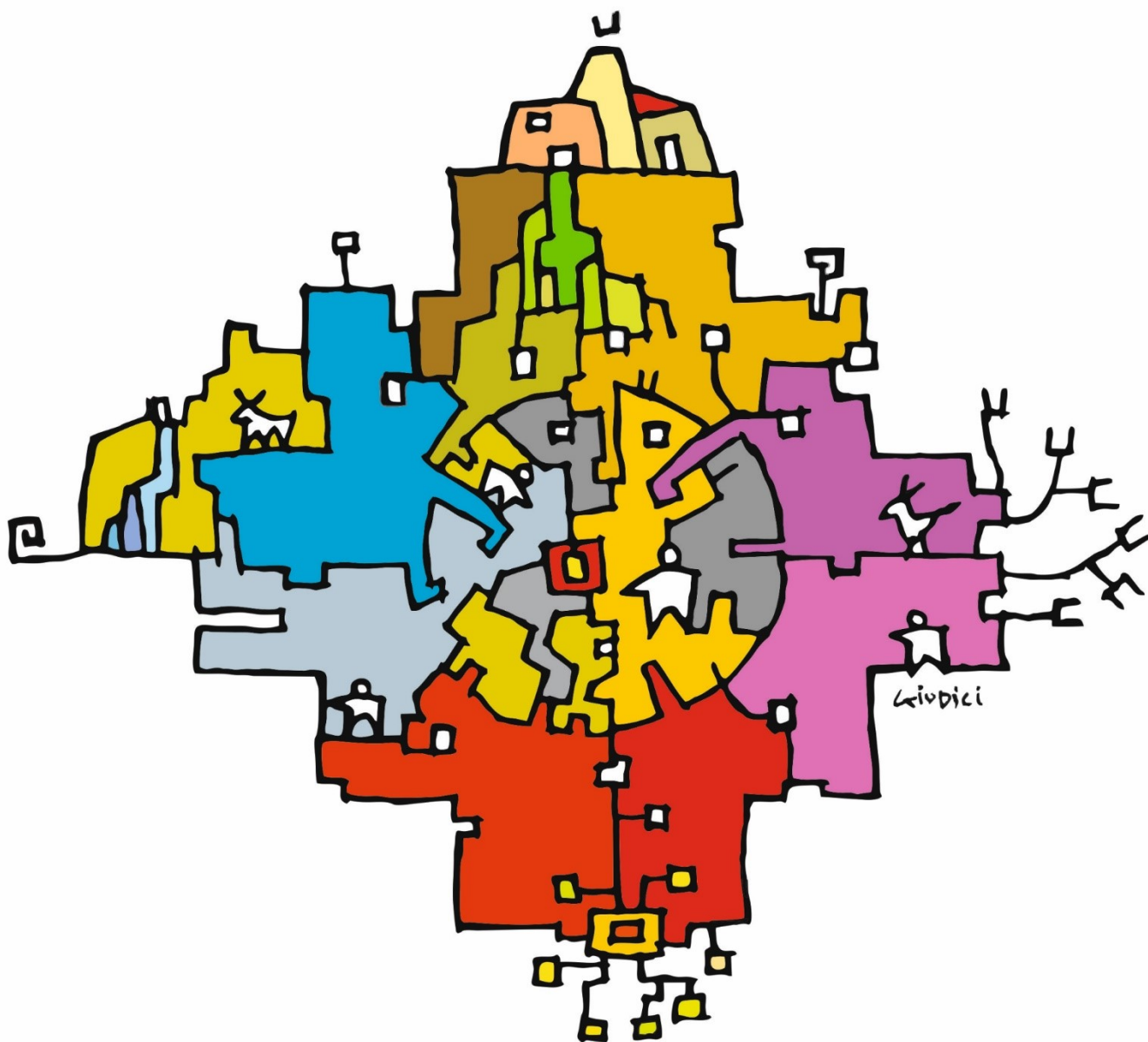




TESIS DE MAESTRÍA

**Evaluación de la Vulnerabilidad
Sísmica Urbana mediante la aplicación
de un Sistema de Información Geográfica.**
Caso de estudio: ciudad de Caucete.



Autora: Arq. Amelia Antonia Scognamillo

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero

Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

San Juan, 18 de Marzo de 2022



Universidad Nacional de San Juan
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño
Maestría en Arquitectura de Zonas Áridas y Sísmicas

TESIS DE MAESTRÍA

**Evaluación de la Vulnerabilidad
Sísmica Urbana mediante la aplicación
de un Sistema de Información Geográfica.
Caso de estudio: ciudad de Cauce.**



Autora: Arq. Amelia Antonia Scognamillo

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero

Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

San Juan, 2022

Universidad Nacional de San Juan

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño

Maestría en Arquitectura de Zonas Áridas y Sísmicas

Scognamillo, Amelia Antonia

Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica: caso de estudio: ciudad de Caucete / Amelia Antonia Scognamillo; ilustrado por Fernando Giudici; Celina Bustos. – 1a ed. – San Juan: Editorial UNSJ. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8395-43-2

1. Sismología. 2. Grupos Vulnerables. 3. Urbanismo. I. Giudici, Fernando, ilus. II. Bustos, Celina, ilus. III. Título.

CDD 526.0285

*Por haberme alentado a desafiar mis límites,
superar debilidades y alcanzar objetivos,
dedico esta tesis a mi maestro de vida*
Daisaku Ikeda.

Agradecimientos:



*“El volumen de las olas depende del viento que las provoca,
la altura de las llamas depende de la leña que alimenta al fuego,
el tamaño de los lotos depende del estanque en que crecen, y la
magnitud de las lluvias depende de los dragones que las hacen caer.
Cuanto más profundas son las raíces, más frondosas son las ramas.
Cuanto más lejana es la fuente, más largo es el curso de agua.”*

Nichiren Daishonin

Todos vivimos apoyados por una extraordinaria combinación de esfuerzos y consideraciones de innumerables personas, cuyo tesón y constancia sustentan y enriquecen nuestra vida cotidiana. Particularmente quisiera agradecer:

- ✓ *A mi familia Gustavo y Anetta, porque cada minuto que pasé trabajando en esta tesis fue tiempo no compartido y pese a ello supieron comprender y ser refugio.*
- ✓ *A mis amigas y mentoras Mirta y Graciela, por su calidez humana, su generosidad al compartir sus saberes, y su confianza sostenida para dirigir este trabajo.*
- ✓ *A mis compañeras y cómplices del IRPHa (Alci, Romi, Mary, Vale, Anita, Gaby y Gapy), por tantos hermosos momentos compartidos que dieron sustento a este trabajo.*
- ✓ *A Osvaldo (el viejo querido), quien supo abrirme un espacio en el camino de la investigación, ofreciéndome la posibilidad de seguir aprendiendo.*
- ✓ *A mi hermana Gaby por ser mi ejemplo de lucha y constancia incansable .*
- ✓ *Al Departamento de Posgrado de la FAUD y en su persona a Silvia, otra gran amiga que me alentó a concluir esta maestría y me brindó su incondicional apoyo. También a Jorge, Meli, Daniel, Carlos y Dina.*
- ✓ *A Fernando G. y Celina B. por haber llenado este trabajo, de manera desinteresada, de la belleza que sólo los artistas son capaces de ofrecernos.*
- ✓ *A Pompeyo, mi fiel compañero, quien supo permanecer a mis pies durante largas horas mientras escribía.*
- ✓ *A la UNSJ por haberme brindado la oportunidad y el privilegio de estudiar.*

y al universo por haberme conectado con tan maravillosos seres...

Resumen



Actualmente se concibe, en general, que los desastres son la materialización de determinadas condiciones de riesgo existentes. Estas condiciones dependen tanto de la posibilidad de que se produzcan eventos o fenómenos potencialmente dañinos, considerados como amenazas, como también de que existan situaciones de fragilidad o vulnerabilidad, sumados a una falta de capacidad de respuesta y recuperación de la comunidad expuesta, asociada a sus niveles de resiliencia. Cuando la conjunción de estas condiciones facilita la posibilidad de sufrir daños y/o pérdidas, y existe una evidente imposibilidad de afrontarlas ante la presencia de determinados fenómenos, estamos ante situaciones que favorecen el desastre.

La identificación y evaluación de los posibles riesgos a los que se exponen las ciudades y sus comunidades, en base a la realización de modelos o escenarios tanto en el espacio como en el tiempo, constituye una razón de primer orden para disminuir los posibles daños. Particularmente, se entiende que la vulnerabilidad debe relacionarse no solamente con la susceptibilidad física de los elementos expuestos y del contexto material a ser afectados, sino también con las fragilidades sociales y funcionales de los territorios involucrados. En este sentido, evidenciar los

grados de vulnerabilidad existentes en un área determinada, posibilita generar acciones para anticiparse a los efectos negativos ante la exposición a un evento (natural y/o antrópico). Esto se debe, fundamentalmente, a que es factible implementar estrategias de reducción (mitigación) sobre la vulnerabilidad, y no así sobre la modificación de los peligros o amenazas.

Haciendo énfasis en una mirada integral, y sin perder de vista las particularidades que pueden presentar los diferentes territorios, la presente tesis se orienta a generar un instrumento metodológico, con base en un SIG, de evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana. Para ello se incluirán variables relacionadas tanto a las características físicas de las construcciones, como a las condiciones socio habitacionales de los pobladores, incorporando además aspectos vinculados a la obsolescencia o falta de previsión de algunas infraestructuras, la accesibilidad o no a determinadas áreas, y la dotación de determinados servicios; factores que según una visión más amplia podrían incrementar la vulnerabilidad.

Mediante la implementación de un SIG, como herramienta de modelado y análisis dada su alta capacidad para la gestión y visualización espacial de datos, se pretende generar un instrumento que colabore y agilice la identificación de áreas urbanas, de diferente valoración en torno a sus vulnerabilidades frente a la amenaza sísmica, determinando sus distintos niveles a través de la visualización espacial dinámica proyectada en forma cartográfica.

Este modelo se aplicará como caso de estudio al área urbana de Caucete, dada la relevancia del departamento a nivel provincial, y la falta de conocimiento de los niveles de vulnerabilidad sísmica urbana que presenta actualmente esta área. Se espera generar un instrumento de fácil y rápida aplicación, que aporte al conocimiento del territorio como insumo para el diseño y aplicación de programas de mitigación del riesgo; factible de replicarse en contextos similares.

Abstract



It is conceived in these days those general disasters are the materialization of certain previous risk conditions. These conditions depend on the possibility that some potentially harmful phenomenon considered as a hazard may occur, but also that some situations of fragility and vulnerability exist, and therefore a lack of recovery and response capacity of the exposed community associated with their levels of resilience. When the conjunctions of these conditions facilitate the possibility of damages or loss, and there is a clear impossibility to face the presence of certain phenomenon, we are faced with situations that help the disaster.

The identification and evaluation of the possible risks that cities and their communities are exposed, based on the realization of models and scenarios in both space and time, constitute a primary reason to reduce the possible damages. Particularly, it is understood that vulnerability must be related not only with the physical susceptibility of the exposed elements and the material context to be affected, but also with the functional and social weakness of the involved areas. In this sense, to prove the existing levels of vulnerability in a specific area, makes it possible to generate actions to anticipate the negative effects against the exposure

of an event (natural or anthropic), since is feasible to implement reduction strategies (mitigation) on the vulnerability but not on the modification of dangers and hazards.

Placing emphasis on a comprehensive look and without losing sight of the particularities that each area may present, the present thesis project is oriented to generate a methodologic evaluation instrument of the urban seismic vulnerability that includes variables related to the physical characteristics of the structures and also with the social and housing conditions of the residents, also incorporating aspects related to the obsolescence or lack of foresight of some facilities, the accessibility or not to certain areas, and the provision of specific services; factors that according to a broader vision may increase the vulnerability.

Through the implementation of a Geographic Information System (GIS) as a modeling and analysis tool, given its high capacity for the spatial management and visualization of an unlimited number of data, it is intended to generate an instrument to assist and accelerate the identification of urban areas with different valuations regarding their vulnerabilities against the seismic hazard, determining its different levels through dynamic spatial visualization projected in cartographic model.

This model will apply as a case study the urban area of Cauce, given the relevance of the city at the provincial level, and the lack of knowledge of the urban seismic vulnerability levels of its area. It is expected to generate an instrument of easy and fast application, that provides knowledge of the territory as an input for the design and implementation of risk mitigation programs; feasible to be replicated in similar contexts.

Contenido



RESUMEN	6
ABSTRACT	8
1.Introducción.....	19
2.Planteo del problema.....	22
3.Objetivos	28
4.Organización del trabajo.....	30

CAPITULO I. EL RIESGO

1. El concepto de Riesgo	34
2. La Gestión del Riesgo	39
2.1 Análisis de los niveles de Riesgo	41
2.2 Técnicas de estimación del Riesgo Sísmico Urbano	47
2.3 La reducción del Riesgo.	54
SÍNTESIS.....	58

CAPITULO II. VULNERABILIDAD SÍSMICA

1. Introducción.....	63
2. La Amenaza Sísmica.....	66
2.1 Variables de la Amenaza Sísmica.....	68
3. La Vulnerabilidad Sísmica a escala urbana.....	70
3.1 Determinación de los componentes de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana.....	72
4. Modelo de Vulnerabilidad Sísmica Urbana	83
4.1 Construcción del modelo.	85
SÍNTESIS.....	91

CAPITULO III. LA VULNERABILIDAD EN AMBIENTES SIG

1. Introducción.....	95
1.1 El Riesgo en ambientes SIG	98
2. Arquitectura de los SIG	102
2.1 El modelo conceptual.....	103
2.2 El modelo lógico.	108
2.3 El modelo físico.....	115
SÍNTESIS.....	119

CAPITULO IV. APLICACIÓN DEL MODELO

1. Área de estudio	123
1.2 Cauçete y su historia	128
2. La vulnerabilidad sísmica de Cauçete a escala urbana.....	132
2.1 Delimitación del área de estudio.....	133

2.2 Fuentes de datos.....	138
2.3 Estudio de la amenaza sísmica en Cauce	141
2.4 Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana en Cauce	143
SÍNTESIS.....	149

CAPITULO V. CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

1. Introducción.....	153
2. Consideraciones Metodológicas.....	154
2.1. Consideraciones sobre ambientes SIG.	157
3. Consideraciones sobre los resultados.....	160
4. Consideraciones territoriales.....	164
CONCLUSIONES	167
BIBLIOGRAFÍA	169
ANEXO MAPAS	182

Listado de fotos

Foto 1 y 2: Daños en el Centro Cívico.

Foto 3: Daños en supermercado Vea.

Foto 4 y 5: Daños en viviendas.

Foto 6 y 7: Daños en ruta y escuelas.

Foto 8 y 9: Daños en Haití.

Foto 10 y 11: Daños en Chile.

Fotos 12 y 13: Imágenes luego del terremoto de 1977 en Caucete.

Fotos 14, 15 y 16: Imágenes luego del terremoto de 1977 en Caucete.

Fotos 17 y 18: Imágenes luego del terremoto de 1977 en Caucete.

Fotos 19 y 20: Imágenes luego del terremoto de 1977 en Caucete.

Listado de figuras

Figura 1: Responsable de actividad de relevamiento de la vulnerabilidad estructural, no estructural y social.

Figura 2: Áreas vulnerables por categorías.

Figura 3: Evolución del concepto de Riesgo.

Figura 4: Esquema del concepto de riesgo.

Figura 5: Esquema de la Gestión Integral del Riesgo.

Figura 6: Esquema de la metodología para el análisis del riesgo.

Figura 7: Esquema de clasificación de las amenazas.

Figura 8: Captura de pantalla del programa RADIUS.

Figura 9: Modelo HAZUS-MH y captura de pantalla del programa.

Figura 10: Organización y Matriz RISK-UE.

Figura 11: Subsistemas de evaluación del Riesgo según escalas y captura de pantalla del programa.

Figura 12: Modelo probabilista de CAPRA y captura de pantalla del programa.

Figura 13: Esquema de índice de riesgo – Fuente: Cardona (2001).

Figura 14: Metas de los ODS directa e indirectamente relacionadas con la gestión del riesgo de desastre.

Figura 15: Síntesis.

Figura 16a: Mapa de peligrosidad sísmica.

Figura 17: Variables de la amenaza sísmica.

Figura 18: Esquema de la vulnerabilidad sísmica a escala urbana.

Figura 19: Variables y dimensiones del componente físico-constructivo.

Figura 20: Variables y dimensiones del componente sociodemográfico.

Figura 21: Variables y dimensiones del componente Funcional.

Figura 22: Reagrupamiento de variables por niveles.

Figura 23: Síntesis de la EMC de la vulnerabilidad sísmica urbana.

Figura 24: Aspecto de un mapa generado con SYMAP.

Figura 25: Mapa computarizado de 1979 de peligro de licuefacción.

Figura 26: Esquema de la modelización en SIG.

Figura 27: Ejemplo de formato raster.

Figura 28: Ejemplo de formato vectorial.

Figura 29: Comparación del modelo lógico en formato raster y vectorial.

Figura 30: Captura de pantalla de visor de mapas de QGIS.

Figura 31: Captura de pantalla de tabla en QGIS.

Figura 32: Síntesis de la construcción del SIG.

Figura 33a: Ubicación de Cauce.

Figura 33b: Cauce y su geografía.

Figura 34: Área urbanizada de Cauce.

Figura 35: Zonificación del área urbana de Cauce.

Figura 36: Zonificación del área urbana de Cauce.

Figura 37: Límites de radios Censales.

Figura 38: Límites de barrios.

Figura 39: Planilla de relevamiento.

Figura 40: Ejemplo de ecuación N2 en SQL.

Listado de mapas

Mapa 1: Área de estudio según nivel de análisis

Mapa 2: Amenaza – Aceleración máxima del terreno

Mapa 3: Amenaza – Acción sobre la Vibración

Mapa 4: Amenaza – Áreas con potencial de licuefacción

Mapa 5: Índice de amenaza sísmica

Mapa 6: FC – Construcciones – Responsable

Mapa 7: FC – Construcciones – Material

Mapa 8: FC – Construcciones – Año de edificación

Mapa 9: FC – Construcciones – Densidad constructiva

Mapa 10: SD – Necesidades Básicas Insatisfechas

Mapa 11: SD – Densidad Poblacional

Mapa 12: FN – Destino – Uso

Mapa 13: FN – Destino – Función amenaza

Mapa 14: Vulnerabilidad Sísmica N2 (manzana)

Mapa 15: FC – Redes – Vulnerabilidad de la Red vial

Mapa 16: FN – Accesibilidad vial

Mapa 17: FN – Dotación de equipamiento

Mapa 18: FN – Destino – Espacio público

Mapa 19: FN – Conectividad por fragmento

Mapa 20: FN – Dotación de servicios esenciales

Mapa 21: FN – Dotación de equipamiento por fragmento

Mapa 22: FN – Destino – Espacio público por fragmento

Mapa 23: Vulnerabilidad Sísmica N1 (fragmento)

Mapa 24: Vulnerabilidad Sísmica N1 y N2

Mapa 25: Síntesis de Vulnerabilidad Sísmica Urbana

Listado de tablas

Tabla 1: Escala de medida para la designación de los juicios de valor (a_{ij}).

Tabla 2: Asignación de la importancia a cada par según el nivel espacial N2.

Tabla 3: Asignación de la importancia a cada par según el nivel espacial N2.

Tabla 4: Asignación de la importancia a cada par según el nivel espacial N1.

Tabla 5: Equivalentes numéricos de ponderación para la amenaza.

Tabla 6: Equivalentes numéricos de ponderación N2.

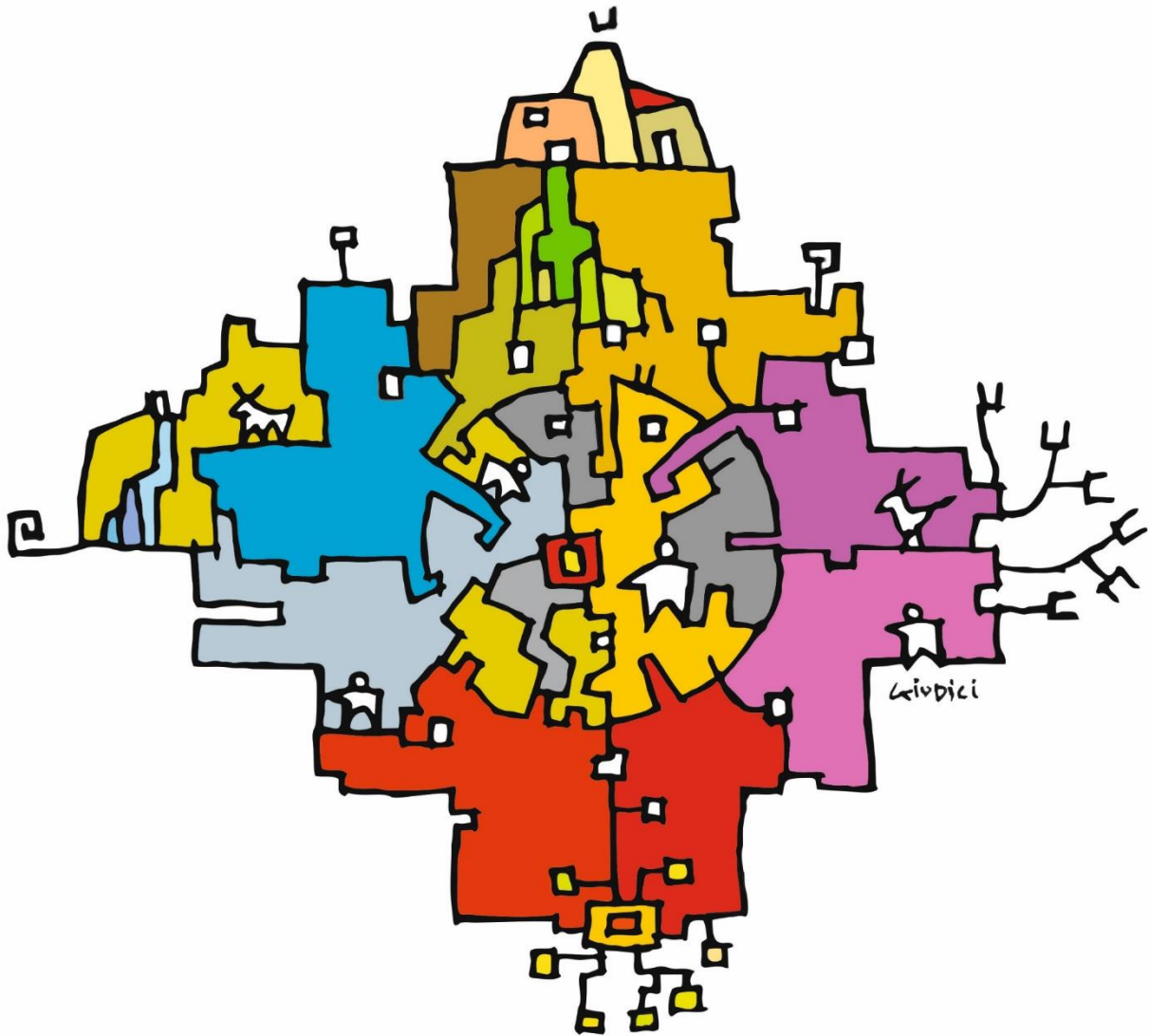
Tabla 7: Equivalentes numéricos de ponderación N1.

Tabla 8: Modelo vectorial de la amenaza sísmica.

Tabla 9: Modelo vectorial de la vulnerabilidad sísmica urbana N2.

Tabla 10: Modelo vectorial de la vulnerabilidad sísmica urbana N1.

Tabla 11: Codificación de los elementos.



“El conocimiento por sí solo no genera valor. El valor (...) sólo es creado cuando la sabiduría encauza y orienta los conocimientos. El origen de la sabiduría se encuentra en los siguientes elementos: un propósito claro que oriente cada uno de los actos; un poderoso sentido de la responsabilidad y, finalmente, un deseo compasivo y solidario de contribuir al bienestar de la humanidad.”

Daisaku Ikeda

01. *Introducción*

02. *Planteo del Problema*

03. *Objetivos*

04. *Organización del Trabajo*

1. Introducción



La Nueva Agenda Urbana aprobada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III)¹, representa un ideal común para lograr un futuro mejor y más sostenible, en el que todas las personas gocen de igualdad de derechos y de acceso a los beneficios y oportunidades que las ciudades pueden ofrecer. En este mismo contexto, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el Acuerdo de París y otros acuerdos internacionales y marcos mundiales para el desarrollo, entienden que las ciudades pueden ser fuente de soluciones a los problemas que enfrenta nuestro mundo, y no su causa. Comprendiendo así, que los procesos urbanos si están bien planificados y gestionados pueden ser un instrumento poderoso para lograr el desarrollo sostenible de las ciudades (Simón, 2016).

Alrededor del mundo, muchas ciudades son afectadas por eventos que causan numerosas pérdidas relacionadas directamente con el grado de exposición de una comunidad a una amenaza, los niveles de vulnerabilidad asociadas a la misma y

¹ Naciones Unidas – Nueva Agenda Urbana – Hábitat III. Disponible en <http://habitat3.org/wp-content/uploads/Brochure-Espa%C3%B1ol-Web-final.pdf>

la falta de resiliencia de sus habitantes para sobrellevar las consecuencias producto de la ocurrencia de un evento (Tavares Da Silva & Sabóia de Aquino, 2018).

Con el objeto de dar respuestas a varias de estas situaciones, especialmente el objetivo 11 de los ODS² del “Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo” orientado a “Ciudades y comunidades sostenibles” propone lograr que los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Establece además que se deben poner en práctica políticas de reducción y gestión de los riesgos de desastres, reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia y la capacidad de respuesta ante los peligros naturales y antropogénicos, y fomentar la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos.

En este sentido la identificación, evaluación y la visualización espacial de los niveles de riesgo de una comunidad, en función de las amenazas y vulnerabilidades asociadas, constituye una razón de primer orden para mitigar los efectos adversos probables ante la ocurrencia de un evento. Se considera indispensable identificar sus distintos niveles a través de la determinación de zonas o áreas de diferente valoración, de tal manera que sean insumo para el diseño y aplicación de programas de mitigación (Gil, 2017).

En este contexto, numerosos estudios apuntan a desarrollar instrumentos metodológicos basados en modelos matemáticos para la evaluación de la vulnerabilidad física de las edificaciones, así como la vulnerabilidad social de los núcleos urbanos (Tibaudiza y otros, 2015; Quiñonero Ródenas, 2017). No obstante, se considera necesario complementar estos estudios incorporando variables particulares de escala local relacionadas a la influencia que ejerce la obsolescencia o falta de previsión de algunas infraestructuras, la accesibilidad o no a determinadas áreas, y la dotación de determinados servicios; factores que según una visión más amplia podrían incrementar la vulnerabilidad (Bernal & Cardona, 2018).

Si bien existen modelos para guiar la toma de decisiones en la gestión de riesgos, ayudar a identificar zonas críticas de la ciudad y su vulnerabilidad desde diferentes disciplinas profesionales, que además consideran la exposición, las características socioeconómicas de las diferentes localidades (unidades) de la ciudad y su

² Objetivos de Desarrollo Sostenible – Disponibles en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

capacidad de resistir desastres o su grado de resiliencia; lo cierto es que se observa que utilizan en muchos casos técnicas analógicas en la producción de mapas de la distribución espacial y temporal de las amenazas y sus atributos (Massera, 2018).

Al respecto, es sabido que los SIG constituyen una avanzada herramienta que debe emplearse en este tipo de estudios, en los cuales se hace imprescindible la integración de una gran cantidad de información espacial y temática. Los SIG, permiten relacionar datos gráficos (planos de infraestructura, mapas urbanos, imágenes satelitales) con otros alfanuméricos (demográficos, geológicos, características de la edificación, etcétera) que pueden ser permanentemente actualizados, transformándose en una herramienta imprescindible que nos permite suponer un escenario, y obtener de manera inmediata sus consecuencias. La aplicación de estas tecnologías agiliza, sin duda, la visualización y representación espacial de diversas variables y permite la generación de análisis, geoprosesos y modelación de los datos de manera dinámica. Además, implementar estos sistemas puede ayudar en el avance, de forma más efectiva, de estudios relacionados a la gestión del riesgo (Camargo Salazar, 2018).

De esta manera se entiende que generar a través de una metodología simple, funcional y sistemática un recurso con base en la aplicación de un SIG para la estimación de la vulnerabilidad sísmica urbana agilizará, sin duda, la respuesta de los actores involucrados en el proceso de toma de decisiones y facilitará la gestión ante la constante evolución y cambios en el contexto territorial de las variables involucradas.

2. Planteo del problema



Una de las principales amenazas del ambiente natural de la provincia de San Juan es la amenaza sísmica, dadas las características geológicas existentes. Conforme a la clasificación el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES)³, más del 75% del territorio sanjuanino se encuentra en zonas de riesgo 3 y 4, donde se ubican zonas densamente pobladas. Esto se refleja en la cantidad de eventos de diversa intensidad y magnitud que se han producido a lo largo de la historia, y que causaron gran número de muertos y heridos, así como graves daños en construcciones, colapso de edificios, afectación de redes de infraestructura; y que sin duda puede repetirse en un futuro cercano (Peruca & Vargas, 2014).

Con el último terremoto ocurrido en la provincia, el 18 de enero de este año, se verificó un notable grado de seguridad sismorresistente en la ciudad de San Juan, pese a registrarse destrucción de viviendas en casos puntuales, determinados daños menores y no estructurales en algunos edificios (Centro cívico, Auditorio Juan Victoria⁴, tiendas comerciales y supermercados), y redes consideradas esenciales (cortes de luz por caída de transformadores y daños en la ruta 40). Lo

³ Instituto Nacional de Prevención Sísmica – INPRES – <https://www.inpres.gob.ar/desktop/>

⁴ Actualmente el Auditorio se encuentra clausurado hasta que se verifiquen los daños sufridos.

cierto es que en términos de pérdidas humanas se lamentaron menos de una decena de víctimas frente a un sismo de intensidad de grado VII y una magnitud de $M_w=6.46$ (ver Fotos 1, 2, y 3).



Foto 1 y 2: Daños en el Centro Cívico. Foto 3: Daños en supermercado Vea – Fuente: <https://www.diariodecuyo.com.ar>

Pero esta situación no se observó en los restantes asentamientos urbanos del interior de la provincia, y sus niveles de seguridad evidenciaron condiciones preocupantes. Particularmente, esta circunstancia se observó en los departamentos de Sarmiento, 25 de mayo y Pocito en los cuales se registraron centenares de pérdidas en términos de viviendas por el citado terremoto. En el departamento Rivadavia, en menor grado, también se registraron viviendas severamente dañadas. Actualmente y según datos oficiales la suma asciende a 3.000 viviendas aproximadamente en situación de inhabilitabilidad, lo que podría traducirse en más de 15.000 personas en situación emergencia (ver Fotos 4 y 5).



Foto 4 y 5: Daños en viviendas – Fuente: <https://www.diariodecuyo.com.ar>

Además, desde que ocurriera dicho evento se han establecido en esos departamentos daños estructurales en varias escuelas, estaciones de policía, perforaciones para extracción de agua, y establecimientos industriales, entre otras.

