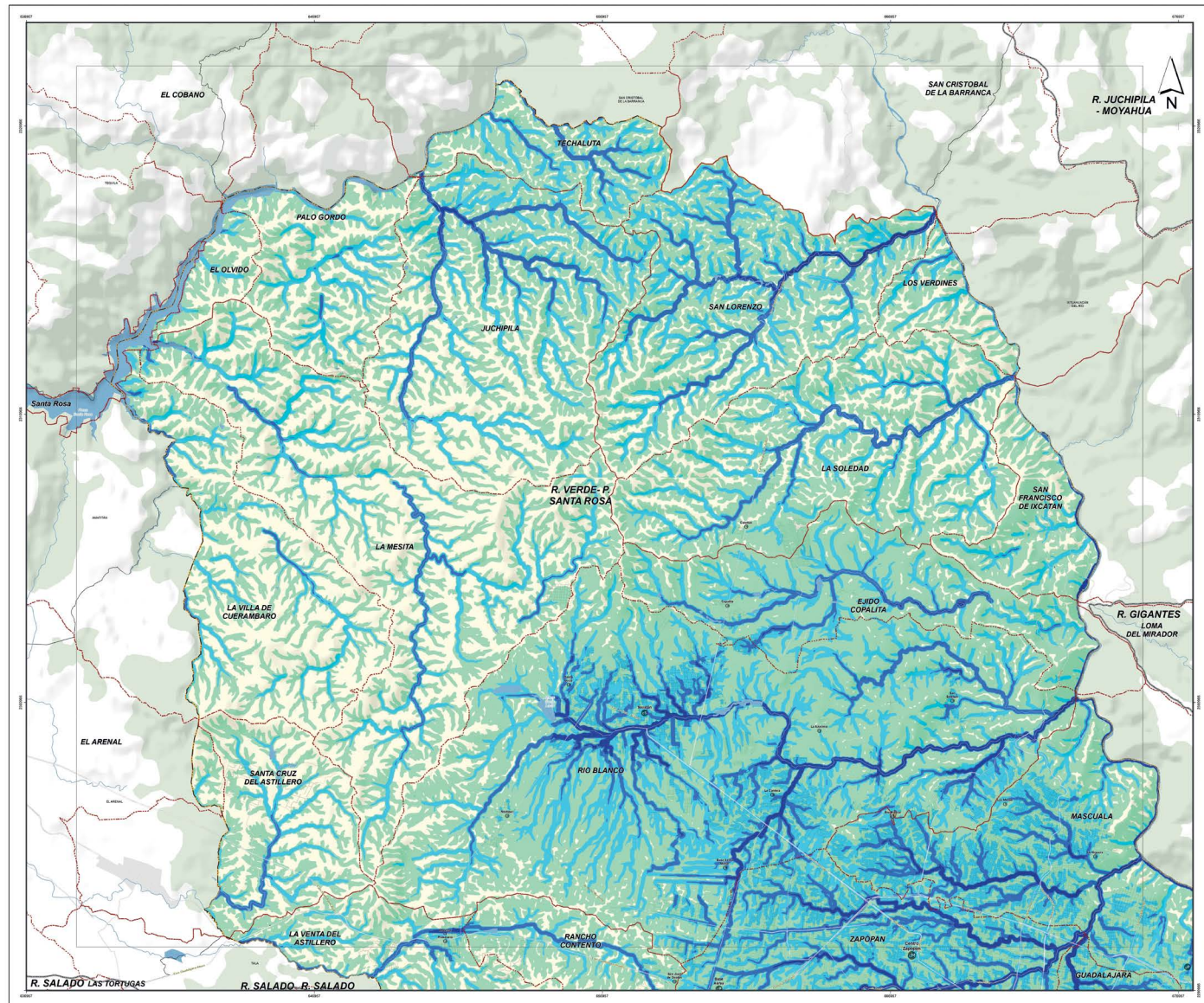
y artificiales que estima su capacidad de escurrimiento/infiltración, utilizando las tablas de número de curva, desarrolladas por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos (ver el Apartado 5.3. Vulnerabilidad física). A partir de este insumo, se obtienen clasificaciones discretas de permeabilidad: 0.8 (buena permeabilidad, logra infiltrar una parte significativa), 0.85 (media), 0.9 (baja), y 0.95 (nula, no logra infiltrar casi nada). A mayor permeabilidad, menor valor de factor. Cabe señalar que no existe un valor 1, ni siquiera en zonas urbanas consolidadas, ya que las áreas verdes como camellones y banquetas grandes tienen un efecto mínimo, pero perceptible a nivel regional, lo cual da cuenta de su relevancia.

La cartografía define las zonas en las cuales se presentan mayores probabilidades de que se presenten eventos de inundación, tanto estática como dinámica, bajo el escenario más limitado de funcionamiento del drenaje (**FIGURA 35**). Dentro de estas zonas, los factores más relevantes para que se presenten inundaciones son la configuración local del terreno, el comportamiento de la infraestructura hidráulica, el potencial local de infiltración y la presencia en la superficie de elementos que reducen la velocidad del flujo.

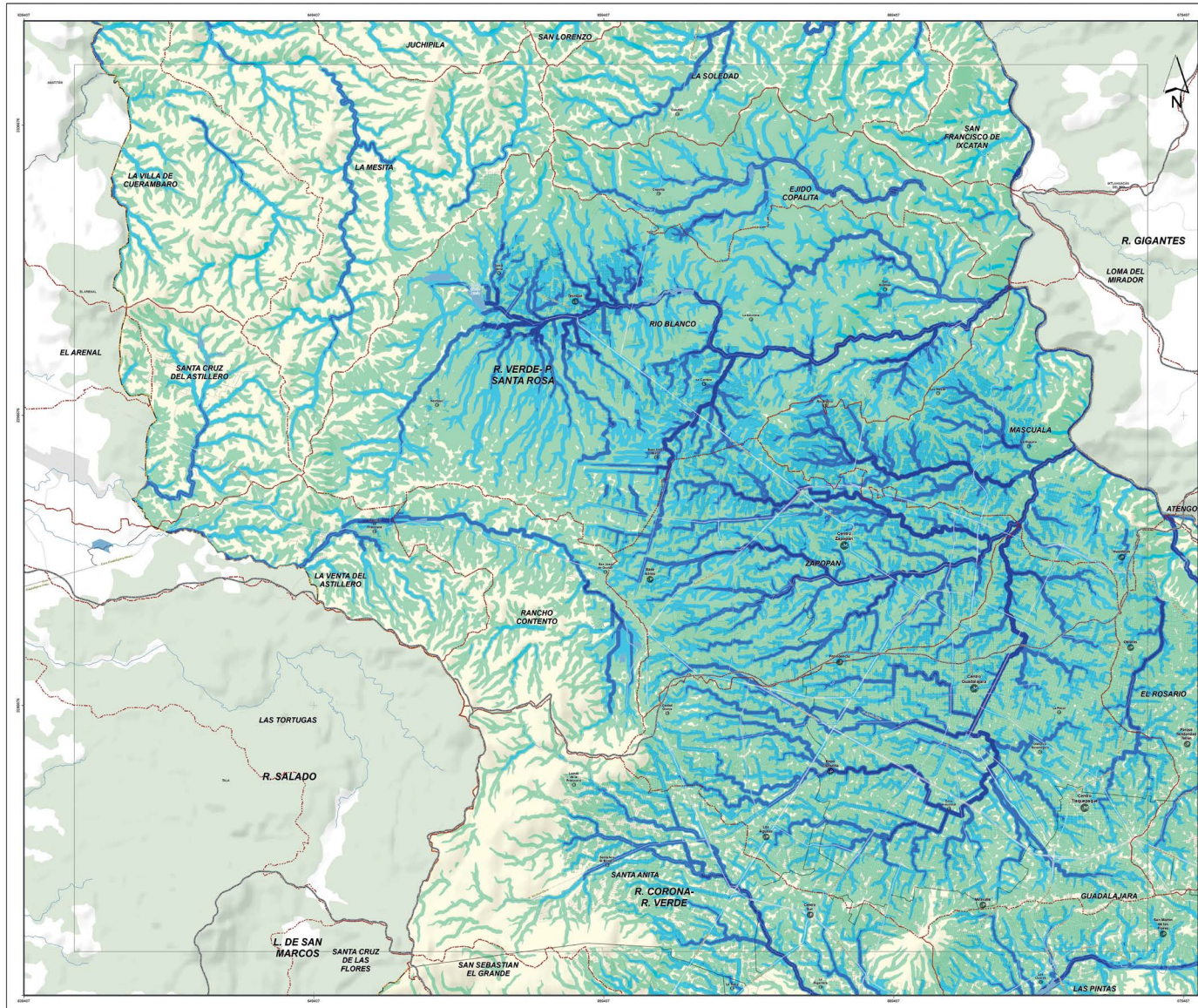
A este mapa se añade, como el factor modulador final de la probabilidad de inundación, la capa de peligro por lluvias (percentil 90 de lluvia). Éstas se obtuvieron a partir del análisis de los climogramas del Servicio Meteorológico Nacional de las estaciones ubicadas en el dominio regional de interés en torno al Área Metropolitana de Guadalajara en percentiles de lluvia para cada año del periodo analizado, a partir de los rangos de variabilidad (varianza) y valores extremos (percentiles) de lluvia, para diversos plazos del periodo analizado (1950-2018); es decir, la función de probabilidad descrita en la **Sección 5.2. Peligro meteorológico**.