En las propias palabras de la directora ejecutiva del INPRES, Dra. Patricia Alvarado: "Lo que ha pasado con el sismo es un poco más de lo que podíamos decir el lunes a la noche en cuanto al impacto que tiene el terremoto", quien agregó "...uno toma la dimensión del problema porque a veces se habla de la gente sin vivienda y lo que uno ha visto es que las escuelas tienen daños, que el sector de turismo tiene daños, algunos accesos como una ruta tienen daños"⁵ (ver Fotos 6 y 7).



Foto 6 y 7: Daños en ruta y escuelas – Fuente: <https://www.diariodecuyo.com.ar>

Según los especialistas, es altamente probable que en la provincia se produzcan eventos sísmicos de magnitud similar o superior al mencionado, aunque no pueda precisarse o predecirse el momento de ocurrencia (Alvarado, 2017). Esto deriva de numerosos estudios realizados por el INPRES en los que se describen a través de informes técnicos la amenaza o peligro que condiciona a San Juan.

El imprevisto ocurrido recientemente y nivel de daños registrados puso en evidencia que, pese a haber transcurrido más de 44 años desde el último gran sismo registrado en la provincia y aunque se haya avanzado en términos de previsiones sismorresistentes, no se evidencia una previsión de mecanismos de respuesta rápida por parte de los organismos oficiales⁶.

Sin embargo, no podemos dejar de mencionar al respecto que la Dirección de Protección Civil de la Secretaría de Seguridad y Orden Público, dependiente del Ministerio de Gobierno, convocó a colaborar a diversos organismos para formular un plan de emergencia sísmica para San Juan en 2015. Pese a que el documento

⁵ Fuente: <https://www.diariodecuyo.com.ar> (22/01/2021).

⁶ Al respecto Mauricio Rodríguez, secretario de Obras del municipio de Pocito dijo "...nos asombra el impacto del sismo, estamos viendo familias que está durmiendo afuera por lo que a lo mejor el abordaje con mercadería no es suficiente, porque no tienen cocina, ni para bañarse" Fuente: <https://www.diariodecuyo.com.ar> (22/01/2021).

Particularmente entre sus actividades, hace referencia a la necesidad de “realizar el relevamiento de la vulnerabilidad estructural, no estructural y social” (ver Figura 1). Sin embargo, no existen hasta el momento trabajos vinculados a estimar la vulnerabilidad frente a esta amenaza en áreas no centrales de la provincia, lo que sin dudas conlleva a no tener una visión acabada del problema en función del análisis del riesgo.

Primarias(R) y de Apoyo (A). Las instituciones involucradas en la ejecución de acciones del Plan para el cumplimiento del objetivo:

[illegible]

Al respecto, podemos destacar que si bien el Plan de Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Juan (PLAM-SJ)⁷ identifica trece sectores caracterizados como de alta vulnerabilidad sísmica, sólo se limita al análisis en los

TESIS MAESTRÍA | 25

cinco departamentos que integran en área metropolitana de San Juan (ver Figura 2).

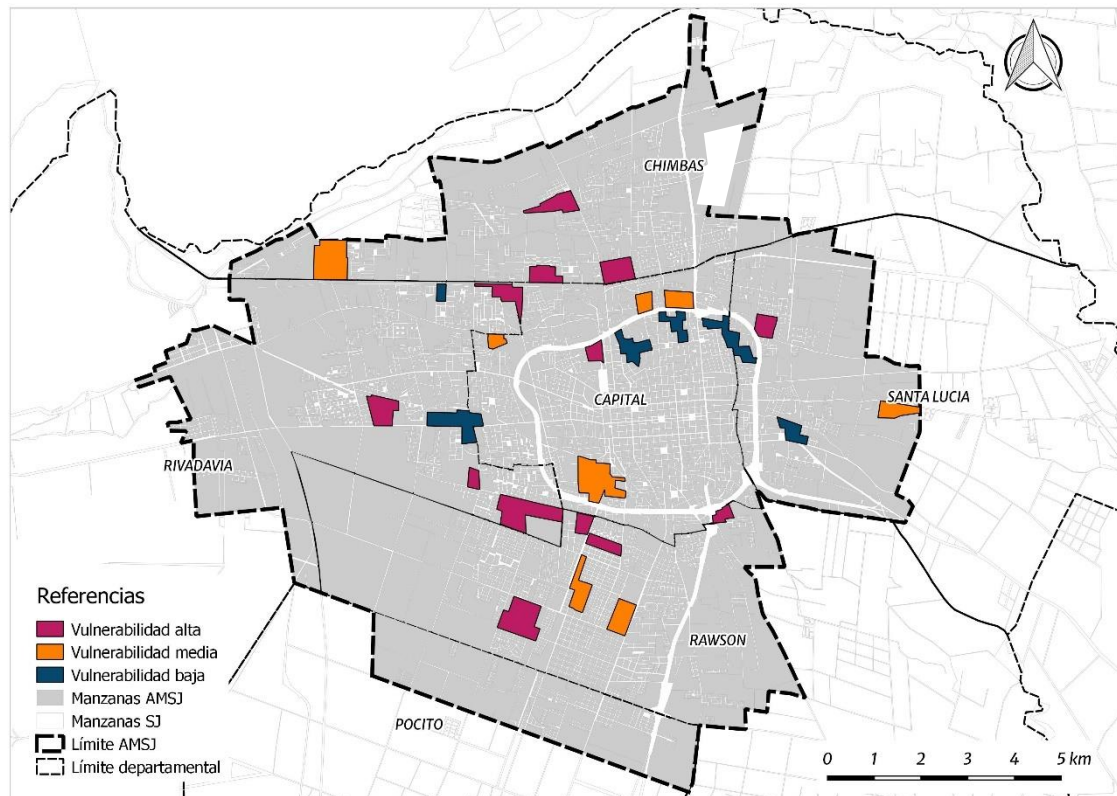


Figura 2: Áreas vulnerables por categorías – Fuente: elaboración propia (2020) en base a Plan de Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Juan (2013).

Por otro lado, las metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica a escala urbana se sustentan en la aplicación de modelos matemáticos, que determinan índices en función de las variables seleccionadas a través de diferentes escalas de valoración (Díaz Uribe & Ospina Higuera, 2017; Fernández, 2017). Sin embargo, en su mayoría orientan sus esfuerzos en estimar los efectos de futuros sismos en términos generales bajo técnicas poco flexibles y difíciles de adaptar a ciudades de mediana escala o intermedias. Además, estos modelos no siempre incluyen la componente de representación espacial como parte inherente al proceso de análisis, constituyendo además una versión temporal estática y no claramente referenciada de la situación.

En este sentido, podemos aseverar que implementar un SIG en la gestión del riesgo sísmico a escala urbana posibilita la generación de un sistema flexible del manejo de datos georreferenciados, para la evaluación de los niveles de vulnerabilidad de una determinada población.

Considerando que Caucete es un departamento de primera categoría, el segundo en orden de cantidad de población después de los que integran la denominada área metropolitana de la provincia (AMSJ), y que se encuentra en una zona de evidente amenaza sísmica; resulta indudable la necesidad de avanzar en estudios de esta temática. En tal caso se establece que estimar el grado de fragilidad a la que se encuentra expuesta frente a un futuro evento sísmico su área urbana y la población que en ella habita a través de una metodología adaptada a sus características particulares que evidencie sus niveles de vulnerabilidad implementando un SIG dinámico que agilice la operación y visualización espacial, puede aportar a una visión más comprensiva del fenómeno y contribuir a establecer medidas de mitigación y reducción del riesgo principalmente en los planes gestión de desarrollo a nivel local.

3. Objetivos



*Será entonces el **objetivo general** de esta tesis “generar una herramienta de evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica urbana mediante la aplicación de la geomática, aplicada al área construida del departamento de Cauce para establecer posibles criterios de mitigación”.*

*Para ello se plantean además los siguientes **objetivos específicos**:*

I.- Profundizar los enfoques teórico-metodológicos desde los que se aborda la problemática relacionada a la evaluación del riesgo sísmico urbano.

II.- Analizar los conceptos y métodos existentes relacionados con el modelado de la vulnerabilidad sísmica a escala urbana con la implementación de SIG.

III.- Proponer un modelo conceptual y lógico factible de ser traducido en un instrumento metodológico y aplicarlo al área urbana de Cauce para determinar la vulnerabilidad sísmica de la misma.

IV.- Crear un completo y fiable registro de datos georreferenciados, a partir de los datos aportados por organismos oficiales disponibles online y su verificación mediante relevamientos del sector.

V.- Diseñar los recursos necesarios que permitan visibilizar la vulnerabilidad sísmica en el área seleccionada.

VI. – Aportar lineamientos que contribuyan a establecer acciones de mitigación de los niveles de vulnerabilidad sísmica, orientados a la gestión de la obra pública y/o privada a nivel urbano.

4. Organización del trabajo



El trabajo se ha estructurado en cuatro capítulos y se inicia con la evolución del concepto de riesgo y una revisión de los términos más utilizados, con el propósito de dar un sustento teórico al planteamiento de esta tesis. Se describen los dos factores que mayormente influyen en su caracterización, es decir la peligrosidad la vulnerabilidad, y adicionalmente se abordan contenidos relacionados a estrategias de reducción y/o mitigación. Se concluye esta primera parte con una síntesis de las metodologías de mayor relevancia a nivel internacional, en la estimación del riesgo de desastres.

En el segundo capítulo se establece la propuesta metodológica basada en una evaluación multicriterio (EMC) a través de un proceso analítico jerárquico. Fundamentada en los enfoques teóricos de referencia, se incluyen aspectos relacionados a las características físicas de las construcciones y las infraestructuras, las condiciones sociodemográficas de los habitantes y del contexto, y las relaciones que se establecen entre ambas. A través de distintas variables y sus respectivos indicadores queda definido el modelo que se aplicará posteriormente.

El capítulo tercero hace referencia a la construcción de un Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta de modelado de la “vulnerabilidad sísmica urbana”. Se desarrollan secuencialmente las partes del sistema y se crea la base de datos geográfica (relacional y georrefenciada).

A partir de allí, se presenta en el capítulo cuarto la aplicación de la metodología en el área urbana del departamento Cauce, estimándose los actuales niveles de vulnerabilidad sísmica presentes en el sector.

Como aporte final de este trabajo, a nivel metodológico y a nivel territorial, se establecen algunas consideraciones y conclusiones generales, enmarcadas en la filosofía de priorizar políticas públicas que tiendan a la reducción de riesgos a partir de un conjunto de acciones dirigidas a intervenir fundamentalmente sobre la vulnerabilidad, por sobre otro conjunto de acciones que tienden a intervenir cuando ya ha ocurrido el desastre.

Por último, se incluyen como apéndices de este trabajo un listado de fotos y de figuras utilizadas (gráficos, tablas y mapas), como así también de la bibliografía de referencia.



... sin razón se queja del mar el que otra vez navega, sólo hay viento a favor para quien sabe hacia dónde va.

Sénecas

01. Capítulo / El Riesgo

1. *El concepto de Riesgo*

2. *La Gestión del Riesgo*

2.1. *Análisis de los niveles de Riesgo.*

2.2. *Técnicas de estimación del Riesgo Sísmico Urbano*

2.3. *La reducción del Riesgo*

Síntesis

CAPITULO I. EL RIESGO

1. El concepto de Riesgo



Diversas investigaciones sobre los desastres y los riesgos han producido un corpus de teorías y terminologías que actualmente presentan una amplia aceptación entre los diversos especialistas en esta temática, sin embargo, esto no siempre fue así. Al respecto podemos decir que los conceptos asociados al riesgo han ido variando a lo largo del tiempo, y que sus acepciones reflejan diversas miradas que han evolucionado a través de los años bajo influencia de diferentes disciplinas académicas (Herzer, 2015).

En un recorrido histórico, elaborado por el urbanista Andrew Marskrey (1998), nos encontramos que inicialmente las Ciencias Naturales dominaron las teorías relacionadas a los riesgos, favoreciendo la creencia de que por tratarse de fenómenos naturales no había casi nada por hacer; estos sucesos eran considerados inevitables, no previsibles y extremos. La semiótica de estas ideas está evidenciada por imágenes de fenómenos naturales imponentes e incontrolables, inclusive las explicaciones se abordaban desde un punto de vista metafísico considerando que estos eventos son hechos del destino o de la mala suerte, e incluso por causas sobrenaturales o divinas.

La concepción y análisis de este enfoque prácticamente lo asumieron los especialistas vinculados a estudios geodinámicos e hidrometeorológicos. El énfasis estaba dirigido hacia el conocimiento de las amenazas, y las investigaciones se centraban en la ubicación y distribución espacial de éstas, su frecuencia y periodicidad temporal, y su magnitud e intensidad.

Durante el inicio de la segunda mitad del Siglo XX, debido al desarrollo tecnológico, se desarrollaron herramientas que facilitaron la medición de los fenómenos naturales mediante sensores, incluso en tiempo real, que permitieron iniciar un camino de alertas o avisos anticipados de sucesos intensos. Pero a pesar del avance tecnológico, en la mayoría de los casos no era posible aun predecir con certeza y precisión la ocurrencia de un suceso futuro; amparados en esta circunstancia la ocurrencia de daños y pérdidas continuaban siendo consideradas como inevitables.

Ante esta situación varios especialistas comenzaron a promover el estudio del grado de exposición y la fragilidad o capacidad de los elementos expuestos para soportar la acción de los fenómenos. Paulatinamente se fueron incorporando miradas que involucraban el concepto de vulnerabilidad generando la necesidad de extender las tareas de investigación a un ámbito multidisciplinario, involucrando a otros profesionales tales como ingenieros, arquitectos, economistas y planificadores. Estas nuevas miradas ampliaron los abordajes de los diversos estudios y surgió la idea de que la intensidad de un desastre no está necesariamente en función de la magnitud de la amenaza, sino que se encuentra asociada a las pérdidas y daños potenciales producto de las condiciones particulares de la comunidad afectada.

Por su parte las Ciencias Aplicadas, a partir de los años 1970, postularon que para producirse un desastre tiene que haber un impacto negativo y medible en el territorio donde se manifiesta la amenaza. En este periodo se le dio especial importancia a los daños que podían sufrir los distintos elementos del sistema por la acción de un fenómeno externo; es decir que los impactos asociados con las amenazas empezaron a ser considerados como función entre la amenaza y la vulnerabilidad.

Si bien en este punto podemos decir que el enfoque de las Ciencias Naturales y las Aplicadas difería en el hecho de que las últimas se centraban en el impacto y efecto de los eventos asociados a las amenazas y no en el evento mismo, es preciso

subrayar que en ambas miradas la concreción de las amenazas sigue siendo la causa de los desastres. De esta manera el concepto de vulnerabilidad estaba limitado solamente a explicar el daño y las pérdidas.

Particularmente desde los '90 los investigadores de las Ciencias Sociales inician una etapa de crítica a los enfoques de las Ciencias Naturales y Aplicadas, en general planteaban que la vulnerabilidad tiene un carácter eminentemente social. Se postula que un desastre en realidad ocurre sólo cuando las pérdidas producidas por un suceso superan la capacidad de la población de soportarlas o cuando los efectos impiden que pueda recuperarse fácilmente. Desde esta perspectiva la vulnerabilidad está establecida de acuerdo con las condiciones políticas, sociales y económicas de la población.



Figura 3: Evolución del concepto de Riesgo – Fuente: elaboración propia (2020).

En síntesis, la mayoría de estos planteamientos hacen énfasis en el rol activo que las sociedades tienen en la construcción del riesgo y su poder de transformación; es decir que no se puede definir o medir sin hacer referencia a resiliencia o capacidad de esa sociedad de absorber, responder y recuperarse del impacto del suceso.

Un antecedente destacado de esta época es la conformación, en 1992, de la Red de Estudios Sociales para la Prevención de Desastres (La RED)⁸. Esta organización se crea para fortalecer las visiones sociales sobre desastres y favorecer la integración de los aportes provenientes de las ciencias básicas y las ciencias sociales. Entre las

⁸ <https://www.desenredando.org>

temáticas que se discutieron en el marco de esta red pueden citarse: la construcción del concepto de riesgo, su expresión territorial, las distintas escalas de daños experimentados a lo largo de la historia, los imaginarios manejados por los diferentes actores sociales, la generación de escenarios de riesgo y la gestión del riesgo como enfoque para la intervención (Lavell, 2011).

Hoy en día, y según la Secretaría de la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastre (UNDRR)⁹, el riesgo se define como la posibilidad de que se registren pérdidas de vidas, personas heridas, o activos dañados o destruidos en un sistema, sociedad o comunidad, en un período específico de tiempo, determinado probabilísticamente en función de la amenaza, la exposición a esta, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta. Por consiguiente, un desastre se produce cuando una situación o acontecimiento causa daño, destrucción y sufrimiento humano y supera la capacidad local de afrontar las consecuencias (ver Figura 4).



Figura 4: Esquema del concepto de riesgo – Fuente: elaboración propia (2020).

En el Marco de Acción de Hyogo 2005–2015 , (actualizado por el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030)¹⁰ se solicitó a la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastres (UNISDR) que

⁹ Por sus siglas en inglés: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (Anteriormente denominada UNISDR) <https://www.undrr.org>

¹⁰ Disponible en https://eird.org/americas/docs/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf

dedicará esfuerzos para “actualizar y divulgar ampliamente una terminología internacional normalizada sobre la reducción del riesgo de desastres, al menos en todos los idiomas oficiales de las Naciones Unidas, para que se utilice en la elaboración de programas y el desarrollo institucional, las operaciones, la investigación, los programas de formación y los programas de información pública”(UNISDR, 2009 – pág.01) ¹¹.

Bajo esta premisa la terminología propuesta determina las siguientes acepciones:

Amenaza: Peligro latente que representa la posible manifestación dentro de un período de tiempo y en un territorio particular de un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

Vulnerabilidad: Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.

Riesgo: La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas.

Desastre: Una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos.

Riesgo de desastres: Las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro.

Evaluación del riesgo: Una metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y los medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen.

¹¹ Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastres – UNISDR – Actualmente denominada UNDRR. <https://www.eird.org/americas/>

Mitigación: La disminución o la limitación de los impactos adversos de las amenazas y los desastres afines. A menudo, no se pueden prevenir en su totalidad todos los impactos adversos de las amenazas, pero se pueden disminuir considerablemente su escala y severidad mediante diversas estrategias y acciones.

Resiliencia: La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas.

Reducción del riesgo de desastres: El concepto y la práctica de reducir el riesgo de desastres mediante esfuerzos sistemáticos dirigidos al análisis y a la gestión de los factores causales de los desastres, lo que incluye la reducción del grado de exposición a las amenazas, la disminución de la vulnerabilidad de la población y la propiedad, una gestión sensata de los suelos y del medio ambiente, y el mejoramiento de la preparación ante los eventos adversos.

Gestión del riesgo: El enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales. La gestión del riesgo abarca la evaluación y el análisis del riesgo, al igual que la ejecución de estrategias y de acciones específicas para controlar, reducir y transferir el riesgo.

2. La Gestión del Riesgo

En la búsqueda de propuestas de intervención, que permitan actuar en la reducción de las probabilidades de futuros desastres, se han expresado diversas estrategias basadas principalmente en procesos de mitigación de vulnerabilidades preexistentes, promocionando acciones orientadas a transformaciones territoriales que impidan el desarrollo de nuevas condiciones de vulnerabilidad. El proceso a través del cual una sociedad influye positivamente en los niveles de riesgo a los que se encuentra expuesta, está captado en la idea de la Gestión del Riesgo. Esta idea se funda en base a una estrategia integral, cuyo objetivo final es minimizar el impacto económico y social ante la ocurrencia de determinados eventos, evitando que lleguen al punto de ser considerados desastres, por medio de la reducción de la vulnerabilidad de las comunidades al tiempo que se desarrollan capacidades de respuesta (Burga, 2015).

Una de las primeras aproximaciones a estas ideas las propone el geógrafo británico Allan Lavell¹², quien entiende a la Gestión Integral del Riesgo de Desastre (GIRD) como el proceso por el cual una sociedad toma conciencia de los niveles de riesgo que enfrenta, considera las opciones y prioridades que posee en términos de propiciar su reducción, considera los recursos disponibles para superar los posibles daños, diseña las estrategias e instrumentos necesarios para minimizar los efectos, toma la decisión de hacerlo, y finalmente implementa estas acciones. Establece, además, que llevar a cabo esta tarea implica que diversos actores se involucren, se disponga de recursos financieros y se asuma un compromiso social a través del diálogo permanente entre dichos actores (Lavell, 2011).

En términos generales hoy se entiende a la GIRD como un proceso multisectorial y dinámico cuyo fin último es la prevención, la reducción y el control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, así como la adecuada preparación y respuesta ante situaciones de emergencia, considerando las políticas públicas con especial énfasis en aquellas relativas a materia económica, ambiental, de seguridad, defensa nacional, y territorial de manera sostenible (Barcena, 2020). Partiendo de una visión holística y de un posicionamiento sistémico-relacional, la gestión del riesgo incluye dimensiones sociales, políticas, económicas y ambientales, que trascienden la esfera local producto de la incidencia de la globalización, el sistema económico mundial, la desigualdad social y los tratados socioeconómicos.

Actualmente, a escala global, la preocupación por la gestión del riesgo en el abordaje del territorio comienza a entenderse como un constructo social concebido desde una perspectiva que nace de la relación sociedad – medio ambiente. Desde esta perspectiva la gestión de riesgo, entendida como el proceso eficiente de planificación, organización, dirección y control dirigido a la reducción de riesgos, el manejo de desastres y la recuperación ante eventos ya ocurridos, se ha transformado en un tema de importancia en los últimos años tanto para las agencias internacionales como para los gobiernos nacionales y locales (Campos y otros, 2015; Acurio Verdesoto, 2019).

Diversas experiencias evidencian que todo proceso orientado a gestionar el riesgo de manera integral debe basarse al menos en cinco pilares fundamentales o etapas

¹² Coordinador para América Central y el Caribe de La RED desde 1992 a la fecha.

para su abordaje y que se desarrollan en tres instancias temporales (antes, durante, después de un evento). En general estos pilares se basan en: I) decisión política, previsión financiera y de recursos, II) análisis de los niveles de riesgos a los que se encuentra expuesto un territorio, III) estrategias de mitigación/reducción de dichos riesgos IV) preparación frente al evento, y V) instancias para la recuperación resiliente (ver Figura 5).



Figura 5: Esquema de la Gestión Integral del Riesgo – Fuente: elaboración propia (2020).

Si bien se entiende que la GIRD es un concepto que implica la participación de diversos actores e incluye distintas instancias operativas, en la presente tesis abordaremos este proceso desde un recorte disciplinar orientado a abordar algunos de los parámetros referidos a la etapa II.

2.1 Análisis de los niveles de Riesgo

En líneas generales el Análisis del Riesgo se asocia a la estimación de posibles daños, pérdidas y consecuencias que pueden ocasionarse a raíz de la ocurrencia de uno o varios fenómenos. En tal sentido es un proceso que debe incluir distintos momentos o pasos que se deben seguir y que engloba los procesos orientados a la obtención del conocimiento suficiente y necesario para definir y caracterizar tanto a la amenaza como los elementos vulnerables, en función de la interacción entre ambos.

Operativamente, según la Comisión Económica América Latina y el Caribe (CEPAL) en su publicación *Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos*¹³, los procedimientos más frecuentemente utilizados para el análisis del riesgo, particularmente cuando se encuentra vinculado a amenazas originadas por fenómenos naturales, consisten en evaluar tanto la amenaza como la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Según el proyecto DIPECHO¹⁴ de la UNDRR en el que se establecen cinco herramientas para la Gestión del Riesgo de Desastres, y destinado principalmente a los gobiernos locales e instituciones de la sociedad civil, este proceso es la base para iniciar acciones orientadas a gestionarlo y reducirlo, y se nutre de varios momentos o pasos como se muestran en el siguiente gráfico (ver Figura 6).

Particularmente, dentro del denominado Análisis del Riesgo Técnico, centraremos esta tesis en las etapas de estudio de la amenaza y evaluación de la vulnerabilidad, con el objeto de establecer un aporte metodológico orientado a evidenciar espacialmente los distintos niveles de vulnerabilidad a los que se encuentra sometido un territorio. Sin embargo, se considera oportuno aclarar que, si bien la tesis se centra en dos etapas del análisis del riesgo técnico solo a fines analíticos, en la práctica el denominado análisis comunitario debe considerarse como factor fundamental que enriquece la mirada técnica.

2.1.1 Estudio de la Amenaza

Un peligro o amenaza queda definido como la probabilidad de ocurrencia de un evento natural o inducido por el ser humano, potencialmente dañino para una sociedad, que actúa en un periodo específico de tiempo y en una localidad o área determinada. De acuerdo con la Terminología Sobre Reducción del Riesgo de Desastres publicada por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastre, la “amenaza es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual

¹³ IDB-TN-792. (2010) <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=35160024>

¹⁴ PROYECTO DIPECHO: Fortaleciendo capacidades de sistemas subnacionales de gestión del riesgo y desarrollando la resiliencia de comunidades vulnerables a desastres.

que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales” (UNISDR, 2009 – pág. 05).

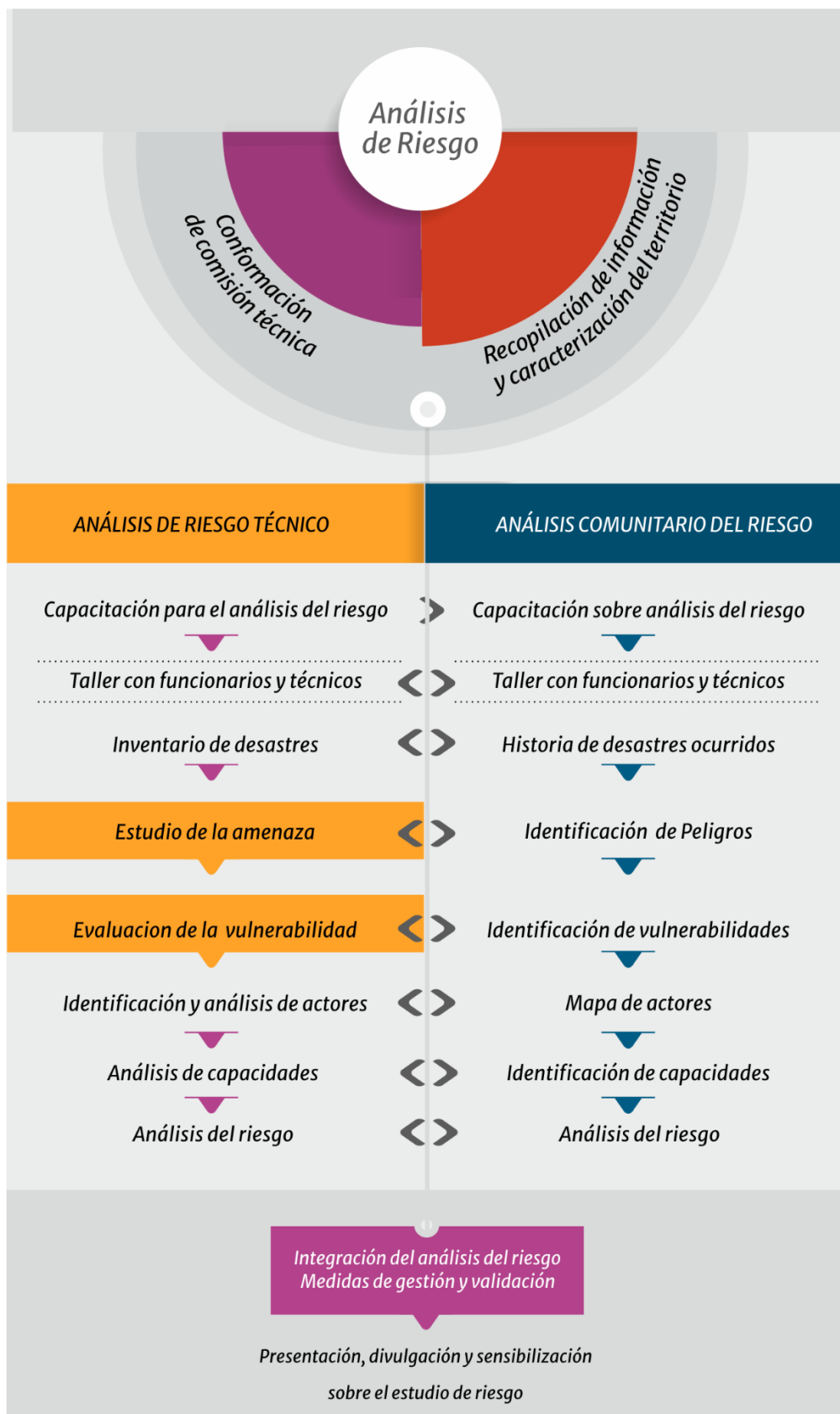


Figura 6: Esquema de la metodología para el análisis del riesgo – Fuente: elaboración propia (2020) en base a DIPECHO (2012).

Identificar y evaluar los peligros, conlleva a conocer la forma en que se originan, el sector del territorio en el que se manifiestan, cuál es su comportamiento, cuáles sus características, niveles de magnitud e intensidad que pueden llegar a tener, probabilidad y frecuencia con que ocurren y el impacto que producen. En síntesis, claramente se establece que evaluar una amenaza implica comprender el fenómeno, basándose en el estudio de sus mecanismos de origen, su comportamiento y el registro histórico de sus eventos.

La variedad de amenazas que potencialmente enfrenta la sociedad es muy amplia y tiende a aumentar constantemente. Según sea su clasificación de origen, las amenazas con el potencial de afectar y causar daños en un territorio pueden clasificarse en: a) naturales – originadas por dinámicas geológicas, geomórficas, atmosféricas y oceanográficas propias del planeta (por ejemplo sismos, deslizamientos de tierra, huracanes y tsunamis); b) socio naturales – vinculadas a la interacción o relación de la naturaleza frente a la acción humana o prácticas sociales (inundación, deslizamiento y sequía, la deforestación, cambios en los patrones de uso del suelo, entre otros); y c) antrópicas contaminantes o tecnológicas (explosiones, conflagraciones, derrames de materiales tóxicos, contaminación de aire, tierra y agua por productos industriales etcétera). En el siguiente esquema se establece una síntesis de clasificación de las distintas amenazas en función de la integración de diversos autores (ver Figura 7).