**FIGURA 36. PROBABILIDAD DE INUNDACIÓN A PARTIR DE LA INTEGRACIÓN DE PELIGRO METEOROLÓGICO Y VULNERABILIDAD FÍSICA, POR CUADRANTES DEL AMG**

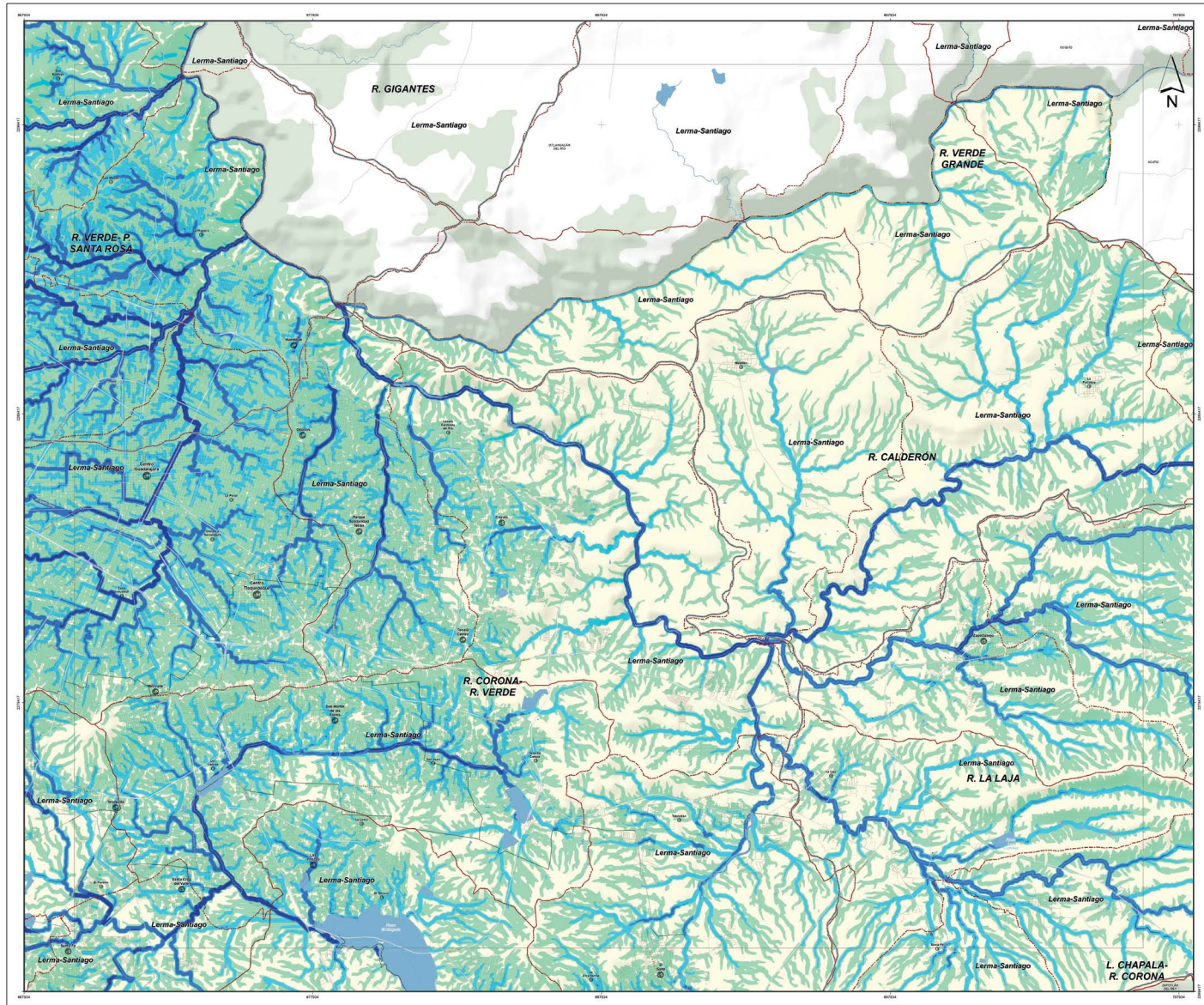
**CUADRANTE 1 (ZAPOPANY GUADALAJARA)**



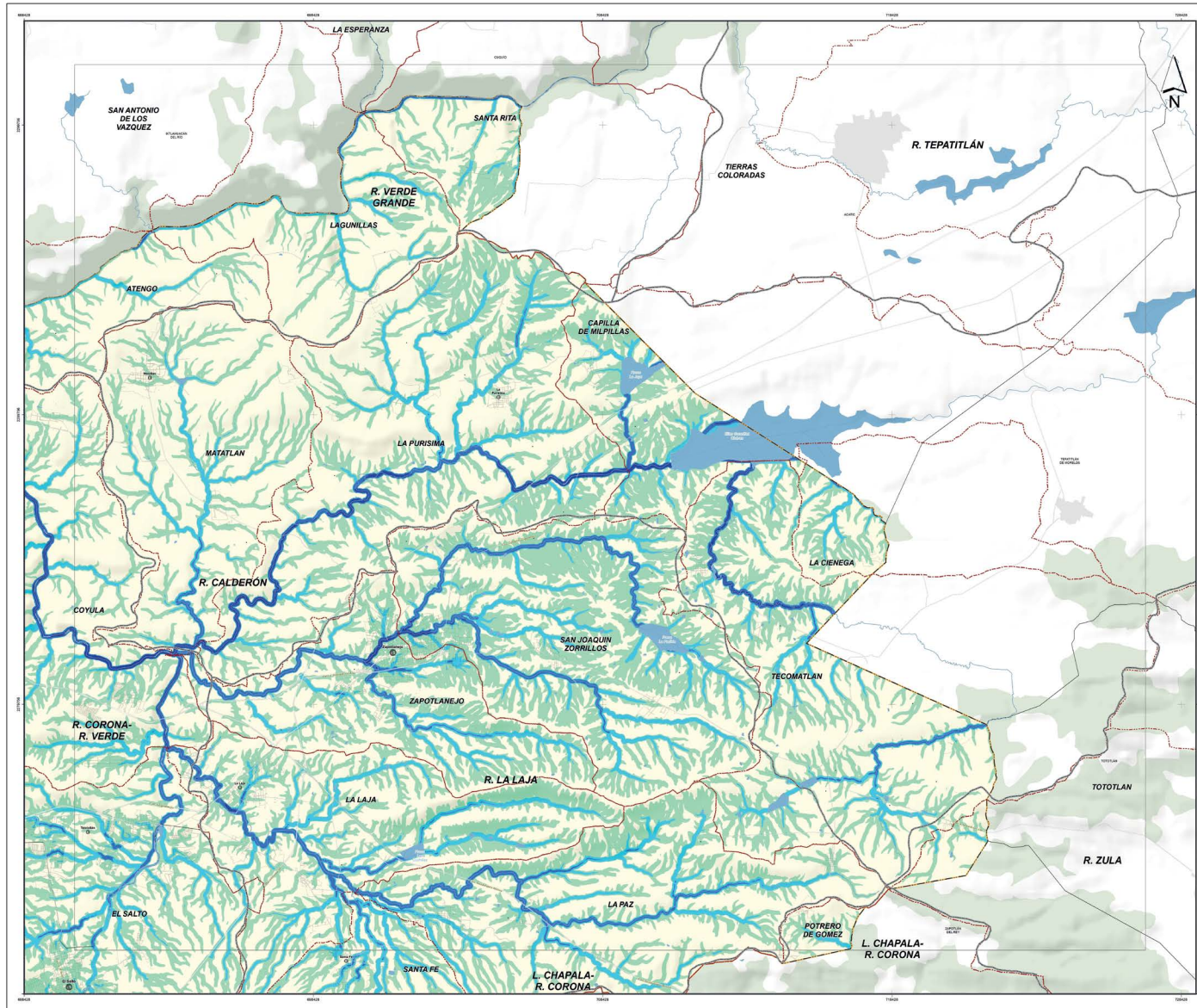
## CUADRANTE 2 (ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE)