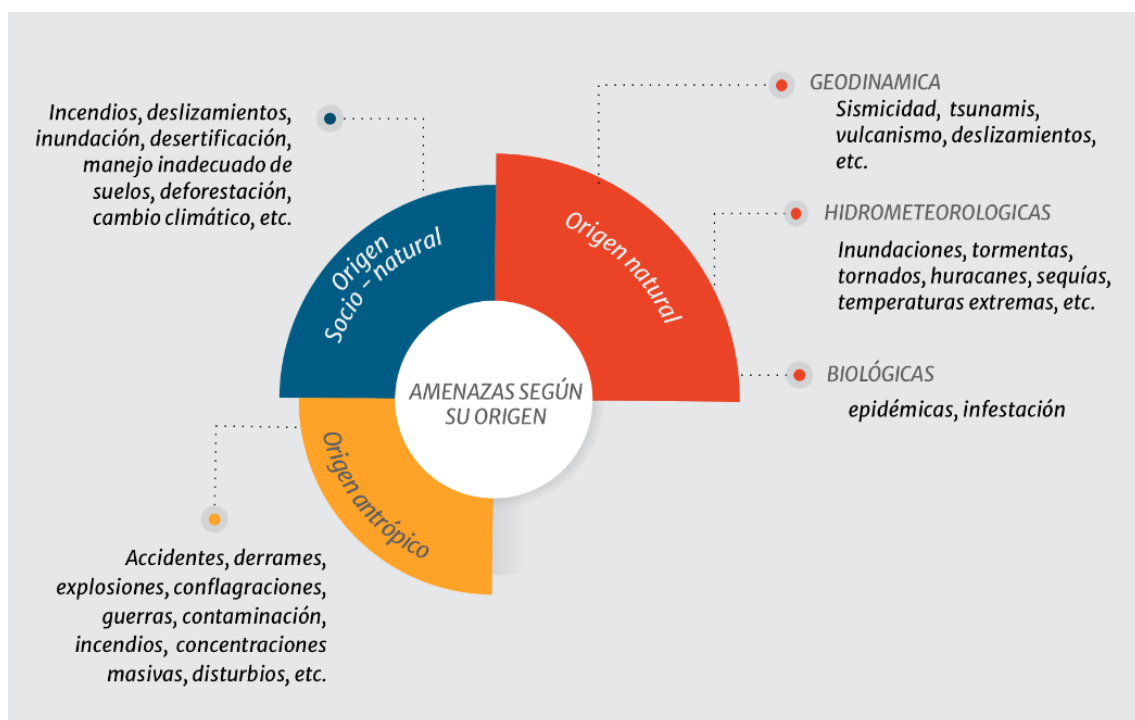


Figura 7: Esquema de clasificación de las amenazas – Fuente: elaboración propia (2020) en base a Campos y otros (2015); Gil (2017); Barcena, (2020).

Más allá de las múltiples clasificaciones y fenómenos que dan origen a una amenaza, quienes abordan estas temáticas coinciden en que este concepto es un constructo social en función de su potencial acción negativa sobre algún componente de la sociedad; es decir que un supuesto evento, por intenso que pueda llegar a presentarse, constituye una amenaza solo si afecta en términos de daños y pérdidas a un territorio (Cardona, 2001; Massera, 2018).

Particularmente la amenaza sísmica en términos conceptuales representa la probabilidad de ocurrencia, dentro de un período específico de tiempo y un área dada, de un movimiento sísmico del terreno (aceleración del suelo) de una cierta severidad.

En la evolución de los estudios sobre el origen de los sismos, a mediados de los años 50 se concluyó que éstos eran el resultado de la interacción de grandes placas tectónicas que se desplazan sobre las capas más superficiales del planeta y que generan ocasionales liberaciones de energía. La rotura iniciada en el foco y su propagación a varios kilómetros de profundidad (a la proyección del foco en superficie se denomina “epicentro”), genera ondas capaces de perturbar masas de agua u otros cuerpos por un largo período de vibración generando posibles daños. Actualmente existen dos parámetros para medir tal movimiento sísmico, una de ellas se refiere a sus efectos sobre la población, sus bienes, viviendas, edificios públicos y obras de infraestructura; se denomina intensidad y se mide en una escala que va desde el grado I al grado XII (Mercalli Modificada). La segunda establece la magnitud del fenómeno y se mide en la Escala de Richter e indica la energía liberada por el sismo. (Camargo, 2018).

Más allá de sus tecnicismos lo cierto es que la ocurrencia de un evento sísmico se puede dar en cualquier momento y hasta ahora se hace imposible predecir el momento y/o lugar exacto en el que sucederá. Sin embargo y como veremos más adelante es posible estimar sus niveles de amenaza en función de algunas características propias y del territorio en el que se producen.

2.1.2 Evaluación de la Vulnerabilidad

El término vulnerable puede expresarse como la posibilidad de ser afectado por alguna circunstancia. En particular, vinculado al marco conceptual de la GIRD, este

término se refiere la susceptibilidad de una comunidad de sufrir daños y/o pérdidas por la acción de un peligro o amenaza.

El Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (UNDESA)¹⁵ ofrece la siguiente definición del concepto vulnerabilidad: “(...) En esencia, la vulnerabilidad puede definirse como un estado de elevada exposición a determinados riesgos e incertidumbres, combinado con una capacidad disminuida para protegerse o defenderse de ellos y hacer frente a sus consecuencias negativas. La vulnerabilidad existe en todos los niveles y dimensiones de la sociedad y es parte integrante de la condición humana, por lo que afecta tanto a cada persona como a la sociedad en su totalidad”. (Naciones Unidas, 2003– pág. 8)

Podemos decir que este término representa una condición de debilidad frente al peligro, y define qué tan severamente las entidades expuestas de un territorio pueden ser afectadas dado un nivel específico de amenaza. Esta fragilidad es el resultado de la combinación de acciones en términos de: uso y aplicación de tecnologías y/o técnicas inadecuadas; la ausencia o el incumplimiento de normas constructivas; la baja capacidad económica de las sociedades; la percepción del riesgo por parte de la población en general y/o las autoridades en particular; la no adopción de medidas para enfrentar las amenazas cuando existe exposición; la débil organización de la población; la ausencia de planes de contingencia o emergencia; etcétera.

La vulnerabilidad es por lo tanto un parámetro que establece la relación entre la población y las condiciones determinadas por los factores o procesos sociales, económicos y ambientales, los cuales aumentan la susceptibilidad de una comunidad o ente expuesto al impacto de los peligros. Según sean los elementos expuestos al peligro, hay varias clases de vulnerabilidad: física (ambiente constructivo y ambiente natural o tecnológico), social (incluye los niveles de educación, infraestructura de salud, la existencia de seguridad, acceso a los derechos humanos básicos, sistemas de gobierno, equidad social, valores tradicionales, costumbres y creencia ideológica, sistemas de organización colectiva, etcétera), económica (caracterizada por los sectores menos

¹⁵ Por sus siglas en inglés: United Nations Department of Economic and Social Affairs – UNDESA
<https://www.un.org/en/desa>

privilegiados), ambiental (degradación de la naturaleza y sus recursos), entre otras (UNISDR, 2009).

2.2 Técnicas de estimación del Riesgo Sísmico Urbano

En la búsqueda de una visión holística y un enfoque sistémico-relacional en la gestión del riesgo, existen renovadas preocupaciones para que la construcción de modelos metodológicos para el análisis del riesgo, particularmente relacionado con la amenaza sísmica a escala urbana, incluya y evalúe diversos elementos y sus interrelaciones, constituyendo en la actualidad un importante desafío. Es por ello que la selección y/o el diseño de instrumentos específicos resulta necesaria tanto para delinear planes de prevención y mitigación del riesgo en función de la vulnerabilidad que se presenta, como para alcanzar un desarrollo territorial más equitativo, inclusivo y sustentable (Bello y otros, 2020).

Numerosas investigaciones elaboran propuestas para analizar los riesgos desagregando, en diferentes niveles y escalas, tanto la amenaza como la vulnerabilidad en diversos componentes incidentes. Ello hace necesaria la construcción de metodologías que no sólo identifiquen los elementos que componen cada una de las dimensiones de análisis, sino que además establezcan el alto grado de interrelación que existe entre los componentes intervinientes, y así estimar la incidencia de unas sobre otras. Estos análisis deben reconocer el carácter dinámico del comportamiento de los elementos tanto en el espacio como en el tiempo.

Actualmente vemos como se han realizado incontables esfuerzos para caracterizar los niveles de riesgo a los que están sometidas algunas ciudades, desarrollándose metodologías y programas que permiten evaluar y medir el riesgo producto de eventos sísmicos. En términos generales a nivel internacional existen diversos proyectos que dan origen y sustento a muchas de las metodologías que actualmente se aplican. Podemos destacar algunos ejemplos como RADIUS y HAZUS (desarrollados en Estados Unidos), RISK-UE y SERGISAI (desarrollados a nivel europeo); y por último CAPRA (desarrollado inicialmente a nivel de América Latina).

El proyecto RADIUS¹⁶, una iniciativa en la década del 90 de la UNDRR, fue concebido para promover actividades mundiales orientadas a la reducción del riesgo sísmico urbano, particularmente en los países en desarrollo, con el objeto de ayudar a aumentar la conciencia pública. El programa utiliza información de la ciudad comúnmente disponible y relacionada principalmente a: la geometría de la región de estudio (ingresada como una cuadrícula), la población y su distribución espacial, un inventario de edificios y su ubicación, las características del suelo, información de las líneas consideradas vitales (red de agua potable) y la elección de parámetros de un escenario de terremoto.

Este método emplea además el instrumento de categorización y evaluación propuesto en el ATC-13¹⁷ el cual, a partir de juicio de expertos, formula matrices de probabilidad de daño de edificios expuestos en función de las diferentes estructuras. La matriz clasificada a las construcciones en 78 tipos según las propiedades y características de la ingeniería sísmica, y en 35 clases según su función social. Este proyecto se ejecuta a través de un programa gratuito que puede ser descargado en la página oficial de la UNDRR (ver Figura 8).

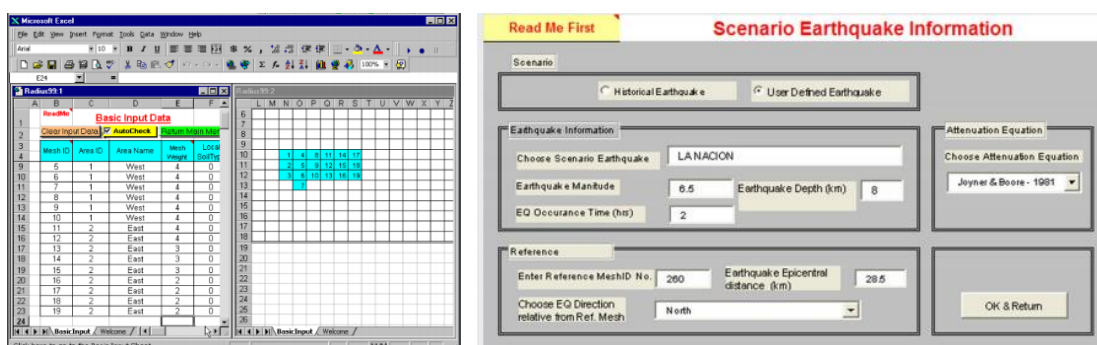


Figura 8: Captura de pantalla del programa RADIUS – Fuente: https://www.unisdr.org/files/12709_GRIIPreDisasterShelterSenegal.pdf

El programa HAZUS¹⁸ por su parte, comenzó a desarrollarse en los años noventa por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA) y el objetivo fue evaluar las pérdidas potenciales por amenazas naturales en las ciudades de los Estados Unidos. Este programa se puede trabajar desde tres diferentes niveles de análisis: el primer nivel emplea serie de datos nacionales (referido a Estados Unidos) y se

¹⁶ Por sus siglas en inglés: Risk Assessment tools for Diagnosis of Urban areas against Seismic disaster – RADIUS. Basado en la metodología desarrollada por Geohazard Internacional.

¹⁷ Por encargo de la Agencia Federal para la Gestión de Emergencias (Federal Emergency Management Agency, FEMA), el Consejo de Tecnología Aplicada (Applied Technology Council, ATC), elaboró el informe o instrucción técnica Earthquake damage evaluation data for California o ATC-13 durante 1985.

¹⁸ Su nombre se origina de abreviar Hazards United States. Disponible en <https://www.fema.gov/es>

utiliza únicamente para estudios regionales; el segundo nivel permite sustituir esos datos nacionales por datos locales logrando resultados más refinados y específicos para los análisis de las comunidades; el tercer nivel permite cambiar las relaciones funcionales del sistema, logrando que los usuarios puedan suministrar sus propias técnicas para el estudio de condiciones específicas.

Actualmente posee un software de aplicación que permite estimar las potenciales pérdidas en edificaciones e infraestructura debido a los terremotos, a las inundaciones fluviales y costeras, y a los vientos huracanados. Particularmente el módulo HAZUS–MH de terremotos contiene un modelo que permite estimar las pérdidas y daños causados por sismos en edificios, instalaciones esenciales, el sistema de transporte y las líneas de servicio público (electricidad y agua), el número de personas desplazadas y el costo estimado de reparación de los daños proyectados.

Este programa evalúa las edificaciones (según su uso, sus materiales, su sistema estructural, sus componentes no estructurales), las instalaciones denominadas esenciales (de salud, emergencia y educación), los sistemas de transporte (red vial, de ferrocarril y de transporte público, incluye además los puertos y aeropuertos), los sistemas de servicios públicos (agua potable, aguas residuales, combustibles, gas natural, energía eléctrica y comunicación), los posibles daños inducidos (incendios, movimientos de tierra y escombros), las pérdidas económicas y la estimación de damnificados (ver Figura 9).

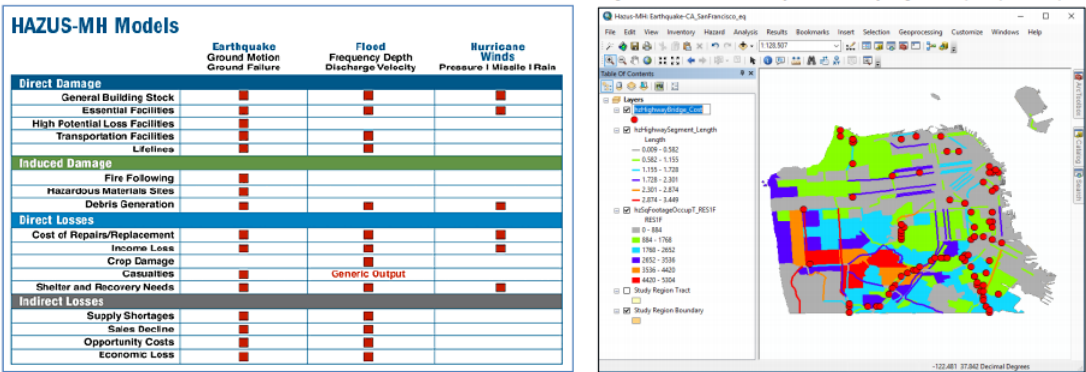


Figura 9: Modelo HAZUS–MH y captura de pantalla del programa. Fuente: Manual FEMA <https://www.fema.gov>

Por otro lado, el proyecto Risk–UE¹⁹ desarrolló metodologías para el estudio de la amenaza, de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico en áreas urbanas europeas. Su

¹⁹ <http://risk-ue.net/>

análisis se centra alrededor de dos claves, el fenómeno por un lado y la exposición de los elementos por el otro, estableciendo al combinarlos distintos escenarios de riesgo sísmico. Sobre los elementos expuestos evalúa la vulnerabilidad tanto de los edificios mediante un inventario de 23 tipologías²⁰ en función de sus características estructurales y funcionales; como de las instalaciones o redes esenciales (se centra en las redes de agua, saneamiento, electricidad, gas y comunicaciones) (ver Figura 10).

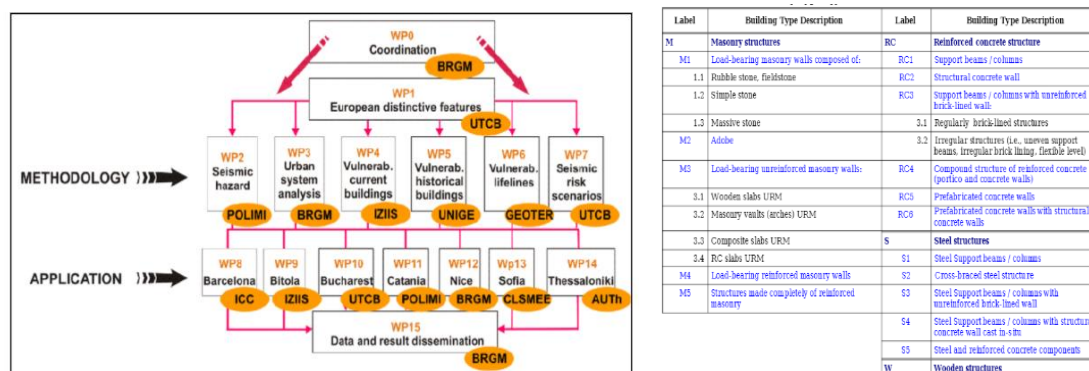


Figura 10: Organización y Matriz RISK-UE – Fuente: <http://risk-ue.net/>

Otra propuesta igualmente interesante es el proyecto europeo SERGISAI²¹, mediante la cual se desarrolló una herramienta para la evaluación del riesgo sísmico urbano. Este procedimiento fue un primer intento de integrar diferentes herramientas, códigos y métodos para evaluar los daños esperados por terremoto. Expertos de diversas disciplinas, incluidos sismólogos, ingenieros, planificadores, geólogos e informáticos, cooperaron en un proceso multidisciplinario real para desarrollarla. Fue diseñado principalmente para convertirse en un apoyo útil para las agencias de defensa civil y ordenamiento territorial.

Códigos de procedimiento estándar y técnicas de inteligencia artificial componen todo el sistema, que permite realizar una evaluación completa del riesgo sísmico en tres diferentes escalas geográficas (regional, subregional y/o local). En términos de nivel de detalle, tipo de parámetros y unidades de medida, la identificación de diversas escalas no es una mera cuestión de dimensión, ya que las entidades a estudiar corresponden a áreas definidas por fronteras administrativas y

²⁰ La matriz de clasificación de edificios BTM (Building Typology Matrix) de Risk-UE contiene 23 clases de edificios (10 de mampostería, 7 de hormigón armado, 5 de estructura metálica y 1 con estructura de madera), agrupados por su tipología estructural y material de construcción.

²¹ Por sus siglas en inglés: Seismic Risk evaluation through integrated use of Geographical Information Systems and Artificial Intelligence techniques – SERGISAI – Disponible en <http://sergisai.mi.ingv.it/Project.html>

geográficas; y los factores de riesgo han sido tratados de la manera más adecuada para cada una de estas (ver Figura 11).

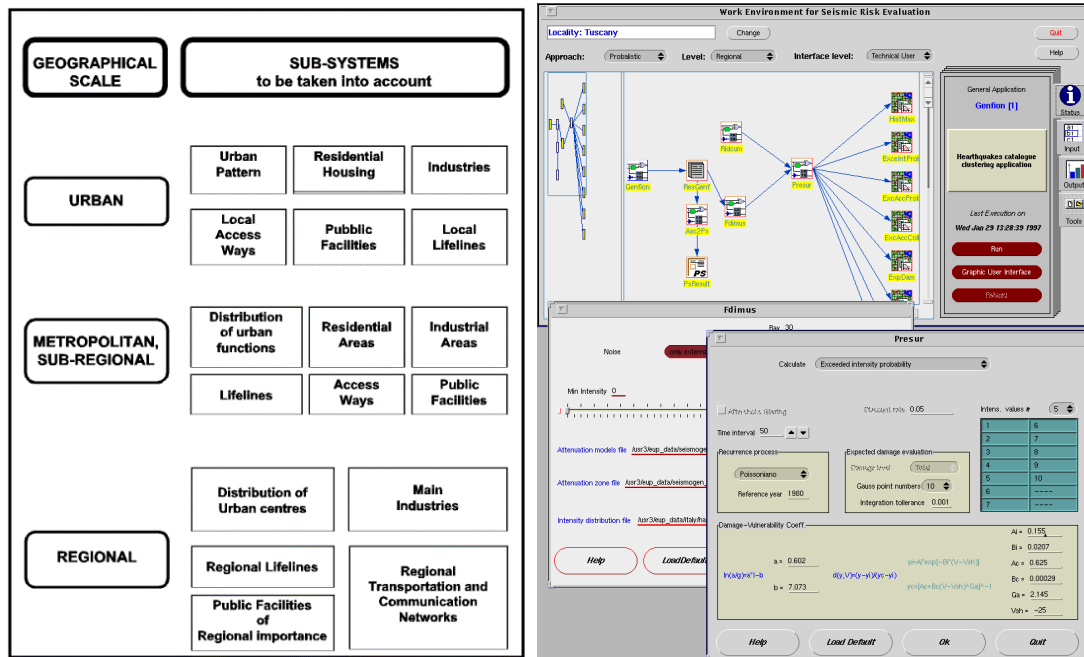


Figura 11: Subsistemas de evaluación del Riesgo según escalas y captura de pantalla del programa de SERGISAI – Fuente: <http://sergisai.mi.inqv.it/Project.html>

Específicamente, a nivel urbano se evalúa la vulnerabilidad de los edificios de vivienda, las industrias, las edificaciones públicas (escolares, de salud, culturales, de gobierno, etcétera), las líneas vitales y el acceso vial al área. Como resultado, es posible obtener para cada subsistema y asociado a una escala determinada, la condición de vulnerabilidad de los elementos que la integran y su relación con la pérdida de funcionalidad de la totalidad o parte del sistema.

Por último, la Evaluación Probabilista de Riesgo (CAPRA)²² es una plataforma de información para apoyar la toma de decisiones en la gestión del riesgo ante desastres naturales a nivel latinoamericano. Fue desarrollado con el apoyo técnico y financiero del Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo y la Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de los Desastres. Este modelo integra una serie de herramientas para la evaluación y comunicación de riesgo en diferentes niveles territoriales, y permite la evaluación de pérdidas en elementos expuestos utilizando métricas probabilistas tales como la curva de probabilidad de excedencia, la pérdida anual esperada y la pérdida máxima probable.

²² Por sus siglas en inglés: *Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment*

En el marco de esta iniciativa se han desarrollado una serie de módulos para el cálculo y definición de amenazas naturales, vulnerabilidad, exposición y riesgo físico de zonas urbanas. Estos módulos constituyen un sistema integral de modelación probabilista, enfocado a la gestión del riesgo de desastre. Particularmente el módulo de riesgo sísmico evalúa además de la amenaza la vulnerabilidad de las edificaciones (ver Figura 12).

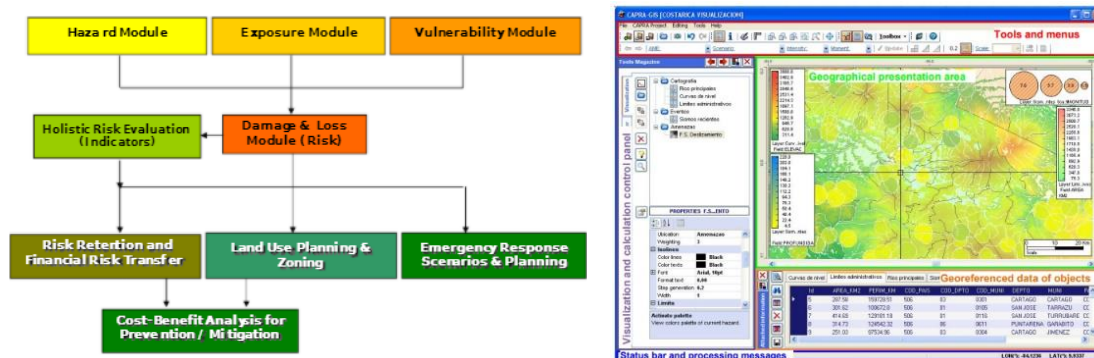


Figura 12: Modelo probabilista de CAPRA y captura de pantalla del programa – Fuente: <https://ecapra.org/es>

Por su parte, de los múltiples autores que han abordado diversos estudios orientados a determinar o estimar los niveles de riesgo a los que se encuentra sometido un territorio, encontramos que el Ing. Omar Cardona presenta uno de los postulados de mayor referencia en esta temática. En su tesis “Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos” (Cardona, 2001), desarrolló un modelo bajo una concepción fundamentada en los planteamientos teóricos de la complejidad, que contempla no sólo variables geológicas y/o estructurales, sino también variables económicas, sociales, políticas, culturales, etcétera.

En términos generales, el objetivo de su trabajo fue la modelización del estado del sistema antes de que ocurra el suceso, caracterizado por su inestabilidad o vulnerabilidad que lo puede llevar a la crisis o el desastre. Dicho estado corresponde al riesgo sísmico del asentamiento humano presente en el momento previo a la manifestación del peligro, es decir las condiciones iniciales de las cuales depende la respuesta del sistema en el momento que es perturbado.

A partir de estos aspectos propone la definición de un índice de riesgo físico, por un lado, y un índice de riesgo del contexto resultado de la estimación de un descriptor de amenaza sísmica relativa y de su vinculación con un descriptor de vulnerabilidad del contexto, que se base en indicadores de exposición, fragilidad

social y resiliencia relativa de las unidades de análisis que conforman el centro urbano. Para modelizar el sistema (asentamiento humano), en función de un enfoque multidisciplinar y debido a la naturaleza de las variables intervinientes, se valió de la implementación de la técnica de evaluación multicriterio (ver Figura 13).

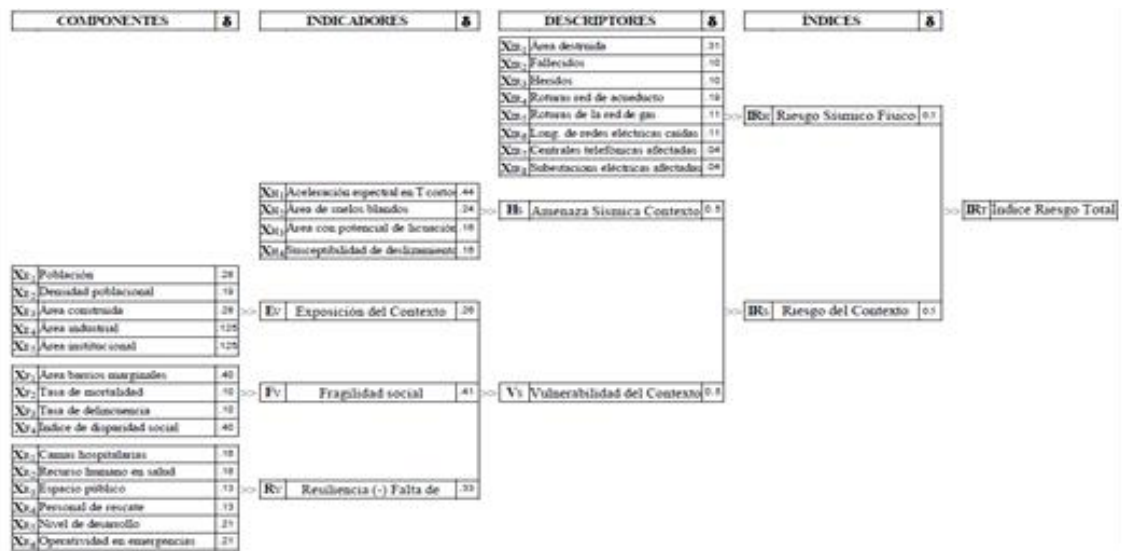


Figura 13: Esquema de índice de riesgo – Fuente: Cardona (2001).

A partir de este autor, numerosos escritos han sido publicados con el objeto de ampliar y/o profundizar los enfoques de algunos de los componentes e indicadores expuestos. Entre los de mayor relevancia podemos citar a Lantada Zarzosa (2007) con su tesis “Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS”, Valcárcel Torres (2013) “Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales”, Jaramillo Santana (2014) “Evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas y estrategias para su mitigación”, Bernal Granados (2014) “Metodología para la modelación, cálculo y calibración de parámetros de la amenaza sísmica para la evaluación probabilista del riesgo”, Velásquez Villada (2016) “La curva híbrida de riesgo: análisis retrospectivo y prospectivo del riesgo por fenómenos naturales”, Mora Cuevas (2016) “Análisis beneficio costo probabilista de medidas de mitigación del riesgo por sismo”, entre otras muchas tesis dirigidas por Cardona.

En resumen, la mayoría de las iniciativas y/o proyectos citados y sus metodologías asociadas contribuyen a la comprensión de que existe una complejidad en los enfoques orientados a estimar los niveles de vulnerabilidad a los que se encuentra expuesto un territorio en función de una amenaza determinada. Sin embargo, todos ellos coinciden la necesidad de incorporar variables relacionadas tanto a la

amenaza como a la vulnerabilidad de los elementos expuestos y sus relaciones. Se puede establecer entonces la relevancia que asumen las variables relacionadas a los aspectos físico-constructivos de las edificaciones y/o la infraestructura, las socio habitacionales y demográficos de los habitantes, y las funciones y/o relaciones que se establecen entre ellas.

2.3 La reducción del Riesgo

Como se expuso inicialmente, la gestión del riesgo de desastres es una estrategia integral cuyo objetivo final es minimizar el impacto y los efectos económicos y sociales de los eventos potencialmente dañinos sobre un territorio. Es por lo tanto un proceso complejo y dinámico, que presenta oportunidades para mitigar los posibles efectos adversos, por medio de la reducción de la vulnerabilidad existentes en las comunidades, al tiempo que se desarrollan capacidades de respuesta y se evita la aparición de nuevos factores que incrementen la vulnerabilidad asociada (Bello y otros, 2020).

Las Naciones Unidas han señalado que el número de personas en riesgo en el mundo aumenta en promedio entre 70 y 80 millones por año. Ante estas evidencias, reducir los niveles de riesgo a los que se exponen distintas comunidades alrededor del mundo se ha convertido para los gobiernos en un problema prioritario; es sabido que un desastre puede implicar importantes retrocesos en los avances económicos y sociales alcanzados por una comunidad.

En virtud de alcanzar el tan anhelado Desarrollo Sostenible, a nivel mundial distintas organizaciones han desarrollado diversos lineamientos para abordar al riesgo y orientar estrategias de mitigación. Algunos de estos lineamientos se encuentran plasmados en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, haciendo especial referencia a la reducción del riesgo de desastres como elemento clave para el logro de los ODS. En este marco, se proponen compromisos concretos para reducir las vulnerabilidades, fortalecer las capacidades y fomentar la resiliencia ante los desastres. Se expone además la interacción entre los desastres y la pobreza, la disponibilidad de alimentos, el acceso a la salud, la disponibilidad de agua, la infraestructura, la urbanización, el cambio climático y la preservación de los ecosistemas (ver Figura 14).

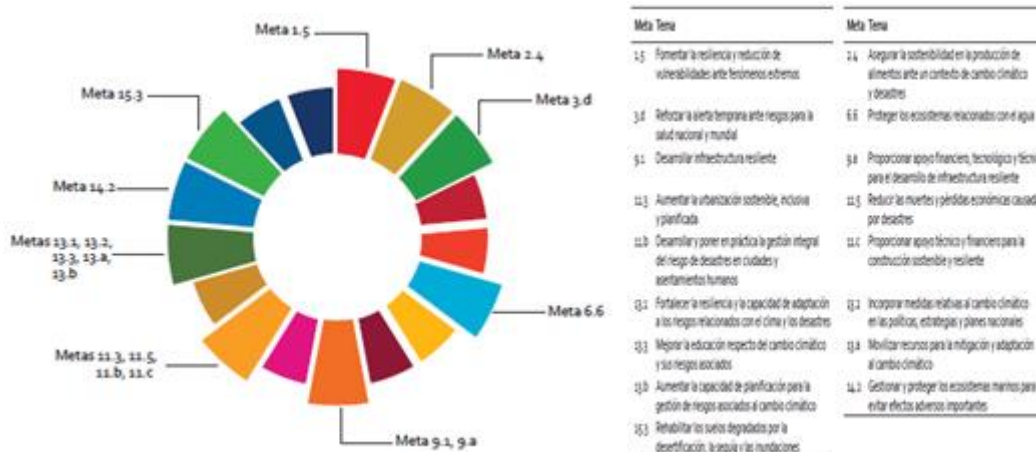


Figura 14: Metas de los ODS directa e indirectamente relacionadas con la gestión del riesgo de desastres – Fuente: Bello y otros (2020).

Por su parte el Marco Sendái plantea, además de sus siete metas, un conjunto de principios rectores para reducir el impacto de los desastres abordando los factores relacionados a las amenazas y vulnerabilidades, en línea con los fundamentos para alcanzar los ODS. En síntesis, el resultado que persigue el Marco de Sendái es “la reducción sustancial del riesgo de desastres y de las pérdidas ocasionadas por los desastres, tanto en vidas, medios de subsistencia y salud como en bienes económicos, físicos, sociales, culturales y ambientales de las personas, las empresas, las comunidades y los países” (Marco Sendái – UNISDR, pág. 6).

Además el documento fórmula entre sus metas “...prevenir la aparición de nuevos riesgos de desastres y reducir los existentes implementando medidas integradas e inclusivas de índole económica, estructural, jurídica, social, sanitaria, cultural, educativa, ambiental, tecnológica, política e institucional que prevengan y reduzcan el grado de exposición a las amenazas y la vulnerabilidad a los desastres, aumenten la preparación para la respuesta y la recuperación y refuercen de ese modo la resiliencia” (Marco Sendái – UNISDR, pág. 12).

Por último, deja explícitas cuatro prioridades a saber: 1. Comprender el riesgo de desastres; 2. Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo; 3. Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia; 4. Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz para “reconstruir mejor” en los ámbitos de recuperación, rehabilitación y reconstrucción. (Marco Sendái – UNISDR, pág. 14).

Pero ambos instrumentos (la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y el Marco Sendai) no son los únicos que persiguen la adopción de un enfoque integrado para

la reducción de riesgos. Existen otra serie de acuerdos a nivel internacional en el que también se incluyen el Acuerdo de París, la Agenda de Acción de Addis Abeba y/o la Nueva Agenda Urbana (Hábitat III) aprobada en 2016 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible.

Al respecto en nuestro país a fines del 2016 se produjo un hecho trascendental en la historia de la defensa/protección civil, la sanción de la ley 27.287²³ de creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y la Protección Civil (SINAGIR)²⁴. Dicha ley, en línea con el Marco de Sendái, hace hincapié en las actividades de mitigación y reducción del riesgo, y que son además complementadas por acciones de socorro asistencialista una vez producido un evento adverso. De esta manera, por primera vez en la historia nacional, se dispone de una ley específica para atender la problemática de la salvaguarda de vidas, bienes, infraestructura de sostén y medios de producción frente a distintas amenazas.

Esta ley dio un impulso para la formulación de diferentes acciones orientadas a gestionar y reducir los niveles de riesgo de nuestro territorio a corto, mediano y largo plazo en coherencia con el Marco de Sendái. Una de estas acciones de referencia es la creación del Plan Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2018-2023” (PNRRD)²⁵, como una herramienta de política pública que contempla objetivos y metas que garantizan mejores condiciones de seguridad de la población y que protegen el patrimonio económico, social, ambiental y cultural.

Este Plan es el primer documento de alcance nacional en la materia, que permite proyectar estrategias orientadas a comprender los principales riesgos que afectan a nuestro país. En este documento el riesgo sísmico es visto como uno más del conjunto, sin embargo, se plantean entre sus compromisos provinciales acciones orientadas a identificar las zonas vulnerables ante esta amenaza, ponderando el grado de afectación específica. Además, aporta acciones que alientan el involucramiento de todos los actores comprendidos en el proceso de reducción de riesgo de desastres, siempre con la finalidad de preservar la vida y la integridad de la población, sus bienes y el ambiente en el que habitan.

²³ Normativa disponible en <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27287-266631>

²⁴ <https://www.argentina.gob.ar/sinagir/institucional>

²⁵ <https://www.argentina.gob.ar/sinagir/institucional/plan-nacional-reduccion-de-riesgos>

Podemos decir entonces que el riesgo puede ser reducido a través de la formulación estratégica de acciones, la toma de decisiones e instrumentación para la acción y la aplicación de soluciones. Según lo establece el proyecto de Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina (PREDECAN)²⁶, la reducción del riesgo puede orientarse aplicando diversas estrategias basadas en:

a) la gestión correctiva orientada a reducir el riesgo existente, que implica tanto intervenciones conservadoras es decir sin la pretensión de transformar las condiciones sociales básicas de vida y producción (por ejemplo, la construcción de un dique para una comunidad ubicada en la zona de inundación de un río), como transformadoras (por ejemplo, reforestación para reducir la erosión, las inundaciones y los deslizamientos).

b) la gestión reactiva que actúa sobre el riesgo que no pudo ser reducido, por lo que el escenario futuro es el desastre. Busca sobre todo incrementar la resiliencia de las comunidades con intervenciones orientadas a fortalecer las estructuras organizacionales e institucionales para la respuesta y la recuperación, la elaboración de planes de emergencia, planes de evacuación, medidas de contingencia para abastecer las necesidades de la población afectada, entre otros aspectos.

c) la gestión prospectiva que busca evitar la generación de nuevas condiciones de vulnerabilidad y riesgo o la incrementación de las existentes, y se desarrolla en función del riesgo aún no existente pero que se podrían generar a través de nuevas iniciativas desarrollo no planificadas. Está por lo tanto íntimamente relacionada con los procesos de planificación y la oportunidad de incidir a partir de ella en la visión y estrategias de desarrollo alentando a los entes gubernamentales en sus distintas escalas a implementar mecanismos que contribuyan de manera anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población.

²⁶ <http://www.comunidadandina.org/predecandoc/r1/sistematiz/infosistematizven.pdf>

SÍNTESIS

En la teoría sobre los desastres, los riesgos y sus factores, se han incorporado gradualmente los aportes de las ciencias naturales, aplicadas y sociales, hasta llegar a modelos y conceptos más complejos y holísticos. Estos enfoques han influido decisivamente en las estrategias para la gestión de los riesgos, así como en la conceptualización y aplicación del análisis de los niveles de vulnerabilidades y amenazas. Hoy podemos ver que las diferentes miradas disciplinares fueron evolucionado a través de los años hasta llegar a los paradigmas actuales, en los que el concepto de riesgo es concebido desde enfoques holísticos (ver Figura 15).

Como se dijo inicialmente el riesgo tiene una estructura compleja que incluye en esencia los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y resiliencia. En tal sentido se entiende que un peligro representa la posible manifestación de un fenómeno capaz de producir efectos adversos en los elementos de un territorio, debido a la predisposición de estos a ser afectados por dicho fenómeno y a su falta de capacidad de recuperación posterior.

Hoy se entiende que la gestión del riesgo de desastres es una estrategia integral cuyo objetivo final es minimizar el impacto y los efectos económicos y sociales de los desastres. En esta línea, actualmente existen marcos mundiales concebidos como guías con los que se busca sistematizar y orientar las acciones internacionales, nacionales e incluso locales, para mitigar los efectos de un evento y construir resiliencia en las naciones y las comunidades.

Lo cierto es que para plantear estrategias que busquen reducir los niveles de riesgo a los que se encuentra expuesta una comunidad y evitar que se produzca un desastre se debe tener un conocimiento claro de los niveles de vulnerabilidad de dicha comunidad frente a esa amenaza.

Un amplio número de métodos han sido propuestos para estimar los efectos de futuros sismos. Actualmente existe la utopía de crear un modelo único de evaluación del riesgo y sus componentes asociados, que claramente da lugar a miradas holísticas sobre el riesgo. Aunque esto podría resultar alentador se considera que las técnicas deben ser flexibles y que pueden combinarse en función de establecer miradas que contemplen a los territorios como expresiones socioculturales históricas en constante transformación.

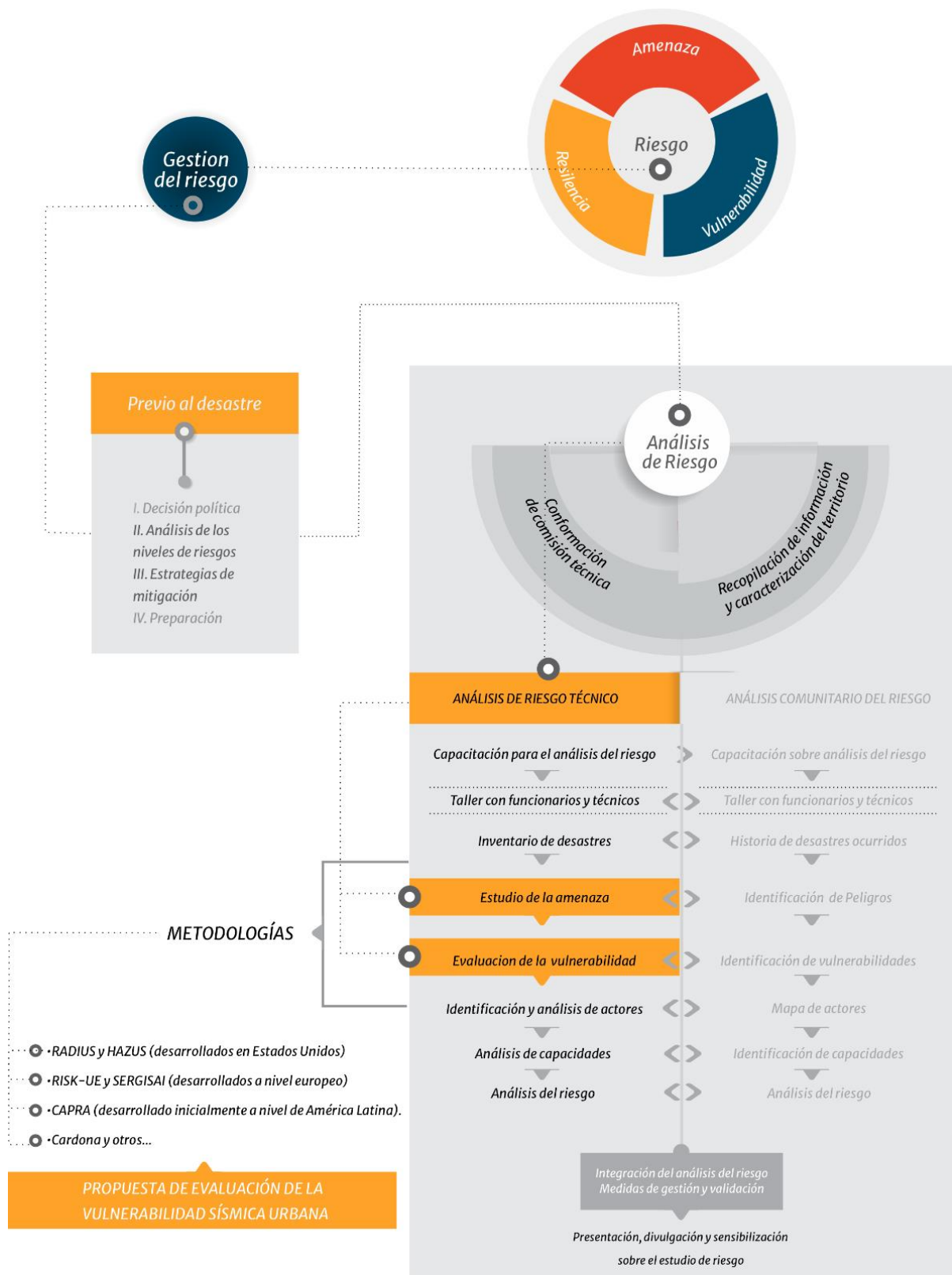


Figura 15: Síntesis – Fuente: elaboración propia (2020).

En resumen, podemos ver que los métodos para la estimación del riesgo sísmico a escala urbana consideran diferentes maneras para evaluar la amenaza sísmica, y utilizan además matrices o funciones de vulnerabilidad empírica o teórica para diversos tipos de construcciones y componentes esenciales de la infraestructura. En

general, estas técnicas se pueden clasificar en probabilistas y deterministas, dependiendo del enfoque y propósito del estudio.

Mas allá de las características particulares de cada una, para estimar los niveles de riesgo a los que está sometida un área urbana bajo amenaza sísmica se deben seguir las siguientes etapas:

- *Evaluación de la amenaza sísmica y efectos colaterales, en función de la escala de trabajo seleccionada.*
- *Identificación de los elementos expuestos o amenazados (contexto social, material y ambiental representado por las personas, los elementos construidos y los recursos / servicios que pueden verse afectados con la ocurrencia de un evento).*
- *Definición de funciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos que relacionen el daño potencial con la amenaza sísmica.*
- *Evaluación de las pérdidas específicas en cada elemento expuesto y determinación de su factor de participación en el efecto total.*
- *Estimación de la capacidad de recuperación y respuesta de la comunidad afectada.*
- *Evaluación del riesgo sísmico total para la región considerada en un período o tiempo de exposición.*



...ante el sismo tan violento de aquel sábado fatal, se vuelve un punto vital la asistencia necesaria, humanista y solidaria en la emergencia total.

Micolta Cuero

02. Capítulo / Vulnerabilidad Sísmica

1. *Introducción*
2. *La Amenaza Sísmica*
 - 2.1. *Variables de la Amenaza Sísmica.*
3. *La Vulnerabilidad Sísmica a escala urbana*
 - 3.1. *Determinación de los componentes de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana*
4. *Modelo de Vulnerabilidad Sísmica Urbana*
 - 4.1. *Construcción del modelo.*

Síntesis

CAPITULO II. VULNERABILIDAD SÍSMICA

1. Introducción



A nivel urbano, durante la segunda mitad del siglo XX hubo un incremento a escala mundial de desastres en términos de pérdidas económicas y de vidas debido a la acción de diversos eventos; esta tendencia se ha mantenido durante estas primeras décadas del siglo XXI. El listado de los desastres se extiende inexorablemente, producto de los altos índices de urbanización en las zonas expuestas a peligros, la expansión no planificada, la inadecuada acción de las autoridades, el control limitado de las instituciones político-administrativas sobre el uso del suelo, la falta de recursos, el crecimiento poblacional con altos índices de desigualdad y condiciones de vida deficientes (en términos de pobreza, salud, educación o saneamiento) (UNISDR, 2020).

Sobre esto último, podemos ver como permanentemente se asocia la pobreza con los niveles de riesgo en general y la vulnerabilidad en particular, debido a los cada vez más elevados costos del suelo y la vivienda, la población de menos recursos tiende a habitar sectores marginales, muchas veces incluso de marcada exposición ante las amenazas, y en viviendas con evidente fragilidad en su técnica y materialidad. Si suponemos además que existen en las ciudades condiciones

asociadas a estos procesos que acentúan conflictos y son de carácter acumulativo, podemos asumir que la situación se torna al menos desalentadora. “Las malas prácticas constructivas exhibidas en las ciudades de los países pobres, obligadas por la misma pobreza de la población, son complementadas por el proceso continuo de degradación de las mismas estructuras habitacionales e infraestructurales de la ciudad a lo largo de años de olvido y falta de renovación” (Lavell, 1999 – pág. 9).

Particularmente, podemos decir que el estudio de los niveles de riesgo sísmico de las ciudades se ha convertido en los últimos años en un tema de investigación inevitable, constituyendo actualmente una preocupación latente alrededor del mundo entero, por sus bajos niveles de certeza y anticipación en la manifestación del fenómeno (Ayala y otros, 2017).

Al intentar explicar las razones por las cuales la ocurrencia de determinados eventos trae consigo una cadena de nefastas consecuencias, se hace imperante analizar la concepción que se maneja del riesgo y de sus elementos asociados: peligro (amenaza), fragilidad (vulnerabilidad) y capacidad de respuesta (resiliencia) (Reyes Rivero y otros, 2017).

Para comprender el grado de impacto negativo que presenta esta amenaza, basta con citar algunos sismos ocurridos en este siglo que independientemente de su magnitud e intensidad provocaron grandes pérdidas en los territorios afectados. Tal es el caso del sismo ocurrido en Indonesia en diciembre del año 2004 que causó la muerte de alrededor de 200.000 personas y aproximadamente 2 millones de desplazados; el de Japón en marzo de 2011 que provocó además un tsunami que dejó un saldo de más de 15.000 muertes y al menos 8.000 personas entre heridas y desaparecidas, con la destrucción total de puertos, líneas férreas, infraestructura vial, la afectación de cuatro plantas nucleares y la caída del sistema eléctrico; o el sismo ocurrido en Haití en enero de 2010 que afectó a todo el país caribeño dejando unas 316.000 víctimas fatales, 350.000 heridos y más de 1,5 millones de personas damnificadas que quedaron sin hogar, considerándose además como una de las catástrofes humanitarias más graves de la historia.

Pero como se dijo inicialmente el riesgo es un concepto complejo, en tal sentido se entiende que un peligro representa la posible manifestación de un fenómeno capaz de producir efectos adversos en los elementos de un territorio, debido a la predisposición de estos a ser afectados por dicho fenómeno y su falta de capacidad de recuperación posterior. De esta manera se entiende que, si bien el riesgo debe

incluir una mirada amplia en términos conceptuales, tiene una clara y definida expresión territorial que varía localmente afectando de forma diferenciada a las comunidades, familias, zonas o áreas. Así, la componente relacionada con la amenaza (un sismo, por ejemplo) puede ser la misma, pero la manera en la que esta amenaza impacta en un territorio puede mostrar diferencias importantes, producto de la forma particular en que el evento (amenaza) interactúa con la vulnerabilidad.

Un ejemplo de ello puede observarse al comparar dos eventos sísmicos significativos ocurridos en 2010, el de Chile de 8.8 grados en la escala de Richter y el de Haití de 7 grados en la misma escala. Ambos terremotos presentaron diferencias significativas en los daños físicos de sus construcciones, sus redes de servicios, sus infraestructuras y sus pérdidas sociales en términos de vidas y recursos. Pese a ser aproximadamente 500 veces más fuerte el sismo ocurrido en el territorio chileno las personas fallecidas alcanzaron la suma de 521, mientras que como se dijo anteriormente en el país haitiano llegaron a niveles cercanos a los 316.000 habitantes. Fundamentalmente esto se debió a las cualidades físicas de sus construcciones, las diferencias socioeconómicas, y la gestión gubernamental de cada uno de los territorios afectados.



Foto 8 y 9: Daños en Haití. Fuente: <https://www.bbc.com/noticias-america-latina-51067830>



Foto 10 y 11: Daños en Chile. Fuente: <https://www.diariodecuyo.com.ar>

Las diferencias en las consecuencias de estos dos eventos dejan establecida la importancia de las relaciones entre los elementos del sistema sobre la vulnerabilidad. Los niveles de desastre alcanzados en Haití se vieron claramente exacerbados por presentar mayor cantidad de grupos considerados como vulnerables (personas en situación de pobreza, desempleados y subempleados, personas con discapacidad, mujeres y niñas, desplazados y migrantes, jóvenes, pueblos indígenas y personas mayores), que además tras la ocurrencia del desastre, se vieron envueltos en ciclos de vulnerabilidad cada vez más agravados (UNDRR, 2019).

Se entiende que muchas de las amenazas a las que puede estar expuesta una sociedad son inevitables, por cuanto lo que se puede hacer en términos de mitigación del riesgo, es establecer la peligrosidad de la amenaza y los niveles de vulnerabilidad de dicha sociedad para actuar en líneas orientadas a su reducción. Para ello es entonces necesario entre otras cosas, poder identificar las vulnerabilidades de los territorios en función de las amenazas específicas presentes, determinando sus niveles y características particulares, y por último espacializarlas para comprenderlas de manera integral sobre los territorios.

Como se dijo inicialmente, una de las principales amenazas del ambiente natural de la provincia de San Juan es la amenaza sísmica. Por tanto, se estima que identificar, evaluar y visualizar espacialmente los niveles de vulnerabilidad asociada a la amenaza sísmica, del territorio sanjuanino, constituye una razón de primer orden para mitigar los efectos adversos probables ante la ocurrencia de un sismo de gran intensidad. Así, se considera indispensable identificar sus distintos niveles a través de la determinación de zonas o áreas de diferente valoración, de tal manera que sean insumo para el diseño y aplicación de programas de mitigación.

2. La Amenaza Sísmica

Como dijimos inicialmente la amenaza sísmica se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un movimiento sísmico en un ámbito determinado. Bajo esta mirada, las técnicas de evaluación de la amenaza sísmica a escala regional pueden ser revisados en dos grupos según sean sus métodos determinísticos o probabilísticos.

Los métodos determinísticos fueron los primeros en desarrollarse y tienen como objetivo establecer la acción sísmica en un emplazamiento determinado. Parten de la hipótesis de que la sismicidad en una región es estacionaria, y de este modo los valores máximos de los parámetros utilizados, principalmente la intensidad sísmica, se pueden estimar a partir de los máximos valores registrados en eventos pasados de los que se tenga conocimiento en la región de estudio. En líneas generales se estudian los mayores terremotos ocurridos en el área, identificando sus características y definiendo el máximo sismo potencial a esperar; se delimita el área de influencia e identifican las fuentes sísmicas englobadas en ella; por último, se estima la acción sísmica causada por los máximos sismos potenciales de cada zona analizada.

Estos métodos son muy sensibles al nivel del conocimiento de la sismicidad histórica y dado su excesivo conservadurismo esta metodología ha sido sustituida mayoritariamente por los métodos probabilistas. En tal sentido el método probabilístico considera todos los terremotos que afectaron una zona en particular y tiene en cuenta la recurrencia de estos; de esta forma ofrecen estimaciones de la probabilidad de excedencia para cada intensidad de movimiento esperado en el emplazamiento durante un periodo de tiempo dado, usualmente representado en curvas de probabilidad. En función de la distribución estadística adoptada para caracterizar la sismicidad del área objeto de estudio, estos métodos se clasifican a su vez en no paramétricos y paramétricos (Tibaduiza y otros, 2015).

Si bien hasta el momento no resulta posible establecer cuál es la mejor manera de estimar la amenaza sísmica²⁷, y un avance en este sentido excede los saberes y alcances del presente trabajo, lo cierto es que todos coinciden en que el historial de eventos registrados hasta el presente confirma que esta amenaza responde a un fenómeno inexorable con el cual debemos aprender a convivir. Además, existen una serie de efectos indirectos o colaterales, derivados de estos fenómenos como la

²⁷ Muñoz (1989) señala que el método probabilístico ofrece varias ventajas frente al determinístico, entre ellas la obtención de la distribución de probabilidades para distintos niveles de intensidad o daño frente al valor de máxima intensidad que ofrece el método determinístico. También resalta que, con los métodos probabilísticos, la ubicación de los epicentros históricos no es tan crítica como en los métodos determinísticos y que, en estos últimos, el terremoto de mayor tamaño está condicionado por la información existente.

No obstante, McGuire (2001) afirma que al enfocarse en un solo evento sísmico los métodos determinísticos aseguran que dicho evento es realista, es decir razonablemente probables, indica además que en este sentido los métodos determinísticos y probabilísticos son complementarios, ya que un análisis probabilístico puede ser confirmado con un evento determinístico que se considere para asegurar que una hipótesis realista ha sido considerada en el análisis.

licuefacción, deslizamientos del terreno, asentamientos o inundaciones, y relacionados con las características geológicas y geotécnicas del terreno, cuyas consecuencias sobre un determinado emplazamiento pueden ser incluso más graves que las del propio terremoto (Reyes y otros, 2017).

2.1 Variables de la Amenaza Sísmica

Entre los múltiples estudios que aportan metodologías para determinar la amenaza al sísmica, podemos hacer referencia que actualmente existe un manual elaborado por el Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD – Argentina)²⁸ y publicado en 2017, en el que se establecen en su ANEXO IV los aspectos metodológicos para la construcción de mapas de amenazas presentes en nuestro territorio incluyendo la amenaza sísmica. En el mismo se definen y ponderan las variables para la caracterización de la amenaza considerando parámetros relacionados con la configuración sismo-tectónica regional, las fallas activas, la sismicidad, la exposición sísmica y los suelos y condiciones del subsuelo.

Además, se establecen las distintas etapas en el estudio de la amenaza que hacen referencia a definir zonas de responsabilidad, identificar el origen de la amenaza, definir el parámetro de medición del peligro, y caracterizar las manifestaciones de la amenaza propiamente dicha.

En este manual, los atributos de para evaluar el impacto de este peligro responden a los criterios de ponderación en función de: la magnitud, duración, extensión, intensidad, severidad, frecuencia y recurrencia del evento sísmico. Este trabajo toma como base inicial la clasificación de la amenaza sísmica de las normas INPRES-CIRSOC 103²⁹ que divide el territorio en cinco zonas, de la 0 a la 4, de peligrosidad sísmica creciente (ver Figura 16a). Estableciendo así a la zona 4 de peligrosidad muy elevada, la zona 3 de peligrosidad elevada, y las zonas 2 y 1 de peligrosidad moderada y peligrosidad reducida. Sin embargo, el trabajo hace hincapié en que el parámetro de medición principal debe ser la aceleración del

²⁸ Programa Naciones Unidas para el Desarrollo. PNUD Argentina. Disponible en <https://www.ar.undp.org/>

²⁹ Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes. (INPRES-CIRSOC) 103. 1982. INTI, Bs. As. Tomo I. págs. 9 a 16.

suelo, entendida como un aumento en la velocidad del movimiento suelo en función del tiempo.

Por otro lado, según estudios realizados en el Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat³⁰ (Romero, 2012) y volcados en el PLAM (2013), para el análisis del riesgo sísmico se entiende que además de considerar alguno de los atributos mencionados en el manual del PNUD, en el estudio de la amenaza es necesario incluir aquellos parámetros que intervienen de manera colateral y que incrementan el riesgo en términos generales. Estos estudios se encuentran en línea con la microzonificación sísmica del Valle del Tulum, de la provincia de San Juan, elaborada por el INPRES en la que se definieron seis zonas de peligrosidad sísmica (ver Figura 16b), pero aportan además una actualización en términos de suelos con probabilidad de licuefacción³¹.

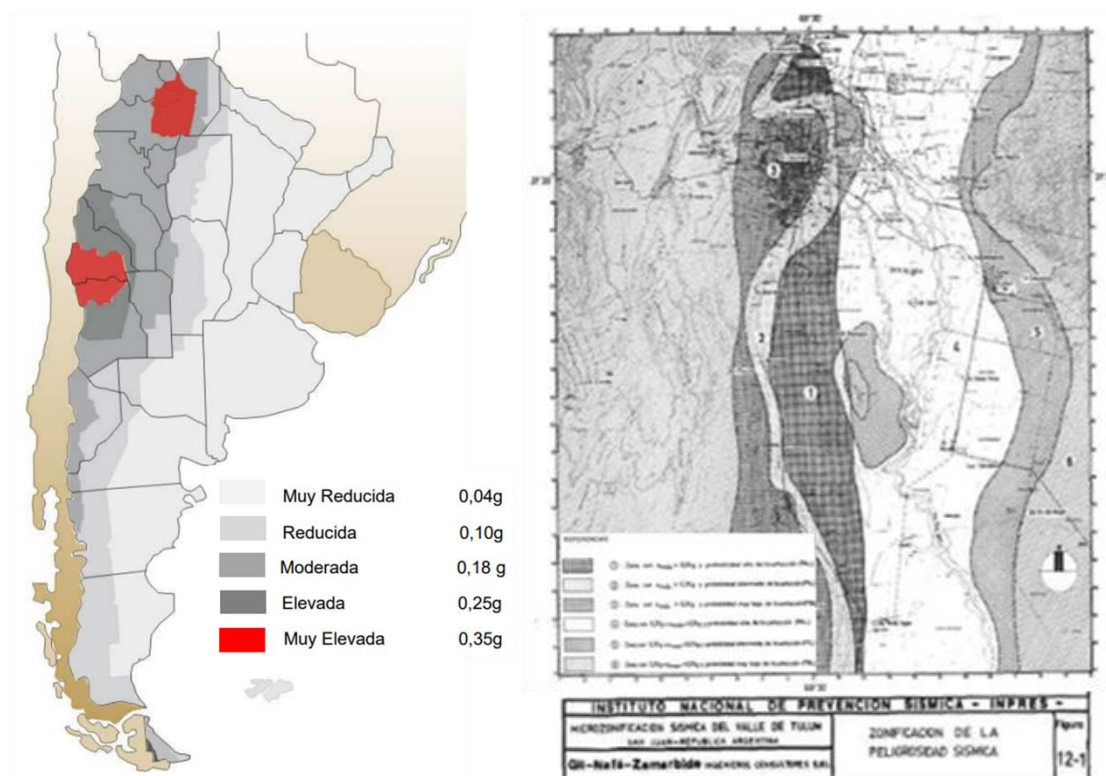


Figura 16a: Mapa de peligrosidad sísmica – Figura 16b: Microzonificación sísmica del Valle del Tulum. Fuente: elaboración propia (2020) en base a INPRES (1982).

³⁰ IRPha. Perteneciente a la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) de la UNSJ.

³¹ El trabajo hace referencia al ascenso de los niveles freáticos vinculado a la infiltración en el río y en las zonas de cultivo por exceso de agua de riego, indicando las áreas que presentan curvas de isobatas por encima de los 2.00m y que fluctúan permanentemente entre las estaciones climáticas. Los datos corresponden a registros de diciembre del año 1993, debido a la falta de mapas de isobatas e isopiezas actualizadas.

Más allá de los tecnicismos específicos de las disciplinas encargadas de realizar los aportes y saberes relacionados a las ciencias de la tierra (geología, geofísica, geodinámica), y que abordan esta amenaza desde múltiples dimensiones y complejidades, en este estudio la amenaza sísmica quedará definida por la incidencia en términos de la aceleración máxima del terreno, y las características de los suelos en términos de tipo de suelos (que según sus características puedan amplificar las acciones relacionadas a las vibraciones del terreno) y áreas con potencial de licuefacción (ver Figura 17).

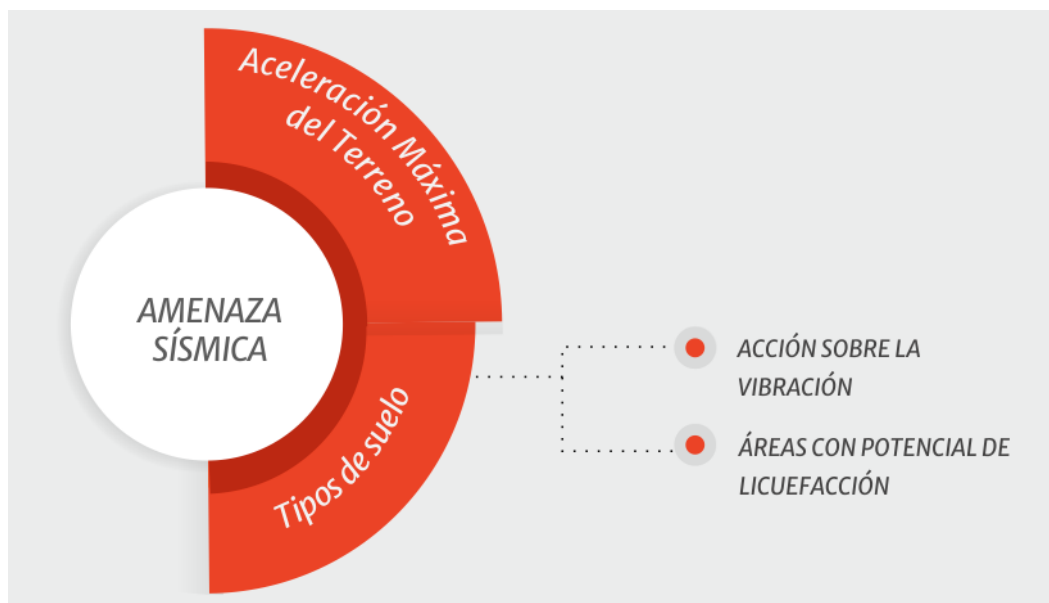


Figura 17: Variables de la amenaza sísmica – Fuente: Elaboración propia (2020).