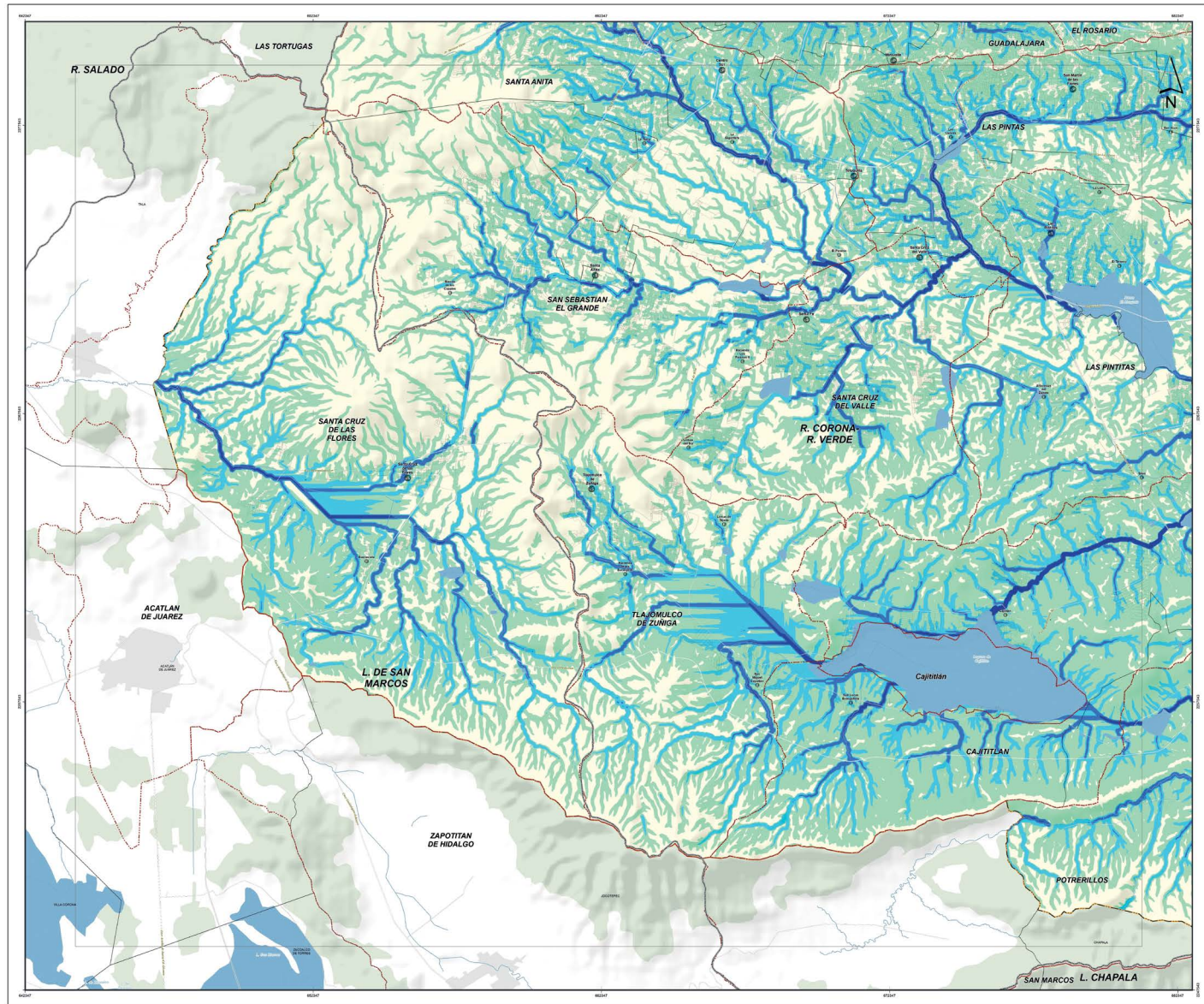
### CUADRANTE 3 (GUADALAJARA, TONALÁ, EL SALTO Y ZAPOTLANEJO)



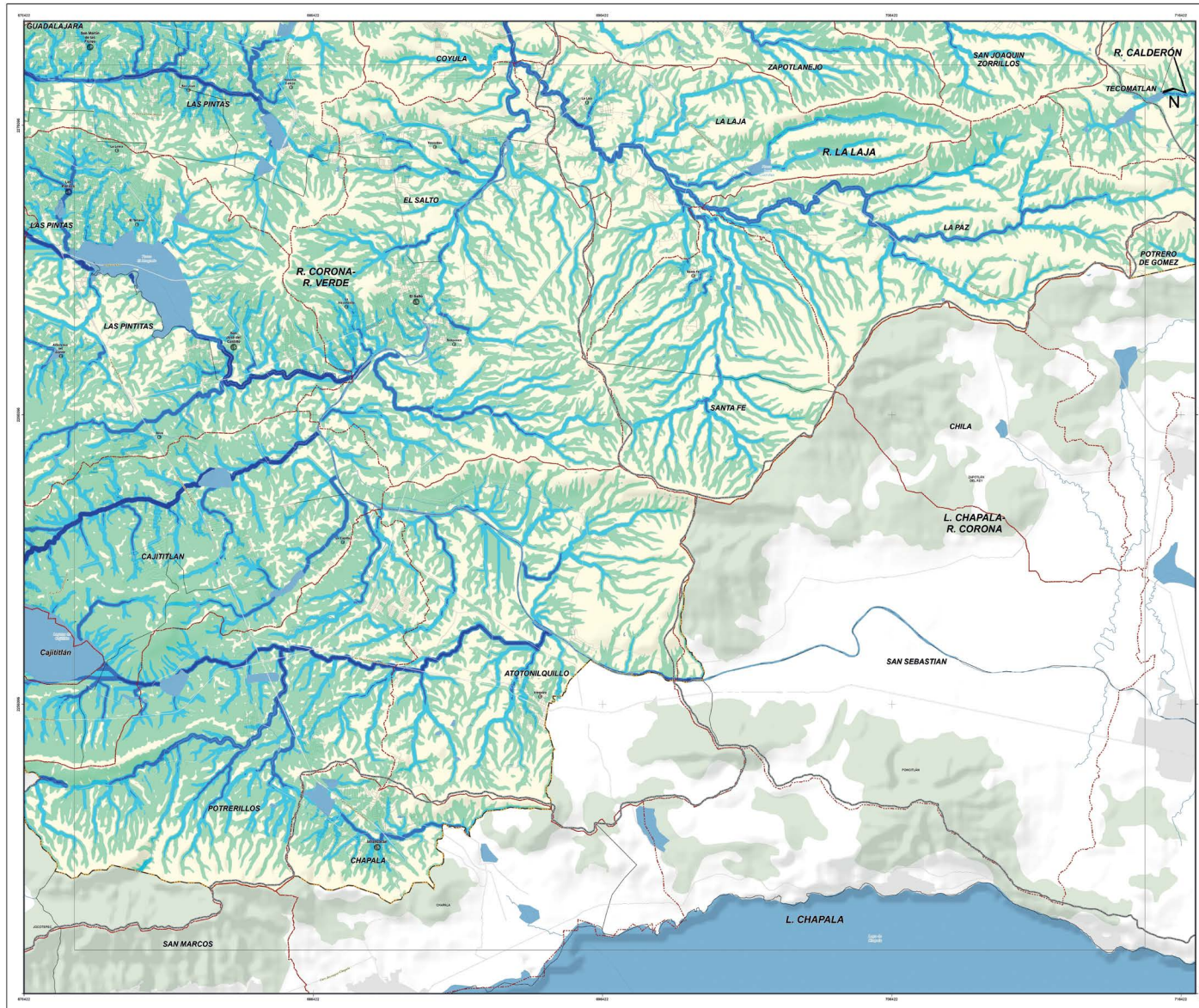
## CUADRANTE 4 (ZAPOTLANEJO Y EL SALTO)



## CUADRANTE 5 (GUADALAJARA, IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS Y TLAJOMULCO)




## CUADRANTE 6 (IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS, EL SALTO, JUANACATLÁN, TONALÁ Y ZAPOTLANEJO)



**Fuente:** elaboración propia con base en Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI, 5m escala 1:10,000; conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250 000. Serie II INEGI, y el Modelo Digital de Elevación ASTER con resolución nominal de 30 m METI/NASA.





La combinación de ambas capas (vulnerabilidad física -incluyendo la permeabilidad- y peligro por lluvias) se hace a partir de una suma ponderada  $(V*0.8)+(P90*0.2)$ .

Los resultados de la zonificación de la probabilidad de inundación se pueden integrar con otros insumos, de tal manera que puedan reflejar distintos aspectos del riesgo (por ejemplo, exposición) que tienen aplicaciones específicas en la planeación metropolitana, especialmente en el proceso clave 2. Prevenir el riesgo futuro y 4. Preparar la respuesta (ver **Sección 2.3. El diseño del Atlas orientado a procesos clave de gestión de riesgos**). En este sentido, la cartografía de probabilidad de inundación se utiliza como un insumo para la identificación de ámbitos territoriales o sociales de actuación directa por parte de actores específicos.

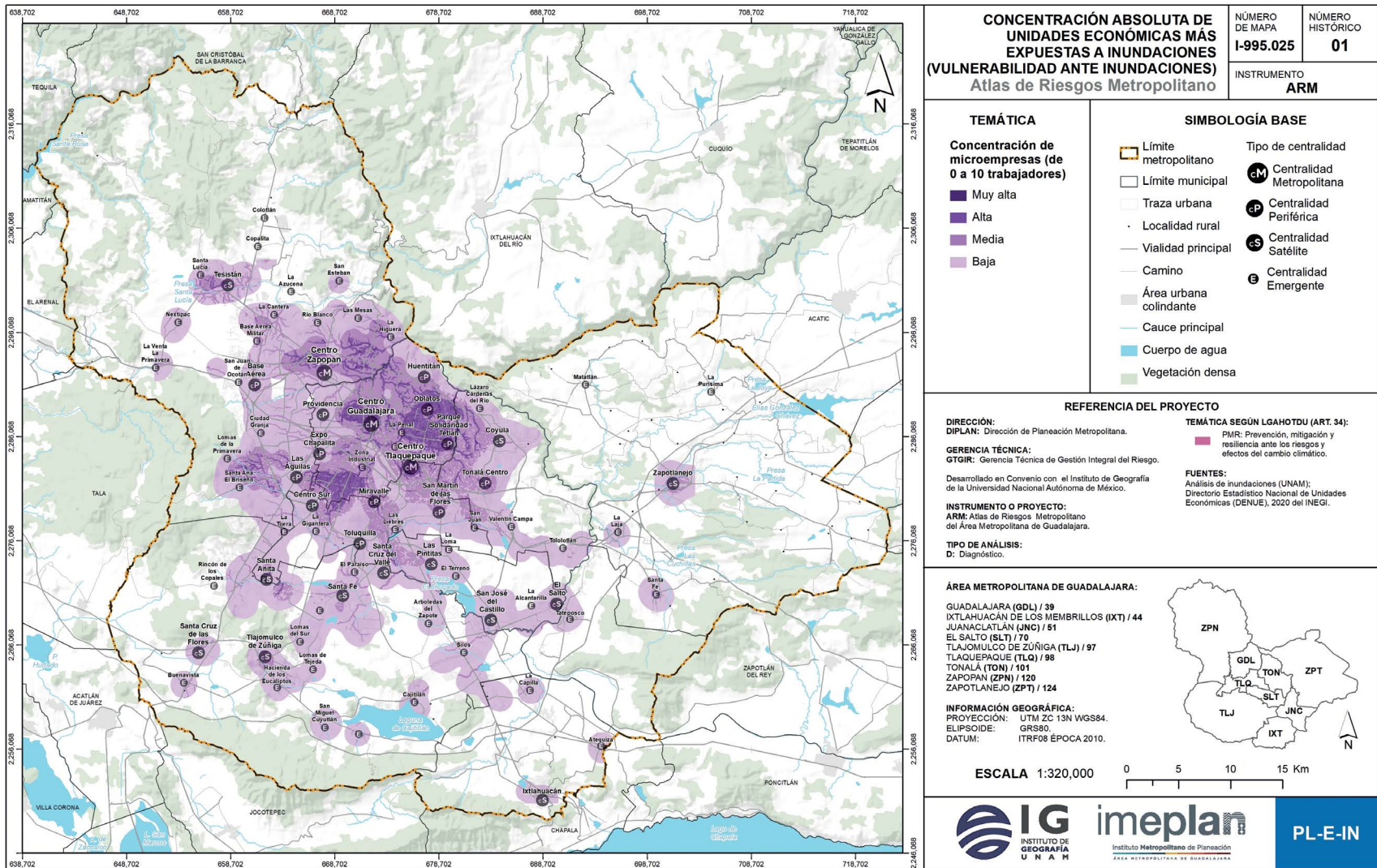
Un ejemplo de ello es el mapa de concentración absoluta de unidades económicas más expuestas a inundaciones, en el cual se muestran las zonas del AMG en las cuales hay una mayor cantidad de negocios de tamaño muy pequeño y su relación con las zonas de riesgo de inundación (**FIGURA 37**).

En el caso de este indicador, cuya construcción se describe detalladamente en la **Sección 4.4.2. Ajuste de indicadores de vulnerabilidad** se analiza la situación del conjunto de las unidades económicas más pequeñas (de 0 a 10 empleados), debido a que, en diversos estudios, se muestra que éstas tienen activos limitados y suelen tener mayores dificultades para recuperarse de daños y pérdidas ocasionados por eventos de inundación (Davlasheridze y Geylani, 2017; Wedawatta et al., 2014). Esto es importante, ya que no necesariamente se requiere un evento de inundación grande (o asociado a un peligro muy alto, por ejemplo, un evento de lluvia en el rango de percentil 95), para generar importantes afectaciones en este sector.

Para la composición del mapa, ambas capas (los cinco rangos de riesgo y los cinco rangos de densidad de micro establecimientos) se multiplican. El resultado se clasifica en 4 rangos a partir de la técnica de cortes naturales, resultando con ello las categorías bajo, medio, muy alto y alto.

Esta visualización es útil para conocer cómo están distribuidas las unidades económicas más susceptibles en el caso de una inundación, y poder dimensionar y planear la recuperación de este sector tras una emergencia o un desastre asociado a este tipo de eventos, por parte de actores gubernamentales y sociales encargados de atender las ramas de fomento económico y bienestar. Cabe señalar que el mapa de la **FIGURA 37** se asocia a una representación cartográfica digital en geovisualizador, lo cual permite consultar en una resolución a nivel de manzana la concentración en la zona urbanizada de este perfil de unidades económicas. Con este ejemplo, se muestra cómo la modelación metropolitana de probabilidades de inundación se traduce en una cartografía orientada a un proceso específico de gestión del riesgo (en este caso, en cuanto al proceso clave 2. Prevenir el riesgo futuro y 4. Preparar la respuesta).

**FIGURA 37. MAPA DE CONCENTRACIÓN ABSOLUTA DE UNIDADES ECONÓMICAS EXPUESTAS A INUNDACIONES**



## 5.5. CONCLUSIONES

La impermeabilización de zonas más amplias de las subcuencas del AMG ha incrementado los escurrimientos y la formación de ríos urbanos como los descritos. Así, cambios de uso de suelo, problemas del sistema de drenaje, y lluvias cada vez más intensas son los principales factores que explican las inundaciones en el AMG y su tendencia.

Como cualquier modelo, los de riesgo de inundaciones deben ser validados a partir de datos de impactos y desarrollos tecnológicos más detallados. El proceso consiste en contrastar los impactos registrados previamente, así como simular diversos eventos de lluvia, ya sea con información sintética u observada, y determinar las características de las inundaciones: lugar y momento de ocurrencia, extensión o dirección del flujo. No siempre se cuenta con información completa de este tipo de emergencias, sobre todo cuando se trata de eventos históricos; pero en el caso del AMG sí se tienen datos adecuados y gracias a ello se han desarrollado diagnósticos adecuados de riesgo.