Como se dijo inicialmente el fin de este trabajo es evaluar la vulnerabilidad y no el riesgo (en términos de función entre la amenaza, la vulnerabilidad y la resiliencia). La valoración de la amenaza será considerada entonces en términos generales para la selección de las variables que componen la vulnerabilidad, pero además será traducida en un índice de amenaza que afectará los niveles de vulnerabilidad de los elementos expuestos en términos incrementales. Así, si un sector es valorado con una determinada vulnerabilidad, pero se ubica sobre un área de mayor amenaza respecto de otro de igual vulnerabilidad, se verá en inferioridad de condiciones.

3. La Vulnerabilidad Sísmica a escala urbana

Como vimos anteriormente, el término vulnerabilidad a nivel urbano se refiere a las condiciones particulares de una sociedad que la hacen propensa a sufrir daños

y pérdidas frente a los impactos de un evento determinado, y su grado de debilidad o incapacidad de dar una respuesta adecuada (Romero, 2014).

Para Wilches Chaux³² (1993) es, por lo tanto, una predisposición intrínseca de los sujetos o elementos relacionada a la incapacidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio. Se entiende entonces que una ciudad o área urbana debe garantizar su normal funcionamiento después de ocurrido el evento, y que cualquier interrupción supuesta se considera como un incremento en los niveles de vulnerabilidad. Por lo tanto, su evaluación (medición) contribuye al conocimiento del riesgo mediante interacciones de elementos susceptibles con el ambiente peligroso. Así, la vulnerabilidad representa la posibilidad de afectar negativamente estos elementos que permiten el funcionamiento y desarrollo de la ciudad.

En tal sentido, lo primero que debemos definir son los elementos a nivel urbano que pueden considerarse expuestos y desde allí evaluar su capacidad de enfrentar la amenaza sísmica. Si concebimos lo urbano como una compleja y simultánea interrelación entre diversas dimensiones (social, económica, política y espacial) y sus actores, recursos y flujos de intercambio, bajo una evidente multiescalaridad; la ciudad queda por tanto definida como un recorte de lo urbano igualmente complejo.

Aunque definir la ciudad es una tarea en la que no han llegado a ponerse de acuerdo quienes han abordado el tema, y no es intención de este trabajo ahondar en los matices que podrían derivarse de este campo conceptual; lo cierto es que existen numerosos estudiosos de lo urbano que entienden a la ciudad como un sistema complejo en desarrollo (Dematteis, 2006; Batty, 2013; Boccolini, 2016).

Si entendemos como sistema un conjunto de elementos interdependientes que funcionan como una totalidad, basado en un enfoque que se concentra en los procesos de relación y los principios básicos de organización; el planteamiento sistémico de la ciudad opera entonces en términos de conectividad/accesibilidad, relaciones/intercambios, y contexto. Visto así, las propiedades de las partes sólo se comprenden en su relación con el conjunto (Dematteis, 2006).

³² Gustavo Wilches Chaux es uno de los miembros fundadores de LA RED (Red de Estudios Sociales sobre Desastres en América Latina).

De esta manera, se deben considerar los elementos que juegan un papel clave en el funcionamiento global de la ciudad, tanto si se trata de aspectos físicos y sociales, como funcionales y operativos; constituyendo un importante punto de partida para un futuro análisis del riesgo. Cabe subrayar que los elementos claves de un territorio son diferentes según los actores sociales y sus representaciones, y según las escalas territoriales y temporales. Así, por ejemplo, lo que es importante para un grupo de individuos no lo es necesariamente para el grupo social; los elementos importantes para un barrio no son necesariamente importantes para la ciudad; las relaciones más significativas en áreas metropolitanas no son las mismas que en ciudades intermedias.

3.1 Determinación de los componentes de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana

Según los antecedentes de diversos proyectos (RADIUS, HAZUS, RISK-UE, SERGISAI, CAPRA, entre otros) y autores (Cardona, 2001; Carreño, 2007; Romero, 2014; Quiñonero Ródenas, 2017) expuestos en el primer capítulo, los estudios de la vulnerabilidad sísmica urbana se centran no sólo en la denominada vulnerabilidad física (daño estructural o no estructural) de las edificaciones y las redes esenciales o vitales, sino también incorporando aspectos funcionales y operativos de la red urbana en su conjunto. Por otro lado, como se dejó expuesto inicialmente las características sociales y económicas de las comunidades expuestas constituyen una variable ineludible en la estimación de la vulnerabilidad.

Desde esta perspectiva, los elementos expuestos considerados necesarios incorporar para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en esta propuesta quedan definidos por tres componentes, considerados como fundamentales en función de las características: físico-constructivas de las edificaciones y la infraestructura considerada como esencial, las sociodemográficas de los habitantes, y las funciones que se establecen entre ellas. Cada uno de estos componentes a su vez estará integrado por variables y subvariables o dimensiones, medibles a través de indicadores y factibles de ser traducidos finalmente en índices de vulnerabilidad (ver Figura 18).

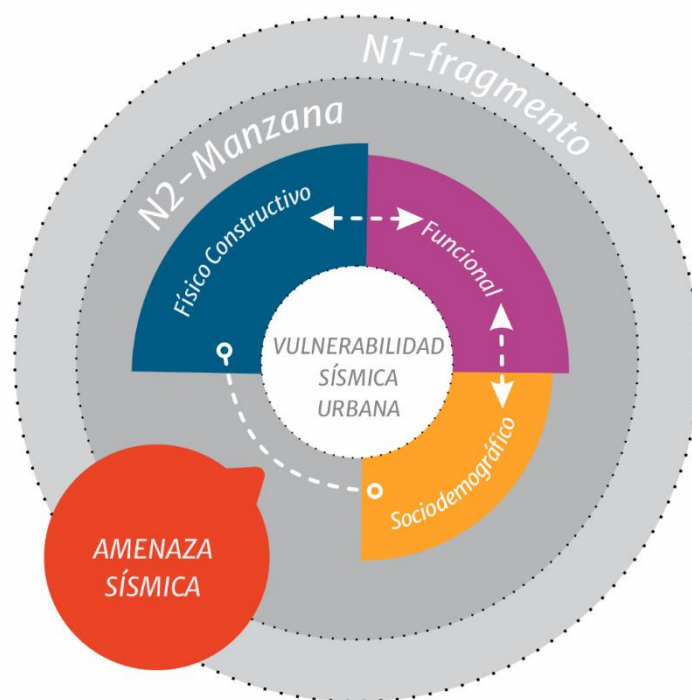


Figura 18: Esquema de la vulnerabilidad sísmica a escala urbana – Fuente: Elaboración propia (2020).

Además, cada uno de estos componentes se analiza según distintos niveles de escalas espaciales secuenciales. Esta secuencia de escala como instrumento conceptual se relaciona con el nivel de análisis, por lo que al cambiar la escala espacial cambia necesariamente la escala conceptual y la cantidad de elementos, detalles y profundidad que abarca (dependiendo además de las características de la información disponible). El análisis de la realidad, en distintos niveles de expresión permite apreciar cómo varían los efectos de las distintas variables. Cuando éstas cambian, los elementos que se contemplan pueden ser básicamente los mismos; pero cambian las relaciones entre ellos y el modo en que actúan esos elementos.

En este trabajo las escalas quedan definidas como:

- nivel 1 –barrio o fragmento³³– entendido como una misma entidad urbana que mantiene relaciones funcionales internas suficientemente estrechas para ser percibidas como una unidad. Se caracteriza por la relativa homogeneidad formal de sus componentes, claramente diferenciables de las de su entorno.

³³ No otorga otras connotaciones ligadas a variables socioculturales (desigualdad social, inequidad, derecho a la ciudad, etcétera) o relacionada con las discontinuidades en el proceso de expansión de la trama urbana (fragmentación, segregación y/o exclusión urbana).

Está asociado a determinado grado identidad que le otorga un sentido de pertenencia, individual y/o social. Sus límites se establecen además en función de las similares características sociales y barreras materiales y/o inmateriales.

- *nivel 2 – manzana– entendida como la unidad mínima de diagnóstico y que representa las características mayoritarias de las parcelas que la integran. Sus límites se establecen a partir de la red vial circundante.*

3.1.1 Componente Físico–Constructivo

Se refiere a las deficiencias de los elementos expuestos (físico–materiales) para absorber los efectos ante la concreción de un evento sísmico potencialmente dañino, ya sean a) construcciones o b) redes de infraestructura.

a) En términos generales, las construcciones son concebidas como entidades que han sido edificadas, con capacidad para ser habitadas y albergar personas, y que por sus características constructivas y materiales podría sufrir daños ante un evento sísmico. En este punto cabe aclarar que, si bien existen numerosas técnicas para determinar la condición de vulnerabilidad sísmica a nivel de edificaciones, a los efectos de trabajar a escala urbana se adoptan parámetros de clasificaciones generales en función de datos probables de obtener de manera rápida y sencilla.

Esta variable quedará establecida por cuatro indicadores que, según el criterio adoptado en esta tesis y en función de los antecedentes analizados, representa las principales características para determinar la vulnerabilidad, en el ámbito de la unidad mínima de diagnóstico determinada por la manzana:

- *El responsable constructivo, en términos de establecer quién fue el garante de la iniciativa y/o ejecución de la construcción, quedando establecido como: estatal (comprende edificios y/o barrios que suponen una acción directa del estado o gestión gubernamental y por consiguiente una responsabilidad sobre su condición de sismorresistencia), privados tipo 1 (comprende emprendimientos privados de gran o mediana envergadura, incluyendo barrios, comercios, industrias entre otros, en las cuales es probable que haya intervenido algún ente supervisor en la etapa de construcción o posterior*

habilitación), y privados tipo 2 (son construcciones en las que no se puede asegurar la supervisión de organismos reguladores de normas edilicias)

- El material predominante, en términos de referirnos a construcciones con estructuras: sismorresistentes (se evidencia un predominio de estructuras de hormigón armado, madera y/o metálica; con materiales de cerramientos aprobados por normas locales), mixtas (construcciones en las que se evidencia una multiplicidad de técnicas constructivas de diversas características aunque en su apariencia los materiales puedan considerarse como sismorresistentes) y no sismorresistentes (construcciones de evidente baja calidad, sin estructura aparente, mampostería de tierra cruda, etcétera).
- El año o antigüedad de la construcción será considerado al permitirnos por un lado determinar un parámetro asociado al posible Código Sismorresistente adoptado en el diseño estructural; pero además posibilita evaluar el hecho de haber sufrido algún daño producto de sismos anteriores. Ambas características definirán los quiebres en la valoración del indicador dependiendo de las particularidades de localización de la ciudad evaluada.
- La densidad constructiva, entendida como la relación entre la impronta de las construcciones multiplicada por la cantidad de pisos de estas y el espacio libre no construido de la unidad de diagnóstico (manzana). Los segmentos para este parámetro dependerán también de las características particulares del territorio, en función de sus densidades edilicias medias.

b) Por otro lado las redes de infraestructura serán entendidas como el conjunto de obras que soportan la configuración y el normal funcionamiento de las ciudades, posibilitando el uso del territorio urbano especialmente ante una emergencia. Es sabido que, frente a una situación de amenaza, la vulnerabilidad a escala urbana se encuentra directamente afectada por la obstrucción de las redes de consideradas como vitales. Esto es así, no sólo porque algunas se relacionan con servicios esenciales para el desarrollo de las actividades humanas cotidianas, sino además porque son fundamentales para facilitar los procesos de evacuación y/o permitir el acceso para el aprovisionamiento en caso de emergencia. La falta de conexión o áreas con escasa accesibilidad, y/o la irrupción de cualquiera de las redes consideradas esenciales provoca que ciertos sectores urbanos se vean más vulnerables frente a determinadas amenazas.

En tal sentido se considera evaluar las características físico–constructivas de:

- *La red vial, que debido a su doble rol dentro del sistema urbano (ordenador³⁴ y funcional³⁵), se constituye como la red por excelencia a la hora de garantizar el funcionamiento y acceso de las diferentes áreas dentro de las ciudades. Esta red, destinada a canalizar la circulación de vehículos y organizar los flujos de tránsito y clasificada según el rol jerárquico, se evaluará en función de sus características constructivas propias en términos de material de la cubierta (pavimentado, consolidado y tierra) y el estado de conservación (bueno, regular y malo) de segmentos cada 100 metros.*
- *Las redes que pueden afectar a la red vial directamente debido a los posibles daños que estas pudieran sufrir (cloaca, canales de riego, eléctrica y de telecomunicaciones) y que se traducirán en un índice de incidencia en la vulnerabilidad de la red vial. Particularmente en la estimación de la vulnerabilidad de estas redes también existen diversas metodologías específicas (AWWA³⁶; Romero, 2012; Alonso y otros, 2020), sin embargo, poder implementarlas depende en gran medida del nivel de detalle de los datos disponibles. Para este trabajo se considera que los elementos que las integran (cañerías, empalmes, cruces, torres, antenas, postes, cables y transformadores, etcétera) han sido efectivamente calculados y verificados por el organismo responsable, por lo que sólo su evaluación quedará expresada en función de encontrarse superpuesta con la red vial de manera subterránea, paralela o superficial en las categorías de existente, proyectada e inexistente.*

³⁴ Rol ordenador: las particularidades físicas y funcionales de los elementos que forman parte de la red vial contribuyen a la definición funcional de las áreas por las cuales atraviesan.

³⁵ Rol funcional: los distintos elementos de la red vial constituyen los canales de circulación y vinculación de la ciudad con el territorio circundante y de los distintos sectores de la ciudad entre sí.

³⁶ American Water Works Association (AWWA). En este estudio se presenta información técnica de gran valor para la prevención de los daños que podría provocar un terremoto en los distintos componentes que forman parte de un sistema de abastecimiento. La información se basa en situaciones reales en las que se han producido daños. Se describen también las soluciones técnicas que se han implementado para reconstruir sistemas afectados o evitar daños en nueva infraestructura. Disponible en <http://helid.digicollection.org/en/d/Js8246s/>

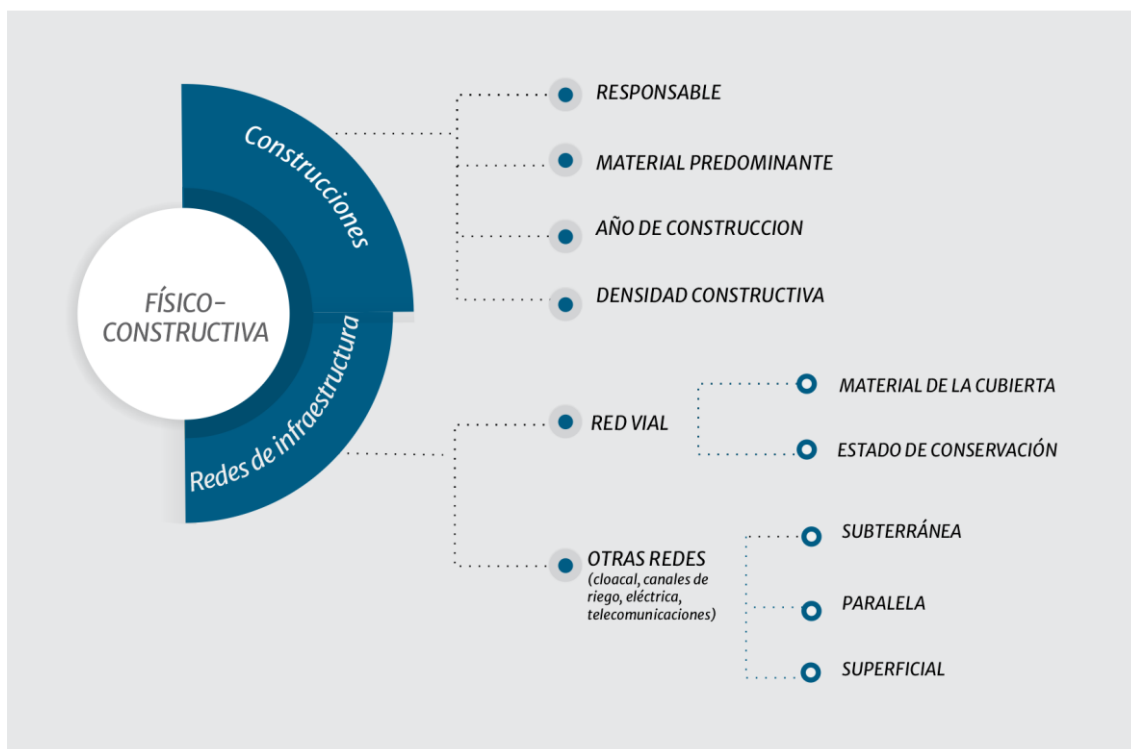


Figura 19: Variables y dimensiones del componente físico-constructivo – Fuente: Elaboración propia (2020).

3.1.2 Componente Sociodemográfico

Como quedó establecido inicialmente, el riesgo conceptualmente tiene una fuerte componente social puesto que el mismo adquiere niveles de desastre sólo cuando las pérdidas producidas ante un suceso superan la capacidad de la población de soportarlas, o bien cuando los efectos impiden que pueda recuperarse fácilmente. Se considera que las personas tienen distintos activos y recursos que movilizan según determinadas estrategias, para responder a los contextos de cambio y las oportunidades del entorno (Fernández, 2017).

En esencia se entiende que esta componente social comprende aquellas situaciones en donde grupos, hogares o individuos, están expuestos a quedar afectados por cambios en sus condiciones de vida, por lo cual se hallan en una situación de mayor inseguridad en comparación a otros grupos, hogares o individuos. En términos de Castel (1999), este tipo de vulnerabilidad es el resultado de una creciente yuxtaposición entre la precariedad económica y la inestabilidad social.

Las referencias metodológicas y métricas disponibles para evaluar la vulnerabilidad social en general provienen de cuantificar los niveles de pobreza de

una población, las más utilizadas en Argentina remiten a los enfoques de las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) y la Línea de Pobreza (LP). Estas metodologías se aplican con información que proviene de los censos o encuestas organizadas, enfocando a la vulnerabilidad como una problemática heterogénea, dinámica, multicausal, de carácter coyuntural pero también condicionado por cuestiones estructurales.

Al respecto, las NBI permiten la identificación de grupos de pobreza estructural a diferencia de la pobreza considerada únicamente como insuficiencia de ingresos. Conceptualmente, el NBI indica carencia o condiciones de privación de servicios indispensables y está basado en el establecimiento de umbrales mínimos de bienestar, según niveles universalmente aceptados, los cuales deben ser alcanzados a partir de la cobertura de un cúmulo de necesidades materiales básicas. Así, cuando los hogares, las viviendas o la población que habita en las mismas no satisface tales necesidades, son categorizados con diferentes NBI³⁷: 1, 2, 3, 4 y 5.

Según Carreño (2007) un área que experimenta un alto deterioro social es más vulnerable y por lo tanto está en mayor riesgo. Así, las características sociodemográficas de las personas que habitan en cada unidad mínima de diagnóstico (N2) quedan determinadas por las condiciones de vida generales de la comunidad en función de los indicadores de:

- a) La densidad poblacional concebida como la relación entre la cantidad de habitantes y el área que habitan, estableciendo quiebres en función de las características demográficas particulares del territorio evaluado.
- b) Necesidades Básicas Insatisfechas³⁸ por ser el método que mejor refleja el estado de privación asociado a la falta de acceso a bienes y servicios debido a que los indicadores resultantes miden la pobreza estructural. (Beccaria & Minujín, 1985;

³⁷ <http://www2.mecon.gov.ar>

³⁸ De acuerdo con la metodología censal adoptada por el INDEC, se consideran hogares con NBI a aquellos que presentan al menos una de las siguientes características: NBI 1 es el tipo de vivienda, en la que habitan hogares, no destinadas a fines habitacionales incluyendo además viviendas precarias. NBI 2 incluye a los hogares que no poseen retrete. NBI 3 es la relación entre la cantidad total de miembros del hogar y la cantidad de habitaciones de uso exclusivo del hogar. Técnicamente se considera que existe hacinamiento crítico cuando en el hogar hay más de tres personas por cuarto. NBI 4 hogares que tienen al menos un niño en edad escolar (6 a 12 años) que no asiste a la escuela. NBI 5 incluye a los hogares que tienen cuatro o más personas por miembro ocupado y que tienen un jefe que no ha completado el tercer grado de escolaridad.

Gómez y otros, 2004). Si bien este indicador se relaciona directamente con las características socioeconómicas de la población, a los efectos de evaluar la vulnerabilidad sísmica se entiende que influyen en diferentes escalas, así se establece que aquellos relacionados a la calidad de la vivienda, el hacinamiento y las posibilidades de ingresos económicos de los hogares adquieren mayor relevancia. Los quiebres de valoración quedarán definidos en función de las medias estadísticas para el área estudiada.

A partir de la combinación de ambos parámetros se puede construir una imagen que facilite conocer el posicionamiento relativo de los hogares en la estructura del contexto y traducirlo como nivel de vulnerabilidad según diferentes jerarquías.



Figura 20: Variables y dimensiones del componente sociodemográfico – Fuente: Elaboración propia (2020).

3.1.3 Componente Funcional

Como es sabido, algunos componentes del espacio urbano tienen un impacto relevante en el normal funcionamiento de una ciudad según los niveles de confort a los que aspiran las sociedades actuales; sus relaciones (conexiones, correspondencia y vínculos) o falta de estas determina en gran medida el nivel y calidad de vida de sus habitantes. Además, la existencia o no de determinadas instalaciones o servicios influye directamente en los niveles de vulnerabilidad de una comunidad en términos generales. De esta manera, la importancia relativa de cada variable queda determinada por la función que desempeña dentro de

distintos niveles de acción considerando que estas relaciones funcionales pueden limitar la capacidad de respuesta de la sociedad afectada.

Entendiendo que particularmente frente a un sismo de gran intensidad, se estima que áreas bien provistas, accesibles y seguras responden ante un evento sísmico con mejor eficacia que aquellas que no cuentan con estas características, e independientemente de sus aspectos técnico-constructivos, las variables a considerar desde el punto de vista funcional quedan determinadas por:

a) La conectividad, a través de la accesibilidad vial³⁹, en función de suponer que frente a una emergencia resulta imprescindible poder acceder a todas las áreas afectadas de manera rápida y sencilla. La accesibilidad en este caso se refiere a la posibilidad de llegar a los diferentes puntos de la ciudad a través distintas alternativas de la red vial, debido a posibles interrupciones o daños que pudiera sufrir esta. Sabiendo que tanto la red vial como aquellas redes que podrían afectarla directamente ya fueron consideradas desde sus características físico-constructivas, se evalúa entonces la posibilidad de contar con más de una manera de acceder a cada fragmento. Basados en su configuración espacial (continuidad en la trama) y los distintos niveles de jerarquías presentes se determina el nivel de conectividad para cada sector en particular.

b) La dotación de servicios y equipamiento considerados esenciales:

- Por un lado, se considera la cobertura de servicios considerados esenciales (agua, electricidad y cloaca), en cuanto que la falta o interrupción de alguno de estos servicios puede incrementar los índices de vulnerabilidad en el normal funcionamiento de una comunidad. Cabe destacar además que el no acceso a alguno de estos servicios puede suponer en algunos casos alternativas de conexiones fuera de norma con su consecuente incremento de situaciones de peligro colateral⁴⁰. La escala queda definida por

³⁹ La conectividad hace referencia a la capacidad de enlace o a la existencia de conexión en el marco del tránsito en la ciudad. En este sentido, no se debe confundir conectividad con accesibilidad. La accesibilidad hace referencia a la condición de acceso que las personas tienen en determinado lugar, mientras que la conectividad tiene que ver con la conexión (Santos et al, 2008: 17).

⁴⁰ Particularmente al servicio de cloacas implica que en muchos casos la evacuación de excretas se efectúe mediante posos absorbentes, y que estos constituyan una amenaza extra para las construcciones si se encuentran cercanos a las mismas.

consiguiente entre aquellas áreas según cuenten con el servicio, se encuentre en etapa de proyecto o no tengan acceso.

- Por otro lado, dentro de las ciudades existen equipamientos que debido a la función que desempeñan y al servicio que prestan adquieren primordial importancia en los casos de emergencia. Estos equipamientos o instalaciones deben mantenerse totalmente operativas para el adecuado manejo de cualquier contingencia que afecte a un grupo social. Nos referimos a los centros de salud, de seguridad (bomberos, defensa civil, policía, ejército, etcétera), de gestión (oficinas de Gobierno, uniones vecinales, ONG, agrupaciones civiles, etcétera) y de comunicación (aeropuertos, estaciones de radio y televisión, etcétera cercanas al área). Considerando que sus características físico-constructivas ya fueron evaluadas y suponiendo que todas estas instalaciones en gran medida son construcciones oficiales, y que deberían responder a un código de edificación, sólo haremos referencia a la existencia o no de estas instalaciones y su nivel de complejidad en los distintos sectores analizados.

c) Por último, el destino que cumplen los espacios constituye un punto de gran importancia en la evaluación de los niveles de vulnerabilidad presentes en un territorio. Por un lado, porque son precisamente estos destinos los que determinan una posible concentración de personas en el interior de una edificación al momento de ocurrir un evento sísmico, escenario que claramente podría incrementar situaciones desfavorables si no se han previsto recaudos en términos de planes de evacuación. Por otro lado, porque en las ciudades existen elementos que por la función que desempeñan se consideran críticos y se constituyen como una amenaza extra en el caso de un eventual sismo de gran intensidad por el solo hecho de existir.

De esta manera se evalúa la variable en función de tres dimensiones:

- El uso, en referencia al uso efectivo del suelo, independientemente del destino o función asignado por norma. Quedando definido en tres grupos: Grupo 1⁴¹ de uso institucional de administración y/o servicios (incluye salud, educación, deporte, culto, cultura, seguridad, gobierno, equipamiento y sedes sociales),

⁴¹ Categorizados en la norma INPRES – CIRSOC 103 como Ao ó A.

Grupo 2⁴² de uso definido como residencial de alta densidad y/o grandes comercios/industrias (incluye viviendas en PH, hospedajes, oficinas y comercios con superficies importantes, fábricas e industrias, etcétera) y Grupo 3⁴³ de uso residencial y/o pequeños comercios (incluyendo viviendas en propiedad individual, comercios de escala barrial, y todas aquellas construcciones que se considera que aunque pudieran sufrir algún daño, no constituyen una amenaza para las personas).

- Por otro lado, las grandes construcciones (plantas químicas, depósitos de combustibles, diques, industrias contaminantes, etcétera) o entes puntuales (tanques elevados de considerables dimensiones, grandes antenas o torres de alta tensión, etcétera) pueden constituirse como amenazas. Su evaluación quedará determinada por la cercanía que existe entre estos elementos y el resto, en función de un posible radio de acción. En este sentido su presencia y/o cercanía incrementa el grado de vulnerabilidad de la comunidad expuesta.
- El espacio público⁴⁴ merece una categoría de análisis particular, entendiendo que es uno de los elementos esenciales en la organización de los asentamientos humanos y determinante en la forma y la disposición de las ciudades. Dentro de lo considerado como espacio público, los espacios verdes⁴⁵ de uso urbano (parques, plazas, plazoletas) se constituyen como los de mayor interés en cuanto su expresión física, particularmente en circunstancias de emergencia, puede significar una oportunidad para albergar funciones temporales, establecer puntos de ayuda, o simplemente ponerse a resguardo en el momento del evento y posterior al mismo. Actualmente existen metodologías específicas para medir este indicador (Carballo, 2005; Nacif, 2016; Castelao y otros, 2019), sin embargo, se toma de referencia lo

⁴² Categorizados en la norma INPRES – CIRSOC 103 como B.

⁴³ También definidos en la norma INPRES – CIRSOC 103 como B.

⁴⁴ Se considera al espacio público como el espacio destinado al uso público y accesible a todos, independientemente de su dominio. El espacio público está caracterizado, principalmente, por su uso colectivo y su multifuncionalidad. Es un espacio social, de convivencia, interacción e intercambio. Permite la expresión colectiva y la diversidad social y cultural, dando lugar a la cohesión social y a la construcción de identidad.

⁴⁵ Se considera al espacio verde como aquellas áreas exentas o predominantemente libres de construcción, destinadas a alojar diferentes tipos de especies vegetales y pueden ser utilizadas para el desarrollo de actividades recreativas/deportivas al aire libre. Son elementos territoriales de alto valor ambiental, cultural y visual; dan lugar a algunas funciones urbanas fundamentales para la vida de una sociedad, como las de encuentro, socialización y construcción de identidad y se comportan como elementos ordenadores tanto de la vida social como de la edificación urbana.

establecido por la Organización Mundial de la Salud (Hábitat III, 2015) quien recomienda un umbral mínimo de 9 m² de espacio verde por habitante.

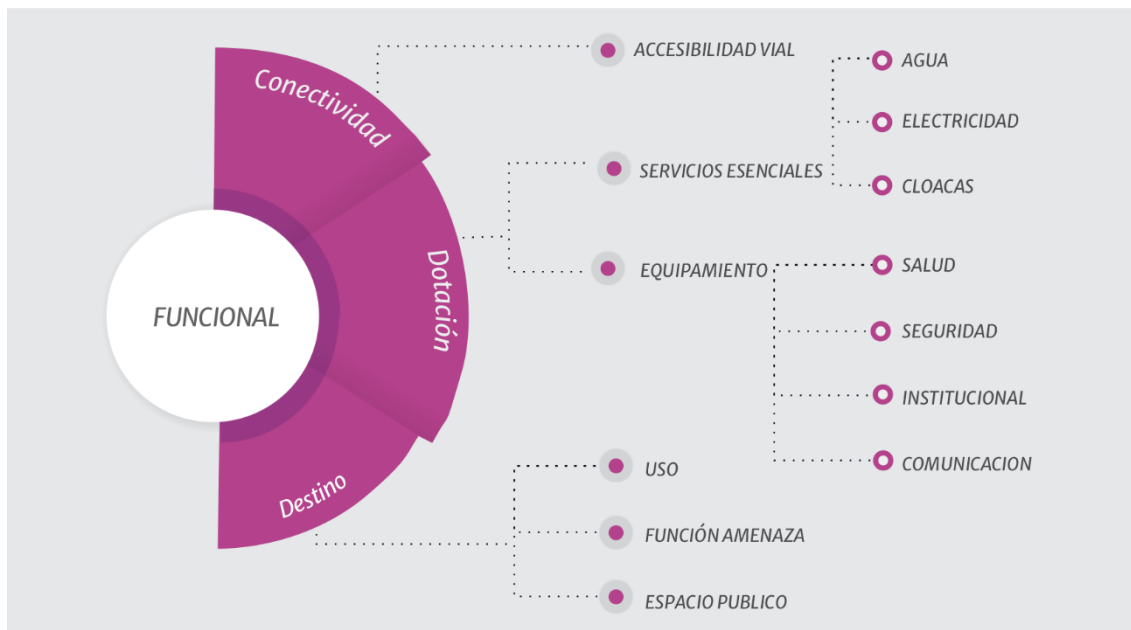


Figura 21: Variables y dimensiones del componente Funcional – Fuente: Elaboración propia (2020).

4. Modelo de Vulnerabilidad Sísmica Urbana

Un modelo es la representación simplificada de un sistema con el objeto de conocer y/o predecir el comportamiento de algunas de sus propiedades a través de su simbolización. Podemos decir además que sirven para comprender la realidad más allá de su experimentación directa, por tanto, una selección de los factores relevantes y una adecuada relación entre sus componentes es fundamental; considerando a su vez que cada uno de los componentes representados debe tener una relación directa con el componente real.

En el análisis del riesgo la construcción de modelos se realiza para conocer o predecir propiedades que se desconocen del objeto real. Algunos autores llegan a incluir esta expresión de finalidad en la propia definición de modelo: “...un objeto M es un modelo de X para un observador O, si O puede utilizar M para responder a cuestiones que le interesan acerca de X” (Aracil, 1986 – pág. 123).

Existen diversas metodologías y técnicas orientadas a determinar los grados o niveles de vulnerabilidad sísmica a los que se encuentra expuesto un territorio, y dependen principalmente de factores relacionados a: la naturaleza y la escala del objeto en estudio (sea un edificio, una ciudad, una sociedad); la información

disponible (existente o con posibilidades de ser obtenida); el resultado esperado y el destinatario de la información resultante. La metodología que se emplee en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica depende en definitiva del modelo adoptado y del objetivo al que busca responder, pudiendo estar orientado a cuantificar los efectos sobre la población, los daños en las edificaciones, la afectación de los sistemas, etcétera (Quiñonero, 2017).

Independientemente de los métodos empleados para determinar el grado de vulnerabilidad de un elemento o conjunto de ellos, lo cierto es que todos apuntan a obtener índices que constituyen parámetros relativos que permiten cuantificar la susceptibilidad del o los elementos a la acción sísmica. En cualquier caso, los métodos que conducen a un índice de vulnerabilidad permiten ser aplicados de manera sencilla; aunque pueden calificarse y considerarse en su mayoría como subjetivos.

Para estudiar un sistema, en nuestro caso un área urbana bajo riesgo sísmico urbano, existen al menos dos técnicas o herramientas que pueden considerarse como más apropiadas debido al enfoque multidisciplinar y a la naturaleza de las variables que se desean involucrar.

La primera de estas técnicas que podemos nombrar es la de simulación en la que la estructura interna del sistema y sus relaciones se mantienen fijas, y se estiman las respuestas al cambiarse ciertas condiciones. Esta simulación puede tener bases determinista o estocástica, discreta o continua, lineal o no lineal, lo que en general la convierte en un proceso complicado y confuso. Estos modelos son aplicados usualmente cuando el interés es identificar las causas subyacentes del comportamiento del sistema, aunque es también frecuente encontrarlos aplicados cuando el objetivo es predecir futuros con base a información histórica, o para identificar las mejores soluciones.

La segunda técnica, y más utilizada en la estimación de los niveles de vulnerabilidad, se basa en la evaluación multicriterio (EMC) debido a sus posibilidades para representar situaciones o estados de sistemas multidimensionales, dinámicos y/o complejos de manera integral. A través de la identificación de variables se establece un análisis jerárquico y se determina el impacto o peso de cada variable respecto de las demás o su influencia (teniendo en cuenta la opinión de expertos o de diversos actores sociales involucrados), utilizando matrices de relaciones. La EMC es conceptualmente entendida como el

conjunto de métodos, modelos, técnicas y herramientas dirigidas a perfeccionar la calidad integral de los procesos de decisión, mejorando su efectividad, eficacia y eficiencia (Tibaduiza y otros, 2015). En este sentido, la aplicación de estas metodologías de evaluación debe seguir un proceso en el que la decisión, en función de la elección de variables y su valoración, se va construyendo a través de criterios.

Sobre las técnicas de EMC podemos decir que la más frecuentemente utilizada para establecer los pesos de los criterios o variables en estudios del territorio es la denominada Proceso Analítico Jerárquico (PAJ)⁴⁶ desarrollada por Saaty (1980). Este procedimiento se destaca por la facilidad y sencillez para dividir una decisión compleja en un conjunto de decisiones simples, facilitando la comprensión y solución de algún problema. Además, esta técnica analiza los factores que intervienen en el proceso de decisiones sin requerir que estos se encuentren en una escala común.

No obstante, y más allá del tipo de técnica con la que se trabaja, lo cierto es que en su mayoría la estimación de los niveles de vulnerabilidad se funda en modelos matemáticos y resulta necesario que en su aplicación se consideren algunas características entre las que podemos citar:

- Simplicidad (un modelo no es necesariamente mejor por tener gran cantidad de variables o parámetros).
- Modestia (se debe aspirar a resaltar aquellos aspectos de interés y no intentar imitar la realidad en su totalidad).
- Exactitud (debe en la medida de lo posible reproducir el funcionamiento del territorio o sistema y generar valores fiables).

4.1 Construcción del modelo

En base a seleccionar para este trabajo la EMC, en una primera etapa es necesario definir los componentes que integrarán el modo de evaluar la vulnerabilidad sísmica de un área urbana determinada. Sin embargo, no se debe perder de vista que como se dijo inicialmente la selección debe realizarse bajo una mirada holística, pero respetando las características territoriales y sus particularidades. Si

⁴⁶ Por sus siglas en inglés: Analytical Hierarchy Process – AHP

bien se entiende que el proceso de evaluación de vulnerabilidades requiere de una mirada multi e interdisciplinar, según los alcances establecidos en esta tesis y como se dijo anteriormente, la vulnerabilidad sísmica en esta propuesta queda definida por tres componentes conforme sean sus características físico-constructivas, sociodemográficas y funcionales.

A su vez hacia el interior de cada uno de estos componentes encontramos subcategorías (variables) que representan los principales ejes implicados en la toma de decisiones sobre la reducción de la vulnerabilidad sísmica a escala urbana; y que constituyen las líneas de abordaje que definen las oportunidades y capacidades de mitigación de dicha vulnerabilidad en el territorio. (SERGISAI, 1998; Cardona, 2001; Romero, 2012; Burga, 2015; INPRES, 2018).

4.1.2 Valoración de las matrices

De las múltiples técnicas multicriterio existentes, se selecciona para este trabajo el PAJ el cual se sustenta en un método matemático, basado en el uso de comparaciones pareadas, en donde para incorporar las preferencias, se reemplazan las percepciones humanas por valores numéricos con sentido, evaluados en una escala de razón estableciendo prioridades entre los elementos de cada nivel de manera biunívoca y construyendo matrices a partir de éstas. En términos generales, al construir esta matriz se definen los pesos que reflejan la importancia relativa de los criterios a través de equivalentes numéricos de ponderación, que posibilitan una valoración subjetiva de las variables de análisis y que incluyen diversos componentes en situaciones de amenaza existentes (Saaty, 1980).

Según lo establece Cardona (2001) en su tesis, el PAJ posee la ventaja de combinar variables tanto cualitativas como cuantitativas, y brinda la posibilidad de comparar criterios por su importancia relativa, aun sin disponer de datos numéricos. Se destaca además que esta técnica es empleada a nivel internacional para el análisis del riesgo a partir de la construcción de distintos índices de vulnerabilidad frente a diversas amenazas y bajo miradas integrales por distintas ciencias (Cardona 2001; Moreno y otros 2012).

Una vez determinadas las partes y sus escalas de intervención, en esta instancia se determina la importancia en términos relativos que posee cada una sobre el resto de las que fueron definidas para la misma categoría espacial de análisis. Para ello se debe realizar su ponderación, es decir, establecer el factor de participación o qué tan importante es esta con respecto a las demás.

Se considera oportuno destacar que, si bien esta técnica podría presentar algunas críticas por la limitación de una base explícitamente replicable, se evidencia que la misma es empleada a nivel internacional en investigaciones de estas características, motivo por el cual es empleada en el presente estudio. Se entiende que una acción de esta naturaleza debe tratar de capturar el conocimiento colectivo de la totalidad de expertos involucrados, sin embargo, es una opción factible y razonable para expresar un criterio para la ponderación subjetiva en base a la experiencia propia y diversas publicaciones (Cardona, 2012; Romero, 2012; Alonso y otros, 2020).

El proceso se inicia con la creación de una matriz cuadrada, en la que el número de filas y columnas viene definido por el número de elementos considerados. La utilización de una escala fundamental para establecer los valores (juicios) correspondientes a las comparaciones, es la que permite la valoración numérica y la construcción de matrices cuadradas $A=(a_{ij})$ que reflejan la dominación relativa de un elemento frente a otro respecto a un atributo (Camargo, 2018).

En el presente trabajo las matrices quedan definidas inicialmente por un reagrupamiento de las variables en función de las distintas escalas espaciales de abordaje con el fin de comparar y valorar cada uno de los datos necesarios en los niveles de análisis adecuados. Se establece por lo tanto un nuevo cuadro de relaciones entre variables según se observan en la siguiente figura (ver Figura 22).

A cada elemento de la matriz se le asigna una valoración y de esta manera cuántas veces es más relevante un componente respecto al otro, en términos de vulnerabilidad sísmica a escala urbana. Esa relevancia está determinada por la selección de un valor dentro de un rango de valores comprendido entre 9 (más importante que...), 1 (igual de importante que...) y 1/9 (menos importante que...) (ver Tabla 1).

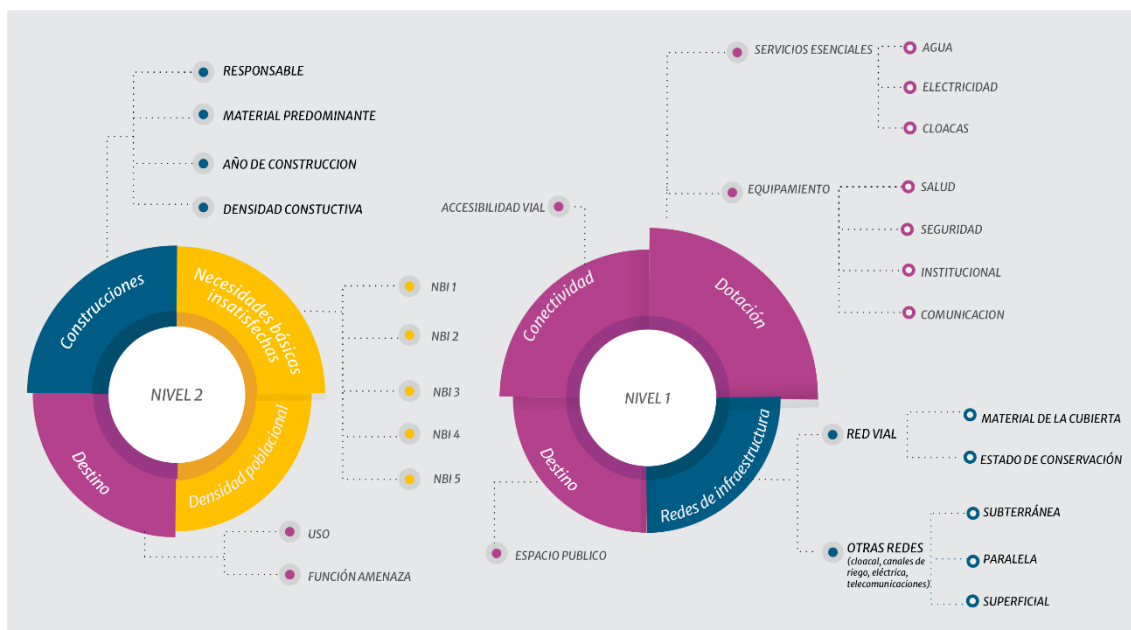


Figura 22: Reagrupamiento de variables por niveles – Fuente: Elaboración propia (2020).

Escala de Saaty	Escala recíproca de Saaty
1 Igual importancia entre ambos elementos	1 Igual importancia entre ambos elementos
3 Débil importancia de un elemento sobre otro	1/3 Débilmente menos importancia un elemento sobre otro
5 Moderada importancia de un elemento sobre otro	1/5 Menos importancia un elemento sobre otro
7 Fuerte importancia de un elemento sobre otro	1/7 Mucho menos importancia un elemento sobre otro
9 Importancia absoluta de un elemento sobre otro	1/9 Absolutamente menos importante un elemento sobre otro
2	1/2
4 Valores intermedios	1/4 Valores intermedios
6	1/6
8	1/8

Tabla 1: Escala de medida para la designación de los juicios de valor (a_{ij}) – Fuente: Elaboración propia (2020) en base a Saaty (1980).

Posteriormente, a partir de la suma por filas y su división en el valor de la suma total de la columna, se obtienen las unidades abstractas válidas para cualquier escala en la que se integran las preferencias que se obtuvieron al hacer las comparaciones. Estos valores son los coeficientes de puntuación necesarios para la construcción de índices parciales. (Moreno Jiménez y otros, 1998).

En continuidad con el procedimiento metodológico, y del mismo modo, se conforman las matrices de comparaciones pareadas para realizar la ponderación definidas para cada nivel y así determinar la valoración de cada una de ellas (ver Tabla 2, 3 y 4). De esta manera se obtienen los coeficientes de incidencia de cada uno de los niveles espaciales, los cuales permiten construir diferentes ecuaciones a las que denominaremos índices de vulnerabilidad sísmica (ver ecuación N1, N2 y amenaza).

El próximo paso corresponde a la modelización la vulnerabilidad sísmica en función de variables seleccionadas como prioritarias bajo el uso de un SIG. En función de lo enunciado, se obtendrá la valoración y espacialización de cada uno de los niveles estimando los índices de vulnerabilidad a los que está sometida el área de estudio.

		A	B	C		
Índice de Amenaza Sísmica	Aceleración Máxima del Terreno	A	1,00	2,00	2,00	5,00
	Acción Sobre la Vibración	B	0,50	1,00	1,00	2,50
	Áreas C/Potencial de Licuefacción	C	0,50	1,00	1,00	2,50
						10,00
						0,50
						0,25
						0,25
						1,00

Tabla 2: Asignación de la importancia a cada par según el nivel espacial N2. Fuente: Elaboración propia (2020).

			A	B	C					
Nivel 2	Físico Constructivo		A	1,00	1,00	3,00	5,00	0,45		
	Sociodemográfico		B	1,00	1,00	2,00	4,00	0,35		
	Funcional		C	0,33	0,50	1,00	1,83	0,20		
							10,83	1,00		
Nivel 2	Construcciones	Responsable	A	1,00	1,00	3,00	0,20	5,20	0,20	
		Material predominante	B	1,00	1,00	3,00	3,00	8,00	0,35	
		Año de construcción	C	0,33	0,33	1,00	0,50	2,17	0,10	
		Densidad Constructiva	D	5,00	0,33	2,00	1,00	8,33	0,35	
							23,70	1,00		
	Necesidades Básicas Insatisfechas *1		A	1,00	2,00			3,00	0,65	
			B	0,50	1,00			1,50	0,35	
	Densidad Poblacional								4,50	1,00
	Destino	Uso	A	1,00	5,00			6,00	0,80	
			B	0,20	1,00			1,20	0,20	
		Función Amenaza							7,20	1,00
*1	Necesidades Básicas Insatisfechas	NBI 1	A	1,00	5,00	1,00	5,00	0,33	12,33	0,20
		NBI 2	B	0,20	1,00	0,14	1,00	0,14	2,48	0,05
		NBI 3	C	1,00	7,00	1,00	7,00	3,00	19,00	0,35
		NBI 4	D	0,20	1,00	0,14	1,00	0,14	2,48	0,05
		NBI 5	E	3,00	7,00	0,33	7,00	1,00	18,34	0,35
							54,63	1,00		

Tabla 3: Asignación de la importancia a cada par según el nivel espacial N2. Fuente: Elaboración propia (2020).

			A	B	C	D	E				
Nivel 1	Índice Vul. Redes Infraestr. *2		A	1,00	0,30	0,30	1,00	1,00	3,60	0,10	
	Conectividad	Accesibilidad vial	B	3,33	1,00	1,00	0,30	1,00	6,63	0,20	
	Dotación	Servicios esenciales *3	C	3,33	1,00	1,00	0,20	0,20	5,73	0,15	
		Equipamiento *4	D	1,00	3,33	5,00	1,00	3,00	13,33	0,35	
	Destino	Espacio Público	E	1,00	1,00	5,00	0,33	1,00	8,33	0,20	
									37,63	1,00	
			A	B	C	D	E				
*2	Índice Vul. Red Infraestructura (vial)	Red vial/ Mat. de la Cubierta	A	1,00	7,00	3,00	3,00	3,00	17,00	0,45	
		Red vial / Estado de Conserv.	B	0,14	1,00	3,00	3,00	3,00	10,14	0,25	
		OR/ subterránea (Cloacas)	C	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,67	0,10	
		OR/ Paralela (Canales)	D	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,67	0,10	
		OR/ Superficial (Electr. – Telecom.)	E	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,67	0,10	
									38,14	1,00	
			B1	B2	B3						
*3	Servicios esencial	Agua	B1	1,00	1,00	3,00					
		Electricidad	B2	1,00	1,00	3,00					
		Cloaca	B3	0,33	0,33	1,00					
									5,00	0,40	
									5,00	0,40	
									1,67	0,20	
									11,67	1,00	
			C1	C2	C3	C4					
*4	Equipamiento	Salud	C1	1,00	2,00	1,00	2,00				
		Seguridad	C2	0,50	1,00	1,00	1,00				
		Institucional	C3	1,00	1,00	1,00	1,00				
		Comunicación	C4	0,50	1,00	1,00	1,00				
									6,00	0,35	
									3,50	0,20	
									4,00	0,25	
									3,50	0,20	
									17,00	1,00	

Tabla 4: Asignación de la importancia a cada par según el nivel espacial N1. Fuente: Elaboración propia (2020).

$$IAS = 0,50 * AMT + 0,25 * ASV + 0,25 * APL$$

Ecuación 1: Índice de amenaza sísmica

$$VSU N2 = 0,45 * (0,20 * FC Constr. responsable + 0,35 * FC Constr. material + 0,10 * FC Constr. año + 0,35 * FC Constr. dens. constr.) + 0,35 * (0,65 * SD NBI + 0,35 * SD densidad pobl.) + 0,20 * (0,80 * FN uso + 0,20 * FN func. amenaza)$$

Ecuación 2: Índice de vulnerabilidad sísmica urbana para N2

$$VSU N2 = 0,10 * (0,45 * FC RV cubierta + 0,25 * FC RV estado + 0,10 * FC OR subterránea + 0,10 * FC OR paralela + 0,10 * FC OR superficial.) + 0,20 * FN CONECT. Acc. vial + 0,15 * (0,40 * FN agua + 0,40 * FN electri. + 0,20 * FN cloaca) + 0,35 * (0,35 * FN salud + 0,20 * FN seguridad + 0,25 * FN institucional + 0,20 * comunica.) + 0,20 * FN esp. Público$$

Ecuación 3: Índice de vulnerabilidad sísmica urbana para N1

SÍNTESIS

En el contexto de los escenarios de riesgos socioambientales, la construcción de modelos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana presenta en la actualidad un importante desafío, motivo por el cual el abordaje debe realizarse desde una visión holística y un enfoque que contemple la complejidad e interdependencia de las variables (Camargo, 2018).

En procesos de modelado de niveles de vulnerabilidad el reconocimiento de esta complejidad es posible a través de la toma de decisiones multicriterio (EMC), por permitir resolver problemáticas complejas combinando la objetividad y racionalidad procedimental con la subjetividad de la toma de decisiones. Podemos decir que numerosos autores afirman que la EMC, resulta una herramienta útil para identificar elementos que componen respuestas concretas a interrogantes y desafíos que se presentan en la toma de decisiones (Galacho & Ocaña, 2006).

Este tipo de evaluación está basado en una racionalidad operativa y permite tener en cuenta aspectos y efectos inciertos, inconmensurables, multidimensionales y conflictivos; es un marco de estimación prometedor para realizar evaluaciones integrales (macro y micro) y para la toma de decisiones en ambientes de múltiples variables (Moreno y otros, 1998; Bernal & Cardona, 2018).

En términos secuenciales, la construcción se realiza acorde a las siguientes fases o etapas:

- *Determinación de elementos del sistema a través de la selección de variables y subvariables relevantes en el proceso de evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana.*
- *Valoración según criterios de las matrices de comparaciones pareadas de los elementos seleccionados según distintas escalas de nivel.*
- *Construcción de las ecuaciones de índices de vulnerabilidad.*

En la siguiente figura se observa la síntesis de la EMC de la vulnerabilidad sísmica urbana propuesta (ver Figura 23).

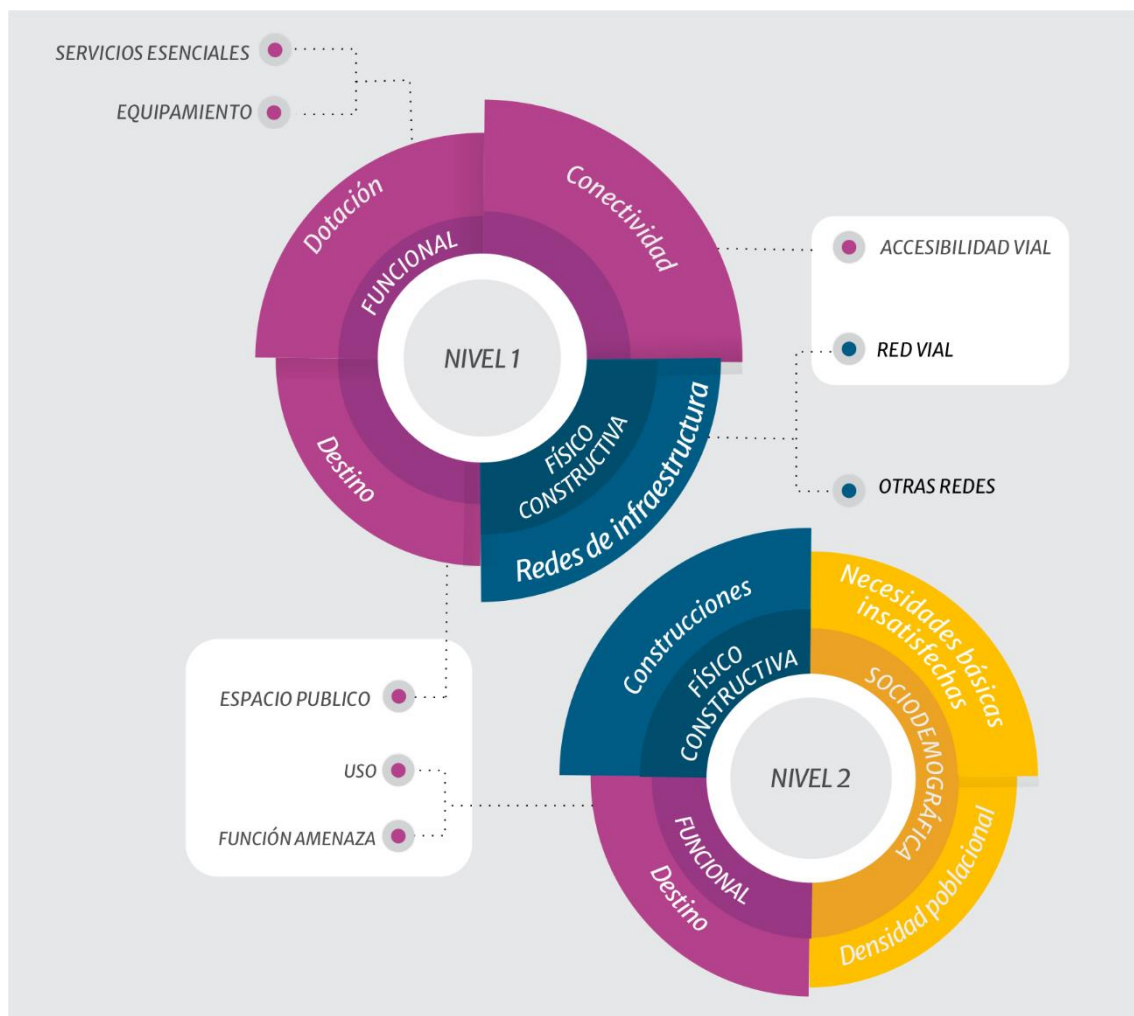
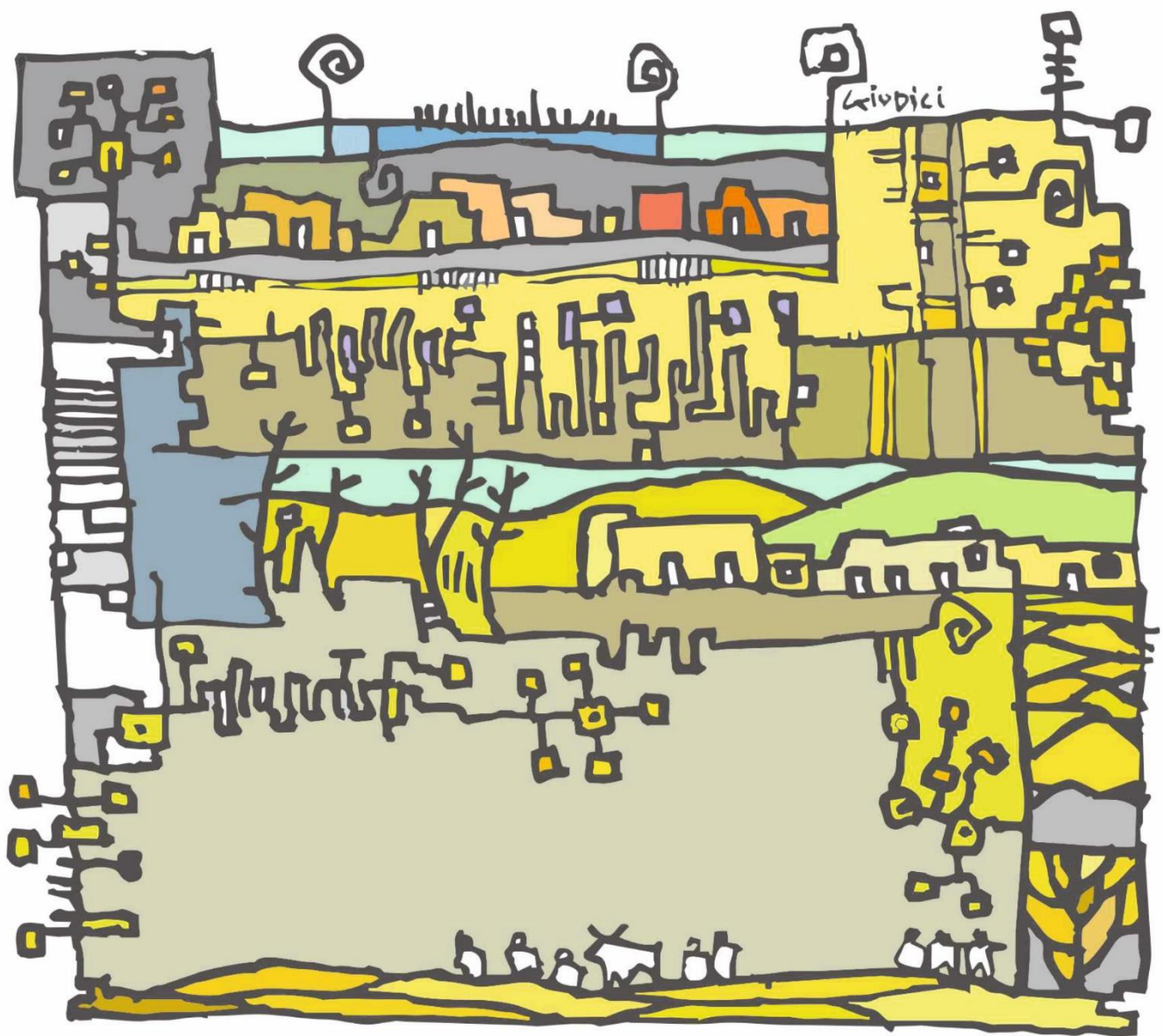


Figura 23: Síntesis de la EMC de la vulnerabilidad sísmica urbana – Fuente: Elaboración propia (2020).



*...la tierra no es La Tierra, el mapa no es
el territorio, el territorio no es el mapa.*

Alberto Blanco

03. Capítulo / La Vulnerabilidad en Ambientes SIG

1. *Introducción*

1.2. *El Riesgo en ambientes SIG*

2. *Arquitectura de los SIG*

2.1. *El modelo conceptual*

2.2. *El modelo lógico.*

2.3. *El modelo físico.*

Síntesis

CAPITULO III. LA VULNERABILIDAD EN AMBIENTES SIG

1. Introducción



El término SIG, sin ser en absoluto una tecnología novedosa, en líneas generales se aplica a entornos informáticos orientados a la gestión de datos espaciales (georreferenciados), constituyendo actualmente la herramienta más extendida para el trabajo en las ciencias geomáticas.

Según el Diccionario de Geografía aplicada y profesional (López Trigal, 2015) un SIG es un conjunto de herramientas compuestos por hardware, software, datos y usuarios, que permite capturar, almacenar, administrar y analizar información digital, así como realizar gráficos y mapas, y representar datos alfanuméricos. Un SIG también puede verse como un modelo informatizado de la realidad geográfica para satisfacer unas necesidades de información concretas, esto es, crear, compartir y aplicar información útil basada en datos y en mapas.

Una de las primeras referencias que encontramos en el desarrollo de estos sistemas es la experiencia del geógrafo británico Waldo Tobler, quien en 1959 define los principios de un sistema de datos geográficos representado dentro de un sistema



informatizado al que denominó “map in – map out” (MIMO)⁴⁷ abriendo así una ventana de nuevas posibilidades. Sin embargo, el primer SIG formalmente desarrollado aparece en Canadá a principios de los 60 de la mano de Roger Tomlinson, quien dio forma a un instrumento que tenía por objeto el manejo de los datos del inventario geográfico canadiense y su análisis para la gestión del territorio rural y que se denominó CGIS⁴⁸. El surgimiento de este sistema no solo implicó la creación de una herramienta nueva, sino también el desarrollo de nuevas oportunidades que hasta entonces no habían sido exploradas.

En los Estados Unidos a mediados de esta misma década en el Harvard Laboratory, se desarrolló una aplicación informática que permitía la entrada de información en forma de puntos, líneas y áreas, denominada SYMAP que despertó un gran interés en la comunidad científica y a quien se le atribuye ser uno de los primeros programas SIG (ver Figura 24).