La base de datos permite establecer por periodos (en este caso, décadas) cómo han cambiado peligro y vulnerabilidad física, y cómo una formulación de riesgo explica características espaciales y temporales de los eventos de inundación. El modelo de riesgo explica un porcentaje significativo de los impactos gracias a que la información sobre el peligro (precipitación) y la vulnerabilidad física y ambiental se ha trabajado aprovechando la mayor cantidad de información disponible (in situ y por percepción remota).

Un modelo adecuado de inundaciones puede ser utilizado con diversos fines; y, a esta escala, la más relevante es la planeación del desarrollo urbano y para algunos aspectos del diseño de sistemas de alerta temprana. Dado que en este trabajo se trabaja a una escala metropolitana, la información es útil para visualizar procesos de la región metropolitana. Ello implica que, si bien la información de esta zonificación de las probabilidades de inundación es útil para

la planeación de la infraestructura hidráulica necesaria, no sustituyen los estudios puntuales de alta resolución, que se requieren caso por caso para este tipo de aplicaciones.

Los desarrollos aquí presentados son resultados de esfuerzos académicos que convierten el conocimiento en un sistema aplicado para beneficio de la sociedad. Es claro que no siempre se logran modelos de riesgo que expliquen cada uno de los desastres ocurridos; pero la esencia de la gestión de riesgo consiste en tomar decisiones, aun cuando existe incertidumbre y contando con la mejor información disponible.

Una de las acciones de importancia para la gestión del riesgo, desde el punto de vista de la planeación metropolitana, incluiría recuperación de servicios ecosistémicos dentro y fuera del área urbanizada. Lo anterior puede implicar, por ejemplo, la implementación (y la consecuente priorización geográfica en el territorio del AMG) de medidas orientadas a incrementar la infiltración y retención del agua pluvial que escurre, de tal manera que pueda reducirse de manera sustantiva la escorrentía que fluye a las áreas identificadas. Un modelo de riesgo de inundaciones como el que se ha desarrollado para el AMG puede considerar los efectos de pequeñas obras en puntos clave, cuyo efecto reduce la probabilidad de inundación ante eventos de lluvia extrema.

Las propuestas de gestión de riesgo que surjan de un modelo de este tipo, no implican necesariamente acciones en el punto donde surgen los desastres, sino en zonas donde tiene su origen. Muchas de las lluvias intensas en el poniente del AMG terminan convirtiéndose en inundaciones en Guadalajara. Cambios en la forma en la que fluye el agua pluvial (río urbano) podrían reducir sus desbordamientos e inundaciones aguas abajo, actuando en las partes altas de la subcuenca, más que en la zona misma de la inundación. Un adecuado modelo de riesgo permitiría establecer en dónde es más adecuada la acción.

# Ideas fuerza del **CAPÍTULO 5**

Los componentes físicos del riesgo son el peligro (probabilidad en mediano y largo plazo de la ocurrencia de un evento que rebase los umbrales en donde el impacto negativo es significativo) y la **amenaza** (intensidad con la que se materializa el peligro a partir de una combinación de factores de vulnerabilidad física, la cual se estima con datos observados o un pronóstico de corto plazo).

La **exposición** refiere a cómo las personas, sus bienes y la infraestructura crítica se localiza en sitios y áreas donde las amenazas son **más intensas**.

Los **cambios en el peligro** (tendencias sobre la mayor o menor probabilidad de ocurrencia en umbrales de magnitud altos o muy altos, que generan impactos negativos significativos) son importantes para el diseño de medidas preventivas a mediano y largo plazo en el marco de la planeación urbana (proceso clave 2. Prevenir el riesgo futuro y 3. Reducir el riesgo existente). Por otro lado, los **modelos de amenaza** aportan conocimiento aplicable a la reducción del riesgo existente y al diseño del proceso clave 4. Preparar la respuesta.

El peligro meteorológico se deriva del cálculo y caracterización de los **eventos extremos de precipitación cambiantes (pronóstico cuantitativo de precipitación** en los percentiles 90 y 95). Esta caracterización se desprende del análisis de series de tiempo de datos de estaciones meteorológicas en una malla territorial, que permite estimar **valores y variabilidad en la distribución de la precipitación**.

La **amenaza de inundación considera diversos factores de vulnerabilidad física**, entre los que se cuenta la pendiente, la forma de la cuenca, el perfil topográfico, el tipo y densidad de la cobertura vegetal, los tipos de suelo, el nivel de impermeabilización de origen antrópico, así como la capacidad y tipo de infraestructura de desagüe y compensación de los servicios ecosistémicos hídricos perdidos.

El modelo de inundaciones se valida a partir de datos de impactos y de **simulación de algunos eventos de lluvia** con información observada, para identificar la capacidad de la zonificación de probabilidades de inundación.



# CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS


Los Atlas de Riesgos Metropolitanos tendrán a corto plazo una gran relevancia para los procesos de gestión de riesgo que se deben llevar a cabo en las áreas urbanas donde vive una gran parte de la población mexicana. En este libro, hemos presentado algunos de los elementos más importantes que hacen diferentes los Atlas de Riesgos Metropolitanos de otros tipos de atlas de riesgos que existen en nuestro país, sin embargo, varios de esos elementos son importantes para generar mejores atlas de riesgos particularmente en términos de focalización y aplicabilidad.

Una gran parte de los primeros tres capítulos se enfoca en dos procesos de focalización y segmentación necesarios para que un Atlas de Riesgos aumente su aplicabilidad y su comunicabilidad. El primero de estos procesos: la focalización se relaciona con la escala y objetivos del Atlas de Riesgos Metropolitano, entender las distintas tareas que se derivan de las facultades y atribuciones de los

actores metropolitanos en el marco de los seis procesos clave de gestión de riesgos. El segundo proceso, la segmentación, es el diseño del Atlas orientado hacia los diversos usuarios, de manera que las diversas herramientas que ofrece la cartografía puedan ser utilizadas para diseñar productos apropiados a las necesidades de las personas y del servicio público. Esta perspectiva es la que ha tenido un menor desarrollo en nuestro país, por lo cual consideramos que esta metodología aporta una visión novedosa, no sólo para el Área Metropolitana de Guadalajara, sino para otras áreas metropolitanas que desarrollen esta herramienta.

Sin embargo, este documento también aporta elementos distintivos para el análisis del riesgo y sus componentes. El peligro, amenaza, vulnerabilidades, exposición y capacidad son elementos de naturaleza multifactorial y dinámica; por ello, los últimos dos capítulos abordan estrategias para elaborar Atlas de Riesgos construidos de forma dinámica, de manera que los elementos de su modelación puedan ser





susceptibles de actualización constante a través de un flujo continuo y/o automatizado de información. También abordamos los elementos de vulnerabilidad social que, con una periodicidad más lenta de actualización, pueden actualizarse fácilmente a partir de generación de información oficial en diferentes escalas.

Es necesario reconocer que la complejidad del riesgo de desastres implica que cualquiera de los instrumentos utilizados en el ámbito público para reducirlo debe procurar una actualización y revisión permanente, a partir de las mejores prácticas de verificación y contraste. De la misma manera que no existe un método único para definir la vulnerabilidad, o incluso para modelar el propio riesgo, no hay una metodología única para hacer Atlas de Riesgos. Lo que proponemos en este trabajo son “cajas de herramientas” o **Componentes metodológicos**, que nos permiten, en cada caso, lograr el objetivo de generar instrumentos cada vez más dinámicos, precisos, accesibles y focalizados a las tareas de reducción de riesgos de desastre, con las bases de datos, herramientas científicas y estrategias de trabajo que están a nuestro alcance, en aproximaciones sucesivas.

Es por ello por lo que estas cajas de herramientas propuestas a lo largo de esta obra no deben considerarse como equivalentes a un documento de términos de referencia, o lineamientos oficiales. Los Atlas de Riesgos deben ser herramientas adaptables a cómo se manifiestan los diferentes tipos de peligros y amenazas, y también a los

actores sociales y usuarios en cada uno de los contextos metropolitanos que las desarrollen como parte de sus instrumentos de ordenamiento territorial. Un Atlas de Riesgos metropolitano orientado a la gestión del riesgo sísmico puede, por ejemplo, tomar diversas herramientas de las que hemos presentado en esta obra, y partir de sus mismos principios para incorporar el análisis del peligro sísmico, la amenaza y la vulnerabilidad física estructural, en diferentes salidas cartográficas focalizadas, orientadas a la solución de tareas específicas de gestión y ordenamiento del territorio.

Para concluir, es importante señalar que algunos aspectos importantes del análisis de riesgos no fueron tocados en esta metodología y que, sin duda, son parte de las líneas de trabajo necesarias en nuestro futuro metropolitano. Es decir, aunque en este trabajo el daño causado por inundaciones es central, no se consideraron las pérdidas probables esperadas, un aspecto que desde el punto de vista económico provee un elemento fundamental en la construcción de escenarios de riesgo. Aunque esto es más relevante para los Atlas nacionales y estatales que para los metropolitanos, por las atribuciones en materia de planeación financiera que se tienen a dichas escalas, no por ello resulta secundario reflexionar sobre la pertinencia de incluir en el futuro otras “cajas de herramientas” a esta metodología, que puedan mejorar las perspectivas y capacidades de los municipios y los órganos metropolitanos para considerar e incluir dichas pérdidas en sus procesos de gestión del territorio.



# GLOSARIO



## AMENAZA

Es una expresión activa (o materialización) del peligro, en un plazo corto. Refiere a un evento con una expresión geográfica y temporal específica, del cual se analiza su intensidad, y que puede desencadenar una situación de emergencia o desastre que involucre afectaciones directas o indirectas. Los valores de la amenaza usualmente se utilizan para diseñar acciones a corto plazo ante el riesgo (particularmente en los procesos clave 3. Reducir el riesgo existente y 4. Preparar la respuesta).

## CAPACIDAD

La combinación de todas las fortalezas, los atributos y los recursos disponibles dentro de una comunidad, sociedad u organización que pueden utilizarse para la consecución de los objetivos acordados. La capacidad puede incluir la infraestructura y los medios físicos, las instituciones y las habilidades de afrontamiento de la sociedad, al igual que el conocimiento humano, las destrezas y los atributos colectivos, tales como las relaciones sociales, el liderazgo y la gestión (UNDRR).

## CARTOGRAFÍA PROBABILÍSTICA

Producto que muestra la probabilidad de ocurrencia o excedencia de un determinado fenómeno (peligro) o daño (riesgo) en un periodo de tiempo. Siempre tiene un componente de incertidumbre y es un cálculo dinámico de varios escenarios. Suele representarse a través de mapas de propósito especial o de mapas temáticos cuantitativos continuos.

## CARTOGRAFÍA DETERMINÍSTICA

Producto que muestra el cálculo de las características de un fenómeno a partir de parámetros conocidos, bajo supuestos previos. No incluye el componente de incertidumbre; representa los fenómenos de manera estática y se construye a partir de un solo escenario. Suele representarse a través de mapas temáticos cuantitativos discretos o mapas cualitativos.

## ESCALA

Es el nivel lógico de observación y expresión de un fenómeno en el espacio geográfico. Se compone por la resolución (granularidad de los datos), la extensión (amplitud espacial que abarca el fenómeno geográfico), la agregación (unidades de agrupación de los datos disponibles) y las falacias (limitaciones en la inferencia espacial).

## EXPOSICIÓN

La población, las propiedades, los sistemas, u otros elementos presentes en las zonas, donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales.

## FOCALIZACIÓN

Es la identificación de los objetivos específicos que cumple un Atlas en una escala operacional específica (en este caso, metropolitana). Se define a partir de las facultades y atribuciones que tienen los distintos actores, a la luz de los seis procesos clave de gestión de riesgos

## INTENSIDAD

Medida cuantitativa de la manifestación de los fenómenos naturales en tiempos y espacios específicos, a partir de la combinación de diversos factores de vulnerabilidad física.







### **MAGNITUD**

Medida cuantitativa de la energía de origen de los fenómenos naturales.

### **MEDIDAS ESTRUCTURALES**

Cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas.

### **MEDIDAS NO ESTRUCTURALES**

Cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través del marco regulatorio, las políticas públicas, la capacitación y la educación.

### **PELIGRO**

Probabilidad de ocurrencia, analizada en una escala temporal de mediano y largo plazo, de que un fenómeno rebase los umbrales en donde el impacto negativo es significativo; es decir, una probabilidad de un evento de magnitud alta o extrema. Los valores de peligro usualmente se utilizan para diseñar acciones a mediano y largo plazo ante el riesgo, en los cuales se busca corregir las condiciones de vulnerabilidad física y social, aun cuando no esté ocurriendo el fenómeno que causa daño.

### **PREVENCIÓN**

Proceso encaminado a evitar impactos adversos, mediante diversas acciones que se toman con anticipación.

### **PROCESOS CLAVE DE GESTIÓN DE RIESGO**

Son los hitos o fases del proceso riesgo-desastre. Estos procesos inciden en la gestión reactiva (acciones tendientes a atender las emergencias en el momento en que éstas ocurren), gestión correctiva (acciones tendientes a reducir el riesgo ya existente) y

gestión prospectiva (acciones que se abocan a atender a la creación del riesgo futuro).

### **RIESGO**

En su sentido más general, es la probabilidad de daño. Esta probabilidad se calcula en función de la interacción de diferentes elementos, particularmente la amenaza (materialización de un peligro) a la cual están expuestos diferentes elementos sociales (personas, bienes e infraestructura crítica). Los tipos de vulnerabilidad (elementos físicos, ambientales y sociales) son los reguladores del daño, de manera que es posible reducir el riesgo (probabilidad de daño) incidiendo en los factores o procesos de vulnerabilidad.

### **SEGMENTACIÓN**

Es el proceso de diseño de productos cartográficos orientados a las necesidades y características de los diferentes usuarios, para que la información que el instrumento contiene sea adecuada a sus conocimientos, necesidades y atribuciones.

### **USUARIOS**

Son grupos de personas definidas a partir de sus diferentes perfiles e intereses, que comparten un conjunto de creencias, normas y principios que generan una base de valores para la acción social. Se definen particularmente a través de su área de competencia profesional, funciones y/o atribuciones (para el caso de actores cuyo eje es el servicio público), o bien, en términos de sus intereses y competencias informacionales y digitales (para el caso de comunidades y ciudadanos en general).

### **VULNERABILIDAD**

Susceptibilidad o propensión de un agente afectable, a partir de factores o procesos físicos, sociales, económicos o ambientales, que incrementan la susceptibilidad de una comunidad a sufrir daños o pérdidas ante la presencia de una amenaza.



# REFERENCIAS

- Aguilar, E., Peterson, T. C., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., Soley, J., García, I. G., Araujo, R. M., Santos, A. R., Valle, V. E., Brunet, M., Aguilar, L., Álvarez, L., Bautista, M., Castañón, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J. J., & Mayorga, R. (2005). "Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003". *Journal of Geophysical Research*, 110(D23), D23107. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1029/2005JD006119>
- Ansari, T. A., Katpatal, Y. B., & Rishma, C. (2020). "A Historical Review of Slope Based SCS Method and its Effect on CN and Runoff Potential Globally". Prepublicación. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.20944/preprints202010.0024.v1>
- Arteaga, A., & San Juan, G. (2012). "Metodología para obtener un índice de vulnerabilidad social. El caso del municipio de La Plata". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, . Núm. 16, pp. 129 a 137.
- Barrenechea, J., Gentile, E., González, S., & Natenzon, C. (2000). *Una propuesta metodológica para el estudio de la vulnerabilidad social en el marco de la teoría social del riesgo*. IV Jornadas de Sociología, Buenos Aires. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <http://test6.pirna.com.ar/files/pirna/PON-Barrenechea-Gentile-Gonzalez-Natenzon-Una%20propuesta%20metodologica%20para%20el%20estudio%20de%20la%20vulnerabilidad.pdf>
- Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Bulletin*. Núm. 24 (1), pp. 43 a 69. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Bollin, C., Cárdenas, C., Hahn, H., & Vatsa, K. (2003). "Disaster risk management by communities and local governments". (Inter-American Development Bank for the Regional Policy Dialogue). *Inter-American Development Bank*. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Disaster-Risk-Management-by-Communities-and-Local-Governments.pdf>
- Bollin, C., & Hidajat, R. (2006). "Community-based disaster risk index: Pilot implementation in Indonesia". En J. Birkmann (Ed.). *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies*. United Nations University, pp. 271 a 289.
- Brewer, C. A. (1994). "Color Use Guidelines for Mapping and Visualization". *Modern Cartography Series*. Vol. 2, pp. 123 a 147. Elsevier. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-042415-6.50014-4>
- Brewer, C. A. (2008). *Designed maps: A sourcebook for GIS users*. ESRI Press.
- Cairo, A. (2013). *The functional art: An introduction to information graphics and visualization*. New Riders.
- Cardoso, M. M. (2017). Estudio de la vulnerabilidad socio-ambiental a través de un índice sintético. Caso de distritos bajo riesgo de inundación: Santa Fe, Recreo y Monte Vera, Provincia de Santa Fe, Argentina. *Caderno de Geografía*. Vol. 27. Núm. 48, pp. 156 a 183. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2017v27n48p156>
- CENAPRED (2016). "Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos". *Diario Oficial de la Federación* Tomo DCCLIX, No. 15, 21 de diciembre de 2016, pp. 38 a 75.