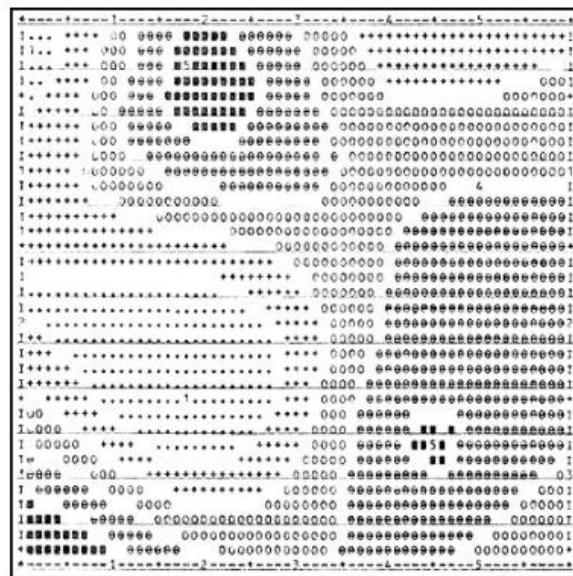


Figura 24: Aspecto de un mapa generado con SYMAP – Fuente: <https://volaya.github.io/libro-sig/index.html>

En 1980 la disponibilidad y el acceso creciente de computadoras personales y la popularización de la herramienta, hace que los SIG pasen a ser aptas para un uso más genérico y a estar disponibles en una gran variedad de ámbitos y disciplinas con particularidades según las medidas de sus necesidades. Un hecho histórico significativo de esta época es la aparición del primer SIG de licencia libre denominado GRASS el cual constituye hasta nuestros días un referente en esta

⁴⁷ <https://www.britannica.com/topic/MIMO>

⁴⁸ Por sus siglas en inglés: Canadian Geographic Information System – CGIS

línea. No obstante, en esta etapa y hasta principios de la década siguiente, el uso de los SIG estuvo limitado a grandes organismos públicos como agencias de medio ambiente, forestales y catastros.

En los inicios de los 90, con el nacimiento de la red informática mundial (www)⁴⁹ comienzan a implementarse en los SIG algunas aplicaciones en línea que se ven reflejadas en los primeros servidores de cartografías y atlas digitales; adquiriendo gran popularidad y convirtiéndolos en una herramienta ampliamente utilizada. En este punto podemos decir que los datos georreferenciados, en ámbitos de programas basados en un SIG, tomaron tal relevancia y popularización que hacia el año 2000 se abrieron nuevos caminos en cuanto a la precisión y manejo de dichos datos.

En este punto podemos decir que los datos georreferenciados, en ámbitos de programas basados en un SIG, tomaron tal relevancia y popularización que hacia el año 2000 se abrieron nuevos caminos en cuanto a la precisión y manejo de dichos datos. Un punto histórico en este sentido fue la Misión topográfica SRTM⁵⁰, un proyecto dirigido por la NASA cuyo objetivo se orientó a obtener información de la superficie terrestre de alta resolución (30 mtrs. aproximadamente).

Así, la adquisición y el manejo de datos georreferenciados adquirió niveles de desarrollo tan importantes, que fue necesario acompañar su evolución incluyendo procesos de carácter social y organizativo. Los esfuerzos por coordinar la enorme cantidad de datos espaciales generados por distintos organismos y sus diversos orígenes derivaron en la formulación de estrategias que contribuyan a compartir esa información.

En esta línea, las denominadas Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) son comunidades de información geoespacial que tienen como objetivo propiciar la publicación de datos, productos y servicios, de manera eficiente y oportuna como un aporte fundamental a la democratización del acceso de la información producida por el Estado y diversos actores, y al apoyo en la toma de decisiones en las diferentes actividades de los ámbitos público, privado, académico, no gubernamental y sociedad civil. Con estas iniciativas se puede acceder a datos, productos y servicios geoespaciales, publicados en internet bajo estándares y

⁴⁹ Por sus siglas en inglés también es frecuente encontrarlos como WWW (World Wide Web).

⁵⁰ Por sus siglas en inglés: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).



normas definidos, asegurando su interoperabilidad y uso, como así también la propiedad sobre la información por parte de los organismos que la publican y su responsabilidad en la actualización (Vilches, 2015).

Si bien las primeras IDEs fueron puestas en marcha en países europeos, hoy nos encontramos ante un abanico de iniciativas incluso a escalas menores (municipales o de organismos locales) alrededor de todo el mundo, que posibilitan el acceso público a través de sus geoportales o servicios de mapas a una innumerable cantidad de información con estándares de calidad altamente confiables. En esta gama de posibilidades, la accesibilidad y el fácil manejo de estas constituyen un aporte fundamental en la popularización de las iniciativas; un ejemplo de ello es la aparición de servicios como Google Maps o la variada gama de aplicaciones para dispositivos móviles⁵¹ que permiten acceder a información geográfica incluso en tiempo real y con componentes tecnológicos de bajas prestaciones.

Hoy nos encontramos en la era de las ciudades inteligentes⁵², basadas en la aplicación de las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC), un paradigma que ha encontrado gran aceptación entre los gestores del territorio de países con altos niveles de desarrollo, y en el que la información se captura y comparte al instante, integrando digitalmente a las personas con su entorno y facilitando la toma de decisiones a nivel gubernamental pero también personal. Estas iniciativas constituyen además las bases de la denominada “internet de las cosas”⁵³ y encuentran sus posibilidades a partir de bases SIG, sin los cuales sería imposible gestionarlas.

1.1 El Riesgo en ambientes SIG

Históricamente las técnicas analógicas de mapeo fueron implementadas durante muchos años para producir herramientas de apoyo en el análisis de los riesgos, que en la mayoría de los casos se limitaba a producir mapas de la distribución espacial

⁵¹ Por sus siglas en inglés también es frecuente encontrarlos como Apps (abreviatura de la palabra Applocation).

⁵² También conocidas por su término en inglés “Smart City”.

⁵³ También conocidas por su término en inglés “IoT” y hace referencia a la tendencia constante de conectar todo tipo de objetos físicos al Internet para que puedan compartir datos con otras cosas.

y temporal de los peligros y sus atributos. Estas técnicas se ejecutaban en función de un reducido número de variables a través de la superposición manual de capas, por lo que se producían mapas fundamentalmente para espacializar la distribución, frecuencia, topología y magnitud de amenazas, que no representaban una evaluación de riesgos propiamente dicha.

Metodologías basadas en estas técnicas analógicas, tienen fuertes limitaciones para el análisis de riesgos, debido al impedimento físico de no poder superponer más que un número pequeño de mapas. Como tal, resultan insuficientes para manejar grandes volúmenes de datos o para realizar operaciones espaciales más sofisticadas. Por otro lado, la información que se produce es fundamentalmente estática en carácter, dado el tiempo y recursos requeridos para redibujar manualmente los mapas (Vilches, 2015).

Desde una perspectiva actual, se entiende que esta acción resulta insuficiente y se debe recurrir a herramientas que brinden la posibilidad de integrar gran y variada cantidad de información con referencia en el territorio. Por ello hoy los esfuerzos e investigaciones se orientan a sistemas integrados y automatizados de almacenamiento de datos geográficos, análisis matemáticos de los mismos y presentación espacial de los resultados, tanto en forma alfanumérica como gráfica.

En este marco, las tendencias existentes para lograr la prevención de sucesos que generen desastres están dadas por la implementación de tecnologías novedosas que permiten brindar información oportuna para la toma de decisiones. Actualmente existen herramientas disponibles que pueden y deben ser utilizadas en la Gestión de Riesgo Urbano para prevenir la ocurrencia, mitigar las pérdidas, prepararse ante probables consecuencias y alertar la inminencia de un evento. En este sentido, los SIG juegan un papel fundamental al permitir crear modelos, en medio de la complejidad multiespacial, multitemporal y multiobjetivo (Massera, 2018; Pazmiño Zabala, 2020).

En este contexto es entonces poco sorprendente la introducción de estos sistemas para este tipo de estudios debido a que estos permiten gestionar grandes volúmenes de datos geográficos en diversas escalas; ofreciendo la posibilidad de representación y visualización de la información en diferentes formatos. Además, los SIG posibilitan gestionar sistemas dinámicos de información, en los cuales los datos pueden ser actualizados de manera continua y rápida, algo que en las técnicas analógicas resulta casi imposible. Su éxito se basa en la capacidad de

integrar diversas fuentes de información y actualizarla permanente, en contraposición a las formas fragmentadas del manejo de la información, que producen: duplicidad de registros, desactualización de la información, dispersión de información, esfuerzos paralelos, incompatibilidad de formatos, dificultad al acceso de los datos y desaprovechamiento de recursos. (Del Bosque y otros, 2012).

Entre las primeras experiencias de aplicación de los SIG en trabajos relacionados al riesgo, podemos referirnos a la desarrollada por la oficina de Menlo Park del United States Geological Survey para un condado del norte de California en los años 70. Otro ejemplo pionero de estas aplicaciones fue promocionado y ejecutado por la OEA, como un proyecto piloto a mediados de los 80, para la evaluación de amenazas naturales y mitigación de desastres en Honduras y Paraguay. Incluso podemos hacer referencia a la Emergency Preparedness Planning and Operations System (EPPOS) para la ciudad de Los Ángeles a mediados de los 80 (Cartaya, 2015) (ver Figura 25).

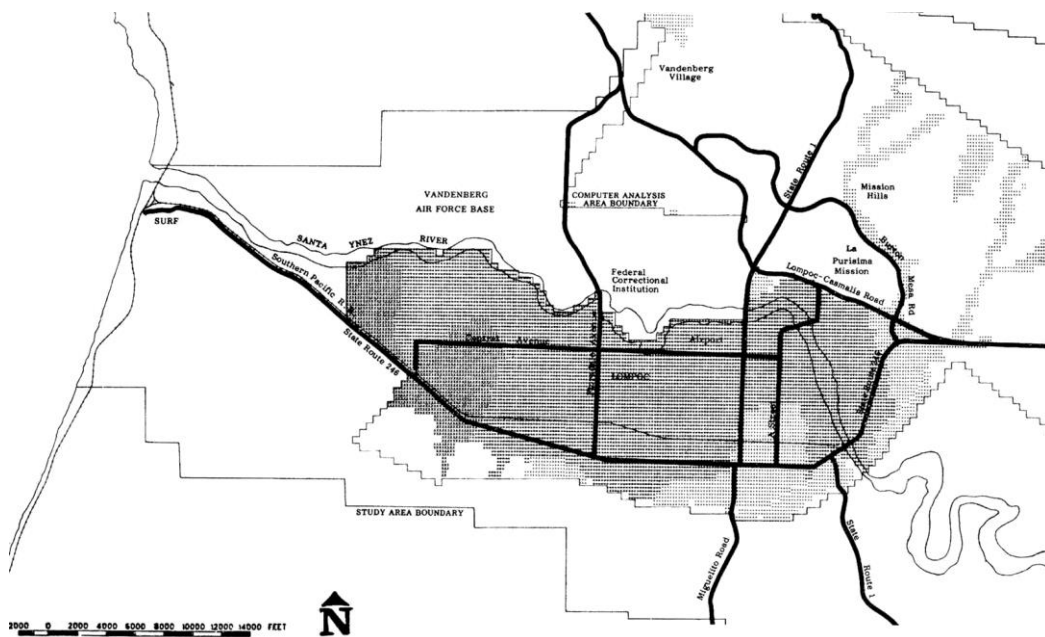


Figura 25: Mapa computarizado de 1979 de peligro de licuefacción – Fuente: <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea65s>

Sin embargo, todos estos trabajos constituían islas de saberes y aplicaciones. No fue hasta finales de los 90 en los que se publica un documento, que se ofrece una sistematización de experiencias de aplicación de los SIG al análisis de riesgos en América Latina, y un análisis de los problemas conceptuales y metodológicos que deberían enfrentarse en su diseño e implementación. Esta publicación, a cargo de La Red, tenía por objeto resaltar las cuestiones claves que deberían tomarse en

cuenta en las aplicaciones SIG para el análisis de riesgos y las posibles estrategias de diseño e implementación que podrían explorarse (Maskrey, 1998).

Producto de estas primeras experiencias se observan una serie de ventajas de la aplicación de los SIG en estudios relacionados a estimar los niveles de riesgo a los que se encuentra sometido un territorio; entre los beneficios más notables de su uso se destaca la reducción de costos, el aumento en la calidad de los resultados, la mejora en la amplitud y profundidad de los análisis, la contribución en la toma de decisiones, la coordinación en los procesos de desarrollo, la asistencia a planificadores en la selección de medidas de mitigación y la implementación de acciones de respuesta ante la emergencia.

Hoy podemos ver cómo los SIG se han incorporado como herramientas básicas e imprescindibles, y han ido sustituyendo y desplazando antiguas técnicas manuales menos precisas y más costosas. Las perspectivas de su aplicación son prácticamente ilimitadas, y en la actualidad se están incorporando a diversos campos.

En el ámbito de la gestión del riesgo es importante el poder realizar una sistematización y un manejo eficiente de la información. Los SIG, por su capacidad para el tratamiento de grandes volúmenes de datos complejos, permiten gestionar variables relativas a los recursos naturales y al medio físico, facilitan la comprensión de los aspectos espaciales que intervienen en el desarrollo social y económico, proporcionan una herramienta para determinar la localización óptima y el tipo de intervenciones más adecuado, simplifican la realización del seguimiento de los efectos causados por dichas intervenciones a diversas escalas y sobre áreas extensas para la supervisión de los procesos de progreso y cambio social (Cartaya, 2015).

Entre las aplicaciones más significativas de estos sistemas en ámbitos relacionados al riesgo podemos citar la utilización de SIG para: predecir el impacto de sismos, volcanes, inundaciones y/o huracanes; hacer mapas de amenazas y de vulnerabilidad de la población expuesta; diseñar sistemas que permitan actuar rápidamente a los servicios de socorro y llegar a una zona de desastre; incluso como se ha evidenciado recientemente como los SIG pueden ser utilizados para evaluar y analizar el comportamiento ante una pandemia como la que actualmente se vive a nivel mundial.



2. Arquitectura de los SIG

Según el Diccionario de Geografía aplicada y profesional (López Trigal, 2015) un SIG es un conjunto de herramientas compuestos por hardware, software, datos y usuarios, que permite capturar, almacenar, administrar y analizar información digital, así como realizar gráficos y mapas, y representar datos alfanuméricos. Un SIG también puede verse como un modelo informatizado de la realidad geográfica para satisfacer unas necesidades de información concretas, esto es, crear, compartir y aplicar información útil basada en datos y en mapas.

En términos generales podemos decir que esta tecnología se relaciona a un instrumento complejo, reflejo de la complejidad del objeto de estudio. Una definición que puede resultar un poco antigua pero que sigue resaltando el carácter complejo de los SIG es la de Dueker & Kjerne (1989) quien los define como un sistema integrado por componentes tecnológicos (hardware), programas (software), datos, personas / organizaciones para recopilar, almacenar, analizar y compartir información acerca de la tierra.

Bajo esta concepción se definen entonces que las funciones de mayor aplicación de estos sistemas se fundan en sus capacidades de:

- a) Almacenamiento: Se refiere tanto a datos espaciales como temáticos, a partir de la definición de modelos de codificación (abstracción) de los diferentes elementos y/o características del territorio.*
- b) Análisis: entendido como el proceso de examinar los atributos y relaciones de las características de los datos espaciales, empleando técnicas analíticas para abordar conocimientos y a partir de los resultados crear nueva información. Estas operaciones también incluyen consultas basadas en la selección de determinados elementos en función de un conjunto de criterios previamente definidos o determinadas condiciones, de tipo espacial o no (las consultas se basan tanto en atributos temáticos como en propiedades espaciales).*
- c) Modelización. Son las aplicaciones más elaboradas de los SIG y emplean los resultados de los análisis de datos mediante modelos dinámicos matemáticos o espaciales para validar diversas hipótesis.*
- d) Visualización: es la presentación de los resultados de la consulta y/o el análisis en forma de mapas, tablas o gráficos.*

Desde su arquitectura podemos establecer que inicialmente en el desarrollo de un SIG se debe codificar la información de la realidad perceptible a través de distintos niveles de abstracción. Esta codificación de los elementos y variables requiere una simplificación y cuantificación en función de presentar diferentes estructuras de sus datos que corresponden a diferentes modelos de la realidad.

La abstracción en la codificación incluye, en primer lugar, un modelo conceptual acerca de cómo entendemos la realidad; en segundo lugar, un modelo lógico que define las diferentes estrategias para codificar la realidad en función del modelo conceptual adoptado; y un tercer nivel, definido como modelo digital que concreta la implementación física de un determinado modelo lógico y que es específico de cada programa concreto. (Del Bosque y otros, 2012) (ver Figura 26).

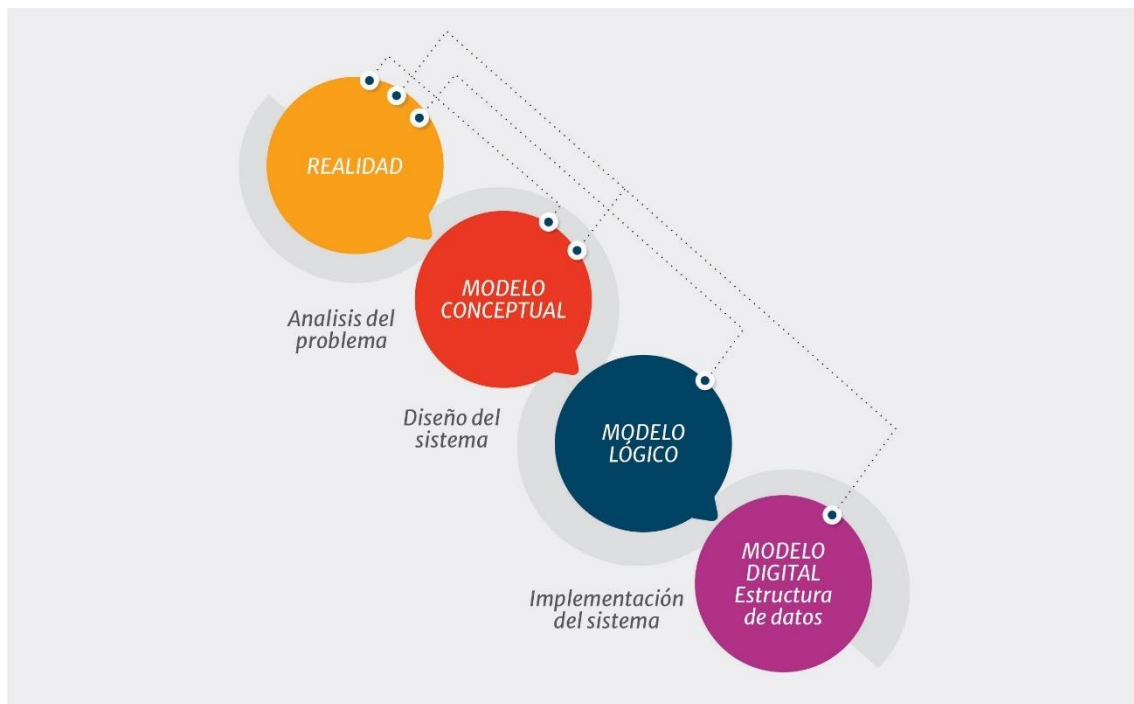


Figura 26: Esquema de la modelización en SIG – Fuente: Elaboración propia (2020).

2.1 El modelo conceptual

El primero de los modelos puede expresarse también en términos de modelo mental, y hace referencia a la manera en que percibimos e interpretamos la realidad geográfica (algunos autores también lo llaman modelo geográfico). Este modelo es un esquema que constituye una forma particular de entender el hecho geográfico y abarca tanto a un objeto determinado (o la yuxtaposición de varios objetos) como a las características cualitativas o cuantitativas de este.

Estos modelos consideran la existencia de dos tipos fundamentales de elementos sobre la superficie terrestre. Por un lado, las entidades que pueden percibirse como objetos simplificados con límites definidos y rasgos homogéneos en función de que sean interpretados como nodos (con una localización puntual de coordenadas x,y), líneas (donde prevalece una dirección) o áreas (objetos superficiales o de dos dimensiones). Escoger un tipo u otro para representar determinado objeto dependerá en gran manera de la escala y del tipo de abstracción que se pretenda hacer.

Por otro lado, las características⁵⁴ definidas por una serie de particularidades que pueden ser de tipo cualitativo o cuantitativo, adoptando valores diferente en distintos puntos del espacio y que por lo general presentan una correlación espacial y se representan a través de superficies continuas; pudiéndose crear superficies a partir de cualquier variable que no presente saltos bruscos en el valor (precipitaciones, temperaturas, densidad de población, etcétera). De este modo una porción del territorio puede caracterizarse por la superposición de un conjunto de superficies que se consideran como más significativas.

Hoy en día es frecuente encontrar modelos conceptuales que se basan en una combinación de ambos elementos, en función de entender y dar respuesta a sistemas de origen y comportamiento complejo (por ejemplo, el riesgo).

Particularmente, en este trabajo, el modelo de evaluación de la vulnerabilidad sísmica a escala urbana ha quedado definido desde su conceptualización en el capítulo anterior.

A partir de esa concepción, en el que la ponderación y combinación de las variables seleccionadas permite cuantificar las relaciones y los niveles de vulnerabilidad presentes en un territorio, se definen las características de cada uno de los elementos involucrados para los distintos niveles de representación espacial. Para ello es necesaria la valoración subjetiva de cada indicador, estableciendo para cada uno tres categorías en función de representar tres niveles de vulnerabilidad (alta, media y baja). Esta subjetividad, posteriormente se traduce mediante equivalentes numéricos de ponderación (EqNP) para que puedan ser aplicadas las ecuaciones

⁵⁴ También es posible encontrarlas con el termino de variables en diferente bibliografía.

de cada índice de vulnerabilidad en función de los datos. Siendo “alta” igual a 5, “media” igual a 3 y “baja” igual a 1.

A continuación, se detallan los EqNP para cada una de las variables y los niveles seleccionados en función del criterio propio adoptado. (ver Tabla 5, 6 y 7).

		EqNP Amenaza		
		1	3	5
Índice de Amenaza Sísmica	Aceleración Máxima del Terreno	$G < 0,25$	$0,25 \leq G < 0,35$	$0,35 \leq G$
	Acción Sobre la Vibración	Roca Estable	Roca Inestable	Suelo No Consolidado, Blando o de Relleno
	Áreas C/Potencial de Licuefacción	Baja	Media	Alta

Tabla 5: Equivalentes numéricos de ponderación para la amenaza. Fuente: Elaboración propia (2020).

			EqNP N2		
			1	3	5
Nivel 2	Construcciones	Responsable	Estado	Privado tipo 1	Privado tipo 2
		Material predominante	Sismorresistente	Mixtas	No Sismorresistente
		Año de construcción	Posterior a 1988	Entre 1980 y 1987	Anterior a 1979
		Densidad Constructiva	$< 35\%$	$35 \leq \% < 70$	$70 \leq \%$
	Necesidades Básicas Insatisfechas *1		< 233	$233 \leq x < 367$	$367 \leq$
	Densidad Poblacional		$< 40 \text{ hab./ha}$	$40 \leq \text{hab./ha} < 80$	$80 \leq \text{hab./ha}$
	Destino	Uso	Grupo 3	Grupo 2	Grupo 1
		Función Amenaza	$< 250 \text{ metros}$	$250 \leq \text{mtrs.} < 100$	$100 \leq \text{metros}$

*1	Necesidades Básicas Insatisfechas	NBI 1	$< 0,15\%$	$0,15 \leq \% < 0,37$	$0,37 \leq \%$
		NBI 2	$< 4\%$	$4 \leq \% < 6$	$6 \leq \%$
		NBI 3	$< 5\%$	$5 \leq \% < 8$	$8 \leq \%$
		NBI 4	$< 6\%$	$6 \leq \% < 8$	$8 \leq \%$
		NBI 5	$< 4,75\%$	$4,75 \leq \% < 5,5$	$5,5 \leq \%$

Tabla 6: Equivalentes numéricos de ponderación N2. Fuente: Elaboración propia (2020).

			EqNP N1		
			1	3	5
Nivel 1	Índice Vul. Redes Infraestr.*2		< 233	$233 \leq x < 367$	$367 \leq$
	Conectividad	Accesibilidad vial	Más de 3 Vías	Entre 2 y 3 Vías	1 Vía
	Dotación	Servicios esenciales *3	< 233	$233 \leq x < 367$	$367 \leq$
		Equipamiento *4	< 233	$233 \leq x < 367$	$367 \leq$
	Destino	Espacio Público	$\geq 15 \text{m}^2/\text{hab.}$	$15 > \text{m}^2/\text{hab} \geq 9$	$< 9 \text{ m}^2/\text{hab}$

*2	Índice Vul. Red Infraestructura (vial)	Red vial/ Mat. de la Cubierta	Pavimentada	Consolidado	Tierra
		Red vial / Estado de Conserv.	Bueno	Regular	Malo
		OR / subterránea (Cloacas)	Existente	Proyectada	Inexistente
		OR/ Paralela (Canales)	Existente	Proyectada	Inexistente
		OR / Superficial (Electr. – Telecom.)	Existente	Proyectada	Inexistente

*3	Servicios esencial	Agua	Con Servicio	Proyectado	Sin Servicio
		Electricidad	Con Servicio	Proyectado	Sin Servicio
		Cloaca	Con Servicio	Proyectado	Sin Servicio

*4	Equipamiento	Salud	Inst. Pública	Inst. Privada	sin presencia
		Seguridad	Más de 1 institución	al menos 1 institución	sin presencia
		Institucional	Gobierno / públicas	Agrup. Civiles	sin presencia
		Comunicación	Más de 1 medio	al menos 1 medio	sin presencia

Tabla 7: Equivalentes numéricos de ponderación N1. Fuente: Elaboración propia (2020).

Si bien en el capítulo anterior se determinaron algunos de los cortes en los que se dividen los indicadores, existen otros que responden a características particulares de la ciudad en la que se va a aplicar la matriz. Al respecto podemos hacer algunas aclaraciones que se consideran oportunas en función de esclarecer la adopción de estos.

- **Año de construcción:** se establecieron en base a las normas locales y los sismos históricos que afectaron la provincia de San Juan. En este sentido se observa

que anterior a 1944 las construcciones eran edificadas sin ningún tipo de código, entre 1945 y 1969 se aplicaba el primer código de edificación local, entre 1970 y 1979 eran utilizadas las normas CONCAR 70⁵⁵, entre 1980 y 1987 las NAA 80⁵⁶, y por último entre 1988 y hasta la actualidad se aplican las normas INPRES CIRSOC 103⁵⁷. Por otro lado, los sismos que más afectaron nuestra provincia se ubican en los años 1944, 1952, 1977 y 2021. Los cortes por lo tanto quedan determinados en construcciones anteriores a 1979, entre 1980 y 1987, y posteriores a 1988.

- Los valores medios de las NBI y de la densidad poblacional son obtenidos en base a datos a escala provincial y departamental. Quedando como límite inferior el valor promedio provincial, superior el valor promedio departamental, e intermedio el valor entre ambos.
- En los casos en que la variable esté en función de datos derivados de una ecuación previa (*1 NBI, *2 redes de infraestructura, *3 dotación de servicios esenciales y *4 dotación de equipamiento) los cortes quedan establecidos a partir de sus resultados posibles máximos (500) y mínimos (100). Estos valores de referencia se deben a que en el reemplazo de las ecuaciones el resultado cuando todos los EqNP sean igual a 5 es 500 y cuando todos los EqNP sean igual a 1 es 100. Estableciendo así el corte intermedio entre 233 y 367.
- La conectividad vial responde a la cantidad de vías que ingresan al fragmento y permiten acceder a las distintas manzanas del este. Esta consideración parte de considerar como punto inicial de conexión cualquier vía de primera o segunda jerarquía (en este caso ruta nacional o provincial) en los bordes del fragmento.
- En el índice de amenaza sísmica la aceleración máxima del terreno tiene cortes según el informe de Microzonificación sísmica del Valle del Tulum elaborada por el INPRES (1982).

⁵⁵ http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Reglamentos/CONCAR-70_Normas.pdf

⁵⁶ <http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Reglamentos/INPRES-NAA-80.pdf>

⁵⁷ <http://contenidos.inpres.gov.ar/acelerografos/inpres-cirsoc>

2.2 El modelo lógico

En la arquitectura de los SIG, el segundo de los modelos hace referencia a las diversas alternativas en cuanto a la forma de representar la realidad y plasmar el modelo geográfico concreto, es decir la manera en que se organizan y muestran las variables y/o entidades para lograr una representación adecuada. Este modelo toma los objetos representados en el modelo conceptual y los traduce a entidades, relaciones espaciales y características (atributos). Para un mismo tipo de información existen diversas alternativas en cuanto a la forma de materializar la realidad y plasmar el modelo geográfico o conceptual, y básicamente se dividen según sean de tipo raster o vectorial.

En el formato raster, en líneas generales podemos decir que se divide sistemáticamente el espacio en un conjunto regular de celdas (teselación), en las que cada una contiene un número que puede ser el identificador de una entidad (si se trata de una capa que contiene objetos) o del valor de una variable (si la capa contiene esta variable) (ver Figura 27).



Figura 27: Ejemplo de formato raster– Fuente: Elaboración propia (2020).

Estos modelos podemos sintetizarlos como mallas (las más habituales son cuadradas) que contienen dos elementos principales y que resultan necesarios para una definición completa de una capa ráster, debido a que no se recogen de forma explícita las coordenadas de cada una de las celdas sino tan solo los valores de

estas. La primera es la localización geográfica exacta de alguna celda (generalmente superior izquierda), y la segunda la distancia entre celdas. No obstante, sí que es necesario emplazar dicha malla en el espacio para después poder calcular las coordenadas particulares de cada celda.

Otro parámetro necesario junto con la orientación de la malla y la situación geográfica de una de sus celdas es el denominado tamaño de celda o tamaño de píxel, también conocido como resolución. Un tamaño de celda mayor implica una menor resolución, y viceversa. Por lo que este parámetro será de gran importancia en función de la escala de detalle con la que se desee trabajar y efectuar un análisis.

Por su parte el formato vectorial no divide el espacio completamente, sino que se vale de una serie de elementos geométricos ya sean puntos, líneas o polígonos (geometría euclidiana), con valores que guardan relación con los objetos geográficos presentes en la zona de estudio. La elección de uno u otro tipo de geometría para registrar una variable o conjunto de ellas se basa en el tipo de fenómeno que se pretende modelizar con dicha capa o la precisión necesaria, entre otros factores.

Particularmente en el modelo vectorial, se codifica de modo explícito debido a que los valores de los atributos asociados, a diferencia del caso ráster, suelen ser múltiples. Esta particular su estructura conlleva a que la componente temática deba ser almacenada en una base de datos relacional que gestiona los atributos, y que se enlaza con la componente espacial o elemento gráfico (ver Figura 28).

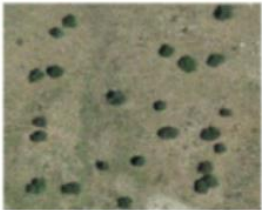
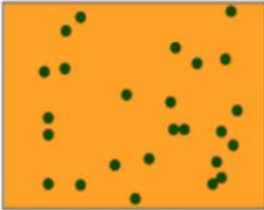
Primitiva	Entidad espacial	Representación	Atributos		
Puntos			Id	altura	diámetro
			1	17,5	35
			2	22	45,5
			3	15	27,2
			4	19,7	36,1
Lineas			Id	ancho	longitud
			1	35	120
			2	72	325
Polígonos			Id	área	Profund.
			1	35	120
			2	72	325

Figura 28: Ejemplo de formato vectorial– Fuente: Elaboración propia (2020).