- CONABIO. (2007). *Susceptibilidad a los incendios de la vegetación natural. Categorías de susceptibilidad a los incendios de las comunidades vegetales*. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <http://conabio.gob.mx/mapaservidor/incendios/modis/tablas2007/tablas2007/vegetacion.html>
- CONAGUA (2015). *PMPMS para usuarios urbanos de agua potable y saneamiento. Informe parcial*. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico. Consejo de Cuenca del Río Santiago. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99855/PMPMS\\_ZM\\_Guadalajara\\_Jal.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99855/PMPMS_ZM_Guadalajara_Jal.pdf)
- CONAPO (2016). *Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2015*. Consejo Nacional de Población.
- CONAPO (2018). *Sistema Urbano Nacional 2018*. Consejo Nacional de Población, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400771/SUN\\_2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400771/SUN_2018.pdf)
- Constantino, R., & Dávila, H. (2011). Una aproximación a la vulnerabilidad y la resiliencia ante eventos hidrometeorológicos extremos en México. *Política y Cultura*, 36, 15-44.
- Cressman, G. (1959). An Operational Objective Analysis System. *Monthly Weather Review*. Vol. 87, Núm. 10. Pp. 367 a 374.
- Curry, J. A., & Webster, P. J. (2011). "Climate science and the uncertainty monster". *Bulletin of the American Meteorological Society*. Núm. 92, pp. 1667 a 1682. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [doi:10.1175/BAMS-D-10-3139.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-10-3139.1)
- Cutter, S. L. (2003). "GIS Science, Disasters, and Emergency Management". *Transactions in GIS*, . Vol 7, Núm. 4, pp. 439 a 446. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00157>
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*. Vol 84, Núm. 2, pp. 242 a 261. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- Cutter, S. L., Emrich, C., Webb, J. , & Morath. (2009). *Social Vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature. Final report to Oxfam America*. Hazards and Vulnerability Research Institute, University of South Carolina. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.458.7614&rep=rep1&type=pdf>
- Davlasheridze, M., & Geylani, P. C. (2017). "Small Business vulnerability to floods and the effects of disaster loans". *Small Business Economics*. Vol. 49, Núm. 4, pp. 865 a 888. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1007/s11187-017-9859-5>
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S., & Roberts, S. (2004). *Quantifying social vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards*. Geoscience Australia.
- Emrich, C., Cutter, S. L., & Weschler, P. (2011). "GIS and Emergency Management". *The Sage handbook of GIS and society* . Sage. pp. 321 a 342.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*. Vol. 2, Núm. 1, 150066. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- García, N., Marín, R., & Méndez, K. (2021) [2014]. Vulnerabilidad social. En Ramos, V. (coord.) *Guía básica para elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social*. Edición electrónica. Secretaría de Gobernación: Centro Nacional de Prevención de Desastres, pp. 75 a 154. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/57.pdf>
- Gibson, C. C, Ostrom, E. & Ahn, T. K. (2000). "The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey". *Ecological Economics*, . Vol. 32. Núm. 2. Pp. 217 a 239. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00092-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00092-0)

- Golovanevsky, L. (2007). "Vulnerabilidad Social: Una Propuesta para su Medición en Argentina". *Revista de Economía y Estadística*. Vol. 45. Núm. 2. Pp. 53 a 94.
- Gould, M. (1994). "GIS Design: An Hermeneutic View". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 69. Núm. 9. Pp. 1105 a 1115.
- Guevara Ortiz, E. (2006). *Guía básica para elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica*. Secretaría de Gobernación: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=58&Itemid=215](http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=58&Itemid=215)
- Gutiérrez, H., Portilla, R., & Martínez, J. (2016). "El programa de desarrollo de las regiones del Estado de Jalisco (México), 1994-2013". En M. J. Mantulak Stachuk, J. C. Michalus Jusczyczyn, & N. C. Tañski (Eds.). *Hacia un desarrollo local y regional sostenible: Contribuciones desde la academia en la América Latina fraterna*. Editorial Universitaria, Universidad Nacional de Misiones. Pp. 253-278.
- Haas, P. M. (1992). "Introduction: Epistemic communities and international policy coordination". *International Organization*. Vol. 46. Núm 1, pp. 1. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1017/S0020818300001442>
- Jeer, S., & Bain, B. (2017). *Traditional color coding for land uses*. American Planning Association. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <http://www.gismanual.com/style/ColorConventions.pdf>
- IPCC. (2001). *Cambio climático 2001: Informe de síntesis*. R. T. Watson, Banco Mundial, et al (Eds.) Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR\\_syrfull\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR_syrfull_es.pdf)
- IPCC (2007). *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson (Eds). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kaztman, R. (2011). *Infancia en América Latina: Privaciones habitacionales y desarrollo de capital humano*. Montevideo: CEPAL, UNICEF. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3915/S2011778\\_es.pdf?sequence=1](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3915/S2011778_es.pdf?sequence=1)
- Kraak, M.-J. (2017). *Maps and the Sustainable Development Goals*. International Cartographic Association, University of Twente. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers\\_2017/pres/kraak\\_int\\_ppt.pdf](https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers_2017/pres/kraak_int_ppt.pdf)
- Krygier, J., & Wood, D. (2011). *Making maps: A visual guide to map design for GIS* (2º ed). Guilford Press.
- Lavell, A. (2010). *Gestión ambiental y Gestión del Riesgo de Desastre en el contexto del cambio climático: Una aproximación al desarrollo de un concepto y definición integral para dirigir la intervención a través de un Plan Nacional de Desarrollo*. Departamento Nacional de Planeación (DNP), Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, [https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/19838/GestionAmbiental\\_GRD%28Lave-ll\\_2010%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/19838/GestionAmbiental_GRD%28Lave-ll_2010%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Levontin, P. y Walton, L. (2020) *Visualising uncertainty. A short introduction*. Londres: Analysis Under Uncertainty for Decision Makers Network. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/80424/2/VUI\\_221219.pdf](https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/80424/2/VUI_221219.pdf)
- McKee, T., Doesken, N., & Kleist, J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales". *Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California*. Department of Atmospheric Science Colorado State University. Pp. 179 a 186. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS\\_Relationship\\_Drought\\_Frequency\\_Duration\\_Time\\_Scales\\_1993.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf)

- Maldonado, J., Rodríguez, J. M., & Llaguno, O. (2017). "Urban Growth Breaks with Natural Rainfall Run-Off Processes". *XV Seminario Iberoamericano de Redes de Agua y Drenaje, SEREA 2017*. Pp. 1 a 8. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.2139/ssrn.3112914>
- Magaña, V. (2013). *Guía Metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://mapserver.sgm.gob.mx/errorGobMx/404.html>
- Magaña, V., & Galván, L. M. (2010). "Detección y atribución de cambio climático a escala regional". *Realidad, datos y espacio*. Núm. 1, pp. 59-66.
- Medina, M. de la P., Olguín, M., Solorio, A. R., & Sansón, L. (2017). *Inventario de Atlas de Riesgos en México. Informe del Estado Actual*. Academia de Ingeniería México, Comisión Federal de Electricidad, Unión Mexicana de Asociaciones de Ingenieros. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [http://www.ai.org.mx/sites/default/files/atlas\\_riesgo.pdf](http://www.ai.org.mx/sites/default/files/atlas_riesgo.pdf)
- Moore, I. D., Norton, T. W., & Williams, J. E. (1993). "Modelling environmental heterogeneity in forested landscapes". *Journal of Hydrology*. Vol. 150. Núm. 2-4. Pp. 717-747. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90133-T](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90133-T)
- Narváez, L., Lavell, A., & Pérez Ortega, G. (2009). *La Gestión del Riesgo de Desastres: Un enfoque basado en procesos*. CEBEM. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [http://www.cebem.org/cmsfiles/publicaciones/gestion\\_riesgo\\_desastres.pdf](http://www.cebem.org/cmsfiles/publicaciones/gestion_riesgo_desastres.pdf)
- Natenzon, C. (2015). "Vulnerabilidad social, amenaza y riesgo frente al cambio climático". *Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Jefatura de Gabinete de Ministros, Presidencia de la Nación; Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación; Banco Mundial. Pp. 1 a 79.
- Oliver-Smith, A., Alcántara-Ayala, I., Burton, I., & Lavell, A. M. (2016). *Investigación Forense de Desastres. Un marco conceptual y guía para la investigación*. UNAM, Instituto de Geografía. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/71>
- Olson, J. M. (2015). "Color and cartography". M. S. Monmonier (Ed.), *The History of cartography*. University of Chicago Press. Vol. 6. Cartography in the twentieth century. Pp. 255 a 266. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://press.uchicago.edu/books/HOC/HOC\\_V6/HOC\\_VOLUME6\\_C.pdf](https://press.uchicago.edu/books/HOC/HOC_V6/HOC_VOLUME6_C.pdf)
- Olvera, J., Sara, C. A., Mancera, M., Reséndiz, H. D., & Chías, L. (2014). *Infraestructuras de datos espaciales y normatividad geográfica en México: Una perspectiva actual*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Marco de Acción de Sendai para la reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Organización de las Naciones Unidas. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf)
- Robinson, A. (1967). Psychological aspects of color in cartography. *International Yearbook of Cartography*. Vol. 7. Pp. 50 a 61.
- Rodríguez, E., González, R., Medina, M. P., Pardo, Y., & Santos, A. C. (2007). "Propuesta metodológica para la generación de mapas de inundación y clasificación de zonas de amenaza. Caso de estudio en la parte baja del Río Las Ceibas". *Avances en Recursos Hidráulicos*. Núm. 16. Pp. 65 a 78.
- Román, Y., Montoya, B., Gaxiola, S., & Montes de Oca, H. (2017). "Grados de vulnerabilidad social de los adultos mayores del Estado de México. Un estudio a nivel municipal". *XX Encontro Nacional de Estudos Populacionais*. Foz do Iguaçu, Brasil. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/viewFile/2462/2415>

- Ruiz, N. (2020). *Reporte de resultados de la Consulta Pública Digital #CuéntameTuRiesgo*. Instituto de Geografía, UNAM. Pp. 18. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://doi.org/10.14350/IN302919\\_1](https://doi.org/10.14350/IN302919_1)
- Ruiz, N., Casado, J. M., & Sánchez, M. T. (2014). "Los Atlas de Riesgo municipales en México como instrumentos de ordenamiento territorial". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. Núm. 88. Pp. 146-162. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/46476>
- Salas, M.A. (2011) [2021]. *Metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas*. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/203.pdf>
- Salas, M. A., & Jiménez, M. (2019). *Inundaciones*. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASC-CULOINUNDACIONES.PDF>
- Saldaña, J. (2009). *The coding manual for qualitative researchers*. Thousand Oaks, Ca.: SAGE
- SEDATU. (2017). *Términos de Referencia para la Elaboración del Atlas de Peligros y/o Riesgos 2017*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Subsecretaría de Ordenamiento Territorial. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [http://www1.cenapred.unam.mx/DIR\\_SERVICIOS\\_TECNICOS/SANI/PAT/2017/20%20trimestre/2362%20DI/10729/DS/06%20Junio/Revisi%C3%B3n%20T%C3%Aggrminos%20SEDATU/TR\\_AR\\_DGOTAZR\\_17-05-17.pdf](http://www1.cenapred.unam.mx/DIR_SERVICIOS_TECNICOS/SANI/PAT/2017/20%20trimestre/2362%20DI/10729/DS/06%20Junio/Revisi%C3%B3n%20T%C3%Aggrminos%20SEDATU/TR_AR_DGOTAZR_17-05-17.pdf)
- SEDATU. (2019). *Términos de referencia para la elaboración o actualización de planes o programas municipales de desarrollo urbano*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/451049/190404TdR\\_PMDU.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/451049/190404TdR_PMDU.pdf)
- Sheppard, E. S., & McMaster, R. B. (Eds.) (2004). *Scale and geographic inquiry: Nature, society, and method*. Blackwell Pub.
- Smelser, N. J., & Baltes, P. B. (Eds.) (2001). "Policy Knowledge: Epistemic Communities". *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Vol. 17. Pp. 11578 a 11586. Elsevier; Gale Virtual Reference Library. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <http://link.galegroup.com.pbidi.unam.mx:8080/apps/doc/CX3034002703/GVRL?u=unam&sid=GVRL&xid=e79e808b>
- Tate, E. (2012). "Social vulnerability indices: A comparative assessment using uncertainty and sensitivity analysis". *Natural Hazards*. Vol. 63. Núm. 2. Pp. 325 a 347. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0152-2>
- Thomas, J. E. (2013). "Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales en Manzanillo (Colima). Un aporte de método". *Investigaciones Geográficas*. Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 81. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.14350/rig.36383>
- Turner, M. G., Dale, V. H., & Gardner, R. H. (1989). "Predicting across scales: Theory development and testing". *Landscape Ecology*. Vol. Núm. 3. Pp. 245 a 252. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1007/BF00131542>
- Tyner, J. A. (2010). *Principles of map design*. Guilford Press.



- Unión Internacional de Arquitectos. (1977). *Código para la representación gráfica de los planes urbanísticos*. Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos, Grupo de Trabajo Ordenación, Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [cscae.com/images/stories/Noticias/Tecnica/Codigo\\_representacion\\_grafica\\_planes\\_urbanisticos.pdf](https://cscae.com/images/stories/Noticias/Tecnica/Codigo_representacion_grafica_planes_urbanisticos.pdf)
- UNISDR. (2004). *Vivir con el Riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*. Estrategia de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [preventionweb.net/files/657\\_lwrsp.pdf](https://preventionweb.net/files/657_lwrsp.pdf)
- UNISDR. (2015a) *Proposed Updated Terminology on Disaster Risk Reduction. A Technical Review*. Background Paper. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [unisdr.org/files/45462\\_backgroundpaperonterminologyaugust20.pdf](https://unisdr.org/files/45462_backgroundpaperonterminologyaugust20.pdf)
- UNISDR. (2015b). "Deterministic and probabilistic risk". *Disaster Risk Key Concept*. *PreventionWeb*. The Knowledge Platform for Disaster Risk Reduction. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://www.preventionweb.net/risk/deterministic-probabilistic-risk>
- Urban Renewal Administration. (1965). *Standard Land Use Coding Manual*. Urban Renewal Administration, Housing and Home Finance Agency, Department of Commerce. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de [https://books.google.com.mx/books?id=HXQdAQAAMAAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=HXQdAQAAMAAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Vargas, N., & Magaña, V. (2020). "Climatic risk in the Mexico City metropolitan area due to urbanization". *Urban Climate*. Vol. 33, 100644. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100644>
- Vinet, F. (2020). *Inundaciones 1. Conocimiento del riesgo*. Francia: ISTE International. Universidad Paul Valéry de Montpellier.
- Wedawatta, G., Ingirige, B., & Proverbs, D. (2014). "Small businesses and flood impacts: The case of the 2009 flood event in Cockermonth. SMEs and flood impacts." *Journal of Flood Risk Management*. Vol. 7. Núm. 1. Pp. 42 y 53. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://doi.org/10.1111/jfr3.12031>
- WSDOT. (2019). *Highway Runoff Manual*. Washington State Department of Transportation. Recuperado el 18 de septiembre de 2021, de <https://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M31-16/highwayrunoff.pdf>





Este libro se terminó de imprimir en el mes  
de junio de 2022 en Producciones Editoriales  
Nueva Visión México, Juan A. Mateos, No. 20,  
Col. Obrera México, CDMX. Para su composición  
se utilizaron las tipografía de las familias  
Univers LT Std y Fedra Sans Std.  
Diseño Editorial: Gabriela Badillo  
Cuidado de la edición Melissa Uribe  
bajo la coordinación de la  
Dra. Naxhelli Ruiz Rivera.  
Fotografías de portada por iStock®



ISBN 978-607-30-6087-5



9 786073 060875 >