El debate acerca de la conveniencia de uno u otro modelo (raster vs vectorial) ha dado lugar a una abundante bibliografía, sin embargo, se considera que la decisión se debe realizar principalmente en el tipo de estudio o enfoque que se quiera hacer; considerando también el programa a utilizar, las características de los recursos tecnológicos con los que se cuenta y los datos disponibles. Todo ello en función de entender que las capas ráster se asemejan a unidades de información autocontenidas y las vectoriales permiten ser gestionadas de manera independiente y en aplicaciones distintas por encontrarse la información almacenada en ficheros diferentes, con lo cual existe una división formal (ver Figura 29).

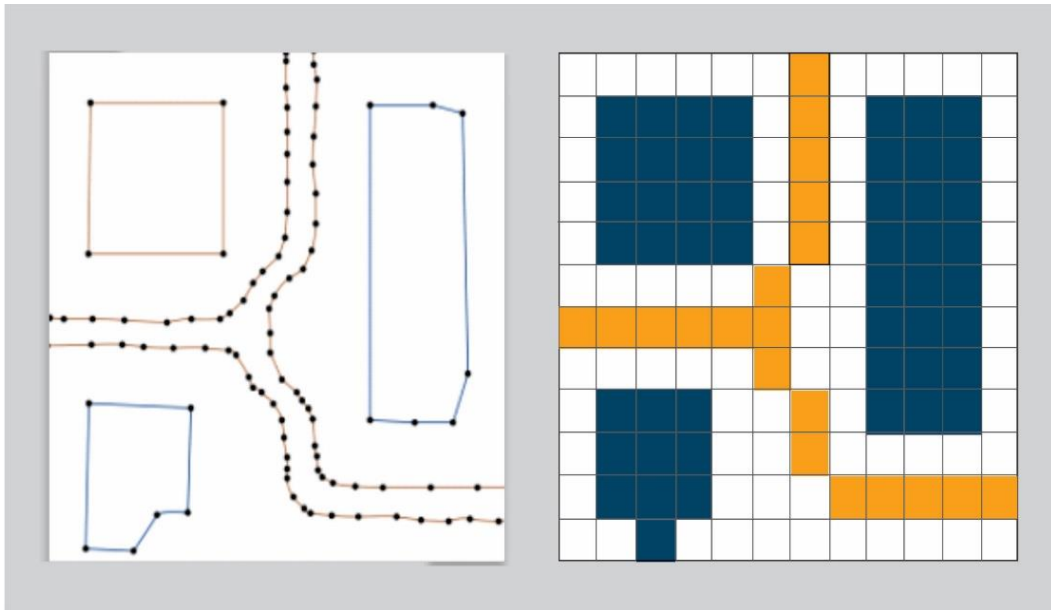


Figura 29: Comparación del modelo lógico en formato raster y vectorial – Fuente: Elaboración propia (2020).

El modelo adoptado en este trabajo se basa en elementos del tipo vectorial y según los atributos que las describen quedaran definidos como se muestra en las siguientes tablas (ver tabla 8, 9 y 10).

		Tipo	Unidad	Vector
Índice de Amenaza Sísmica	Aceleración Máxima del Terreno	Cuantitativa	G	Polígono
	Acción Sobre la Vibración	Cualitativa	---	Polígono
	Áreas C/Potencial de Licuefacción	Cualitativa	---	Polígono

Tabla 8: Modelo vectorial de la amenaza sísmica. Fuente: Elaboración propia (2020).

			Tipo	Unidad	Vector
Nivel 2	Construcciones	Responsable	Cualitativa	---	Polígono
		Material predominante	Cualitativa	---	Polígono
		Año de construcción	Cuantitativa	Cantidad de años	Polígono
		Densidad Constructiva	Cuantitativa	% Sup. Constr.	Polígono
	Necesidades Básicas Insatisfechas *1		Cuantitativa	% Poblac. NBI	Polígono
	Densidad Poblacional		Cuantitativa	Pobl. / Área	Polígono
	Destino	Uso	Cualitativa	---	Polígono
		Función Amenaza	Cuantitativa	Metros	Polígono

*1	Necesidades Básicas Insatisfechas	NBI 1	Cuantitativa	% Poblac. NBI 1	Polígono
		NBI 2	Cuantitativa	% Poblac. NBI 2	Polígono
		NBI 3	Cuantitativa	% Poblac. NBI 3	Polígono
		NBI 4	Cuantitativa	% Poblac. NBI 4	Polígono
		NBI 5	Cuantitativa	% Poblac. NBI 5	Polígono

Tabla 9: Modelo vectorial de la vulnerabilidad sísmica urbana N2 – Fuente: Elaboración propia (2020).

			Tipo	Unidad	Vector
Nivel 1	Índice Vul. Redes Infraestr. *2		Cualitativa	---	Polígono
	Conectividad	Accesibilidad vial	Cuantitativa	Cantidad de vías	Polígono
	Dotación	Servicios esenciales *3	Cualitativa	---	Polígono
		Equipamiento *4	Cualitativa	---	Polígono
	Destino	Espacio Público	Cuantitativa	% Sup. Esp. verdes	Polígono
*2	Índice Vul. Red Infraestructura (vial)	Red vial/ Mat. de la Cubierta	Cualitativa	---	Línea
		Red vial / Estado de Conserv.	Cualitativa	---	Línea
		OR / subterránea (Cloacas)	Cualitativa	---	Línea
		OR/ Paralela (Canales)	Cualitativa	---	Línea
		OR / Superficial (Electr. – Telecom.)	Cualitativa	---	Línea
*3	Servicios esencial	Agua	Cualitativa	---	Polígono
		Electricidad	Cualitativa	---	Polígono
		Cloaca	Cualitativa	---	Polígono
*4	Equipamiento	Salud	Cualitativa	---	Punto
		Seguridad	Cualitativa	---	Punto
		Institucional	Cualitativa	---	Punto
		Comunicación	Cualitativa	---	Punto

Tabla 10: Modelo vectorial de la vulnerabilidad sísmica urbana N1 – Fuente: Elaboración propia (2020).

Al respecto se observa que tanto en la amenaza como en el N2 (manzana) el tipo de vector es único (polígono), por lo que la aplicación de la matriz y la ecuación no presenta ninguna incompatibilidad aparente desde su punto de vista topológico. Sin embargo, en el N1 se han establecido tres tipos de vectores (puntos, líneas y polígonos) resultando necesario una conversión topológica de las variables a los fines de aplicar la matriz y ecuación desarrollada. Para ello se procede a traducir los valores resultantes de (*2 redes de infraestructura, *3 dotación de servicios esenciales y *4 dotación de equipamiento) en un valor aplicable a escala de fragmento, quedando de esta manera la información bajo la misma topología (polígono).

Además, en esta etapa se hace un diseño detallado de lo que contendrá el SIG y los productos generados, para ello es necesario listar la información que deberá contener cada registro (identificadores, tipo de dato, longitud) y los vínculos que se establecen entre los distintos elementos (Buzai y Baxendale, 2015).

Finalmente, cada entidad quedará codificada según el siguiente listado, en función del dato que describe y teniendo un máximo de hasta cinco componentes (ejemplo FC-R-RV/ma). Esta codificación será utilizada tanto para crear la base de datos (tablas de las capas) como para construir las consultas y aplicar las ecuaciones (ver tabla 11).

Por otro lado, cada registro deberá tener información que incluya:

- Un identificador único e irrepetible de tipo cuantitativo que diferencie al objeto dentro del conjunto, quedando definido por el nivel de análisis (N1, N2) y el número del elemento. (por ejemplo, 3001 en el que 3 corresponde al nivel y 001 a la manzana).*
- Las propiedades de cada objeto en función de ser cualitativas o cuantitativas, y según los tres criterios establecidos para cada uno.*
- El equivalente numérico de ponderación (EqNP).*

Índice de Amenaza Sísmica	AM	Aceleración Máxima del Terreno	AM/at
		Acción Sobre la Vibración	AM/av
		Áreas C/Potencial de Licuefacción	AM/pl

Físico Constructiva	Fc	Construcciones	FC-C	Responsable	FC-C /rp		
				Material predominante	FC-C /mp		
				Año de construcción	FC-C /ac		
				Densidad Constructiva	FC-C /dc		
		Redes de Infraestructura	FC-R ☒	Red vial	FC-R-RV	Mat. de la Cubierta	FC-R-RV/ma
						Estado de Conserv.	FC-R-RV/es
				Otras Redes	FC-R-OR	Subterránea	FC-R-OR/sb
						Paralela	FC-R-OR/pl
					Superficial	FC-R-OR/sp	

Sociodemográfica	SD	Necesidades Básicas Insatisfechas	SD-NBI	NBI 1	SD-NBI/1
				NBI 2	SD-NBI/2
				NBI 3	SD-NBI/3
				NBI 4	SD-NBI/4
				NBI 5	SD-NBI/5
		Densidad Poblacional	SD-DP		

Funcional	FN	Conectividad	FN-CV	Accesibilidad vial	FN-CV/av		
		Dotación	FN-DO	Servicios esenciales	FN-DO-SE	Agua	FN-DO-SE/ag
						Electricidad	FN-DO-SE/el
						Cloaca	FN-DO-SE/cl
				Equipamiento	FN-DO-EQ	Salud	FN-DO-EQ/sa
						Seguridad	FN-DO-EQ/se
						Institucional	FN-DO-EQ/in
						Comunicación	FN-DO-EQ/co
		Destino	FN-DE	Uso	RF-DE/us		
				Función Amenaza	RF-DE/fa		
				Espacio Público	RF-DE/ep		

Tabla 11: Codificación de los elementos – Fuente: Elaboración propia (2020).

2.3 El modelo físico

Es la implementación de los anteriores modelos en el programa o software seleccionado y por lo tanto se realiza de acuerdo con sus propias especificaciones. Al respecto, existen tareas básicas que deben realizarse en esta etapa entre las que podemos citar: la Configuración del sistema, el cargado de la información, la edición, conversión y/o gestión de los datos, y la visualización y producción cartográfica.

El modelo físico además determina en qué forma se deben almacenar los datos, cumpliendo con las restricciones y aprovechando las ventajas del sistema específico a utilizar. Este almacenamiento puede realizarse mediante Bases de datos de imágenes (representan fotográficamente la realidad), Bases de datos complementarias de imágenes (contiene símbolos gráficos y caracteres alfanuméricos georreferenciados al mismo sistema de coordenadas de la imagen real a la que complementan), Bases de datos cartográficos (almacena la información de los mapas que representan diferentes clases de información de una área específica y corresponden a las coberturas o categorías) y Bases de datos de información descriptiva (facilitan el almacenamiento de datos descriptivos en los formatos comunes de manera que puedan ser utilizados por otros sistemas).

Al momento de elegir el programa a utilizar se establecen algunas consideraciones en términos de:

- *Instalación del producto (facilidad en la instalación y requerimientos de hardware).*
- *Integración de datos (facilidad y/o eficiencia para la integración de datos alfanuméricos y/o geográficos de diferentes formatos; capacidad para el manejo de sistemas de proyección de coordenadas; facilidad para la incorporación y manejo de imágenes raster; y facilidad para la exportación de datos geográficos a otros formatos).*
- *Gestión de datos (capacidad para la creación de nuevas capas y/o elementos; facilidad de edición de elementos gráficos).*
- *Interacción entre los elementos y bases de datos (eficiencia en el manejo de atributos asociados a los elementos geográficos, facilidad*

para la generación de consultas a las bases de datos y los elementos espaciales.

- *Análisis espacial (eficiencia de las herramientas, capacidad de los filtros, y uso de relaciones espaciales).*
- *Generación y publicación de mapas temáticos (potencialidad de las herramientas y facilidad de uso en función de la definición de etiquetas, leyendas, escalas gráficas, etcétera).*
- *Herramientas de desarrollo (componentes complementarios y plugin).*
- *Precio (comparativo con otros productos similares).*

Finalmente tomando en cuenta estos aspectos, de la gama de productos disponibles en este momento, se observa que existen tres programas que podemos citar como de mayor frecuencia en uso: ArcGIS, gvSIG y QGIS. Los tres tienen sus ventajas e inconvenientes, y no hay una respuesta correcta que indique cuál es mejor; la selección de uno u otro depende del uso y aplicación que le demos. No obstante, y según distintas comparaciones de referencia, en este trabajo se utiliza QuantumGIS (Qgis) por ser libre, de código abierto y compatible con distintos sistemas operativos (GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android) y formatos de datos (shp, dwg, ewc, tiff, dbf, xls).

Este programa, de fácil y rápida instalación, permite manejar formatos de datos ráster y vectoriales almacenados en bases de datos propias o incluso con conexión a los servicios ofrecidos por las diferentes Infraestructuras de Datos Espaciales (WMS, WFS). Además, tiene una gran gama de extensiones, y se puede agregar nuevas funciones a través de los plugins.

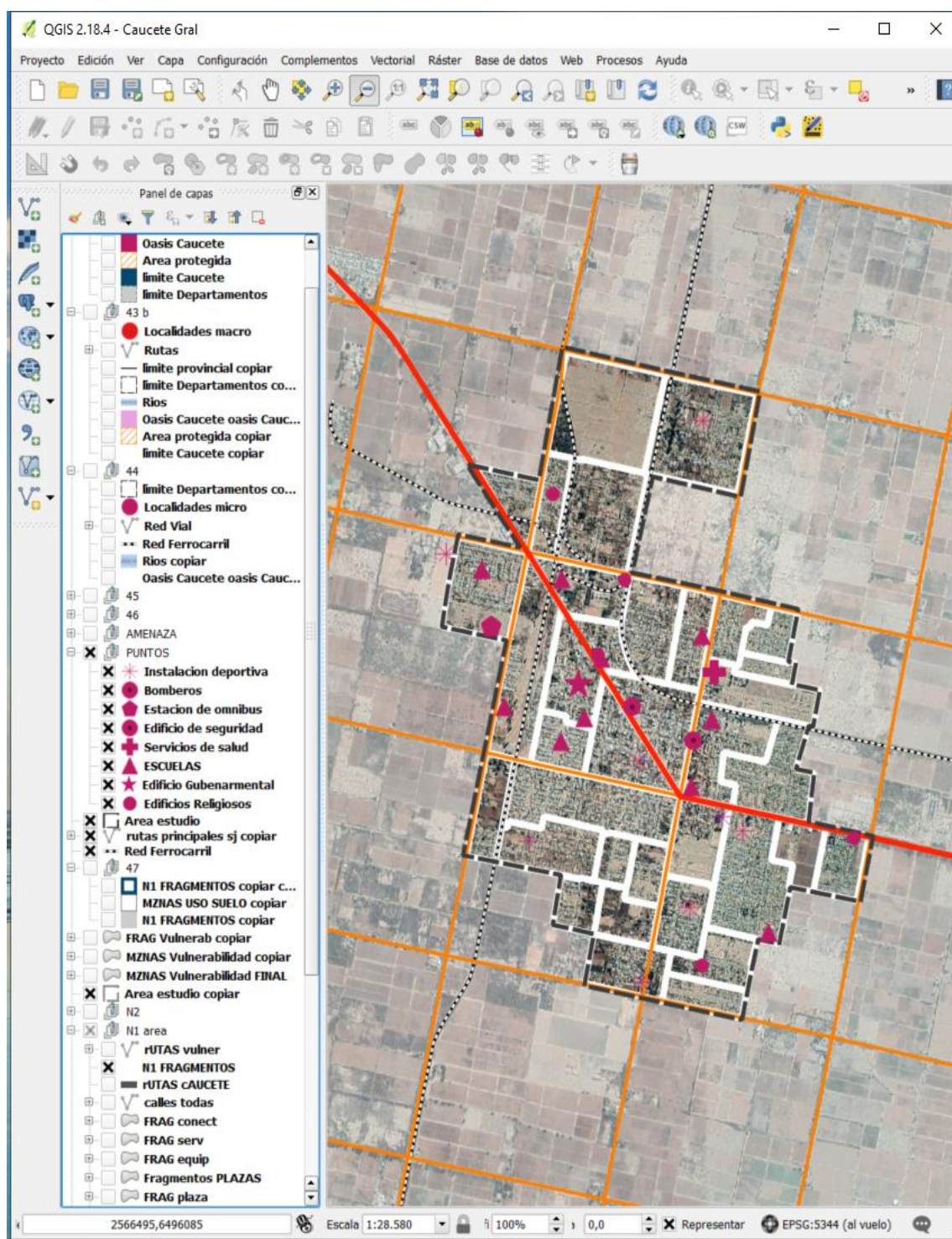


Figura 30: Captura de pantalla de visor de mapas de QGIS – Fuente: Elaboración propia (2020).

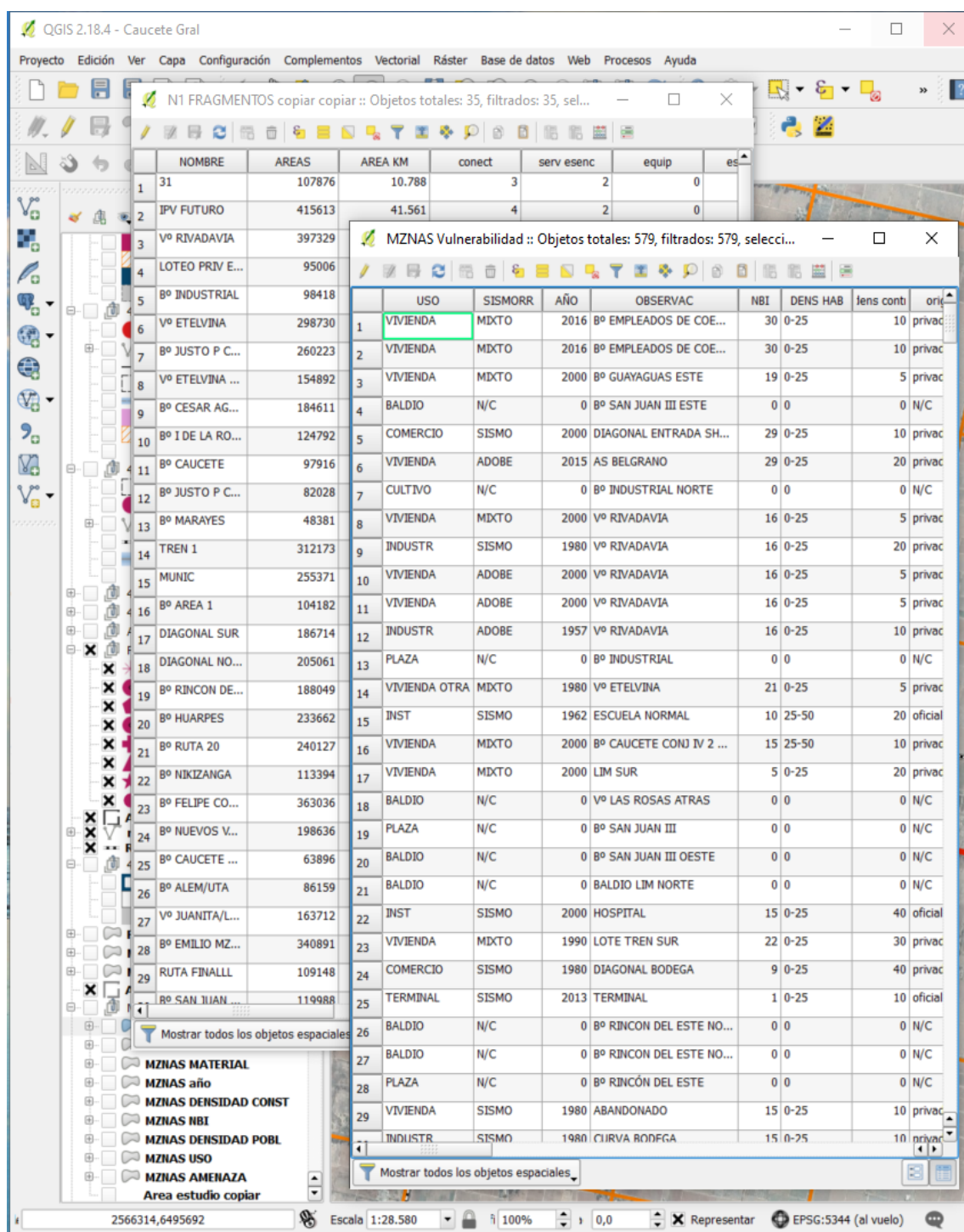


Figura 31: Captura de pantalla de tabla en QGis - Fuente: Elaboración propia (2020).

SÍNTESIS

Los SIG han experimentado en los últimos años un rápido desarrollo teórico, tecnológico, organizativo y una amplia difusión tanto en la administración de gobierno como en los ámbitos académico y profesional. El desarrollo y alcance de estos sistemas desde sus orígenes hasta nuestros días es considerablemente extenso y abarca un gran número de ciencias beneficiarias de sus aplicaciones. La popularización de estas tecnologías ha contribuido a incorporar elementos verdaderamente sorprendentes en áreas como las relacionadas a las ciencias de la tierra (geología, geofísica), la industria (minería, ingeniería), el turismo, el comercio, el urbanismo, incluso el entretenimiento por citar sólo algunos.

Al respecto, implementar un SIG en estudios como el propuesto en esta tesis constituye una herramienta imprescindible, ya que se hace necesaria la integración de una gran cantidad de información relacional (espacial y temática) en un ámbito de interoperabilidad georreferenciada. En este sentido los SIG permiten relacionar datos gráficos (planos de infraestructura, mapas urbanos, imágenes satelitales) con otros alfanuméricos (demográficos, geológicos, características de la edificación, etcétera) que pueden ser permanentemente actualizados, permitiéndonos crear supuestos y obtener de manera inmediata sus consecuencias; y que además puede ser permanentemente actualizada (Camargo, 2018; León Trujillo y otros, 2019).

La aplicación de estas tecnologías agiliza, sin duda, la visualización y representación espacial de diversas variables y posibilita la generación de análisis, geoprosesos y modelación de los datos de manera dinámica. Además, la aplicación de estos sistemas puede ayudar en el avance, de forma más efectiva, de estudios relacionados a la gestión del riesgo. Sin embargo, el diseño de un modelo espacial no puede llevarse a cabo autónomamente, para llegar a esta representación es necesario nutrirse de un modelo conceptual del fenómeno por analizarse, que a su vez en un ambiente SIG deberá ser acompañado de un modelo lógico y de uno físico. Y en términos secuenciales puede expresarse de la siguiente manera:

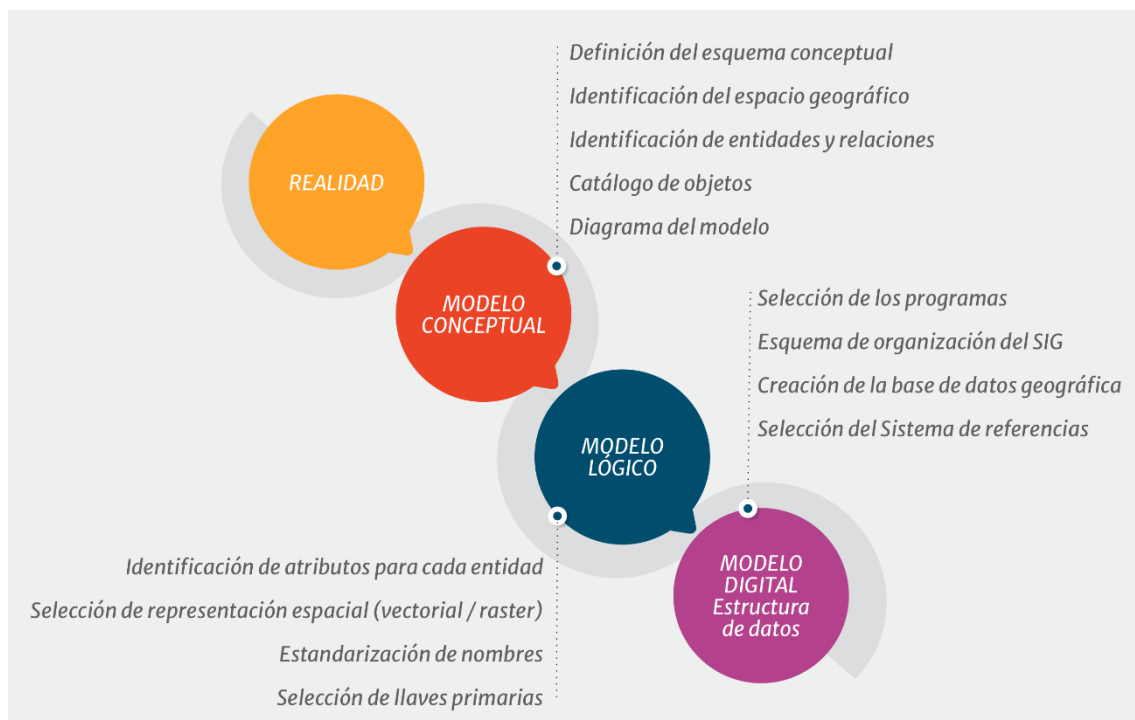
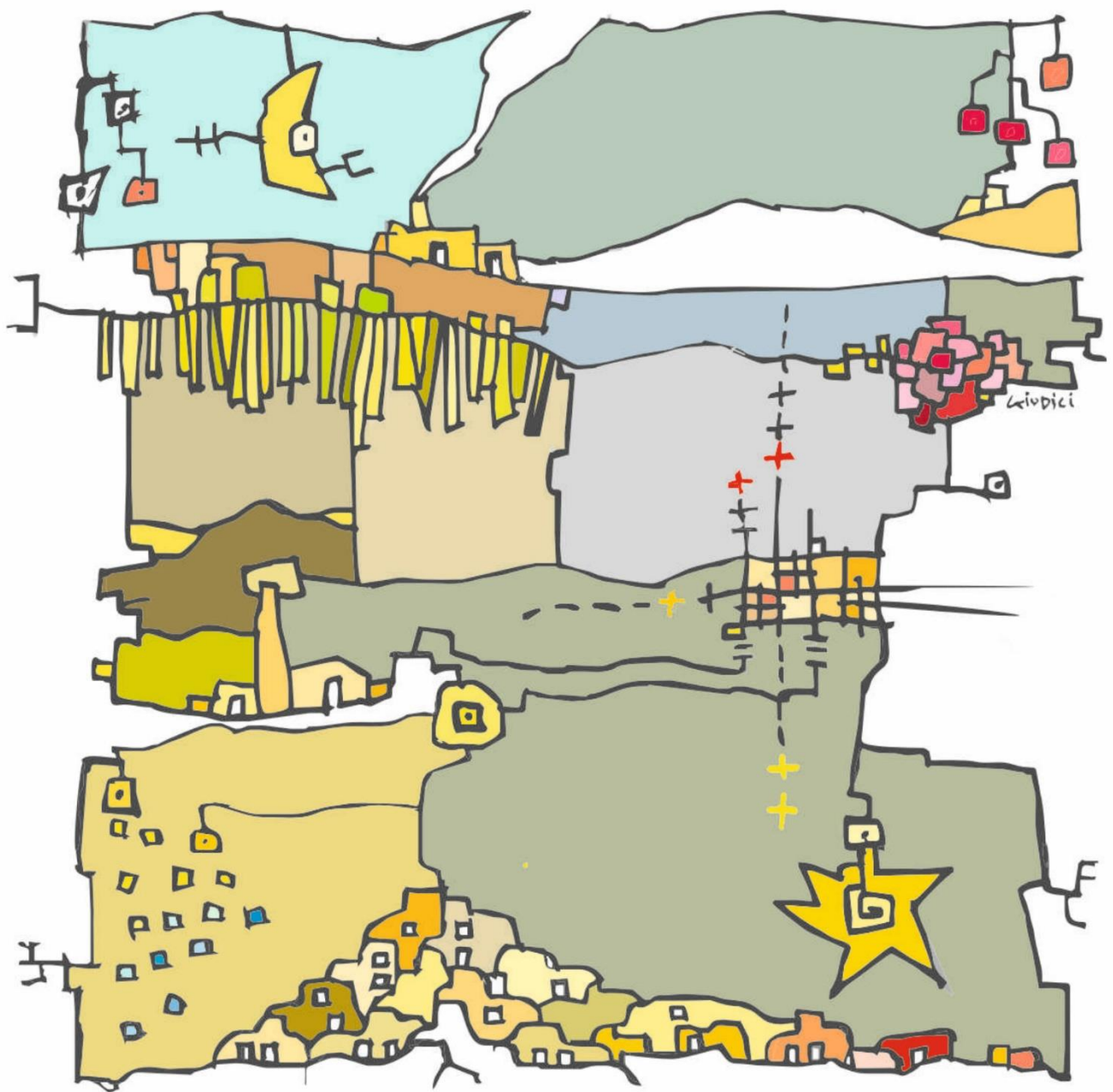


Figura 32: Síntesis de la construcción del SIG – Fuente: Elaboración propia (2020).



...somos hijos de los días, hijos del tiempo, y cada día tiene una historia que contar. Porque estamos hechos de átomos, según los científicos, pero un pajarito me contó que también estamos hechos de historias.

Eduardo Galeano

04. Capítulo / Aplicación del Modelo

1. *Área de estudio*

1.2. *Caucete y su historia*

2. *La vulnerabilidad sísmica de Caucete a escala urbana.*

2.1. *Delimitación del área de estudio*

2.2. *Fuentes de datos*

2.3. *Estudio de la amenaza sísmica en Caucete*

2.4. *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana en Caucete*

Síntesis

CAPITULO IV. APLICACIÓN DEL MODELO

1. Área de estudio



Con sus 7.802Km² y sus 574msnm el departamento de Caucete está localizado aproximadamente a 30 Km al sureste de la capital sanjuanina, siendo la Ruta Nacional N°20 su principal vía de comunicación; quien a su vez sirve de paso obligado y acceso a la capital provincial desde vecinas provincias (San Luis y la Rioja inicialmente con acceso por Ruta Nacional N°141). Sus límites quedan establecidos hacia el norte con el departamento Jáchal, al este con el de Valle Fértil y la provincia de La Rioja, al sur con 25 de Mayo y la provincia de San Luis y al oeste con los departamentos de Angaco, San Martín y 9 de Julio (limitado por el Río San Juan).

En el territorio de Caucete pueden observarse dos sectores bien diferenciados. Uno corresponde a la zona desértica (sector oriental) ocupando parte de la travesía del río Bermejo (de escaso caudal), de las sierras de Pie de Palo y de la Huerta, de los médanos Grandes y la depresión topográfica denominada Gran Bajo Oriental. En su mayoría este sector se encuentra afectado por la ley 3.666/71⁵⁸ de áreas

⁵⁸ Datos disponibles en <https://minio.legsanjuan.gob.ar/escaneadas/LP-3666-1971.pdf>



protegidas de la provincia de San Juan por formar parte del Parque Natural Valle Fértil y del Paisaje protegido Médanos Grandes. En esta área se encuentran algunas localidades como Las Chacras, Niquizanga, Bermejo, Marayes y Vallecito con una población de aproximadamente el 5% del total departamental (ver Figura 33a y b).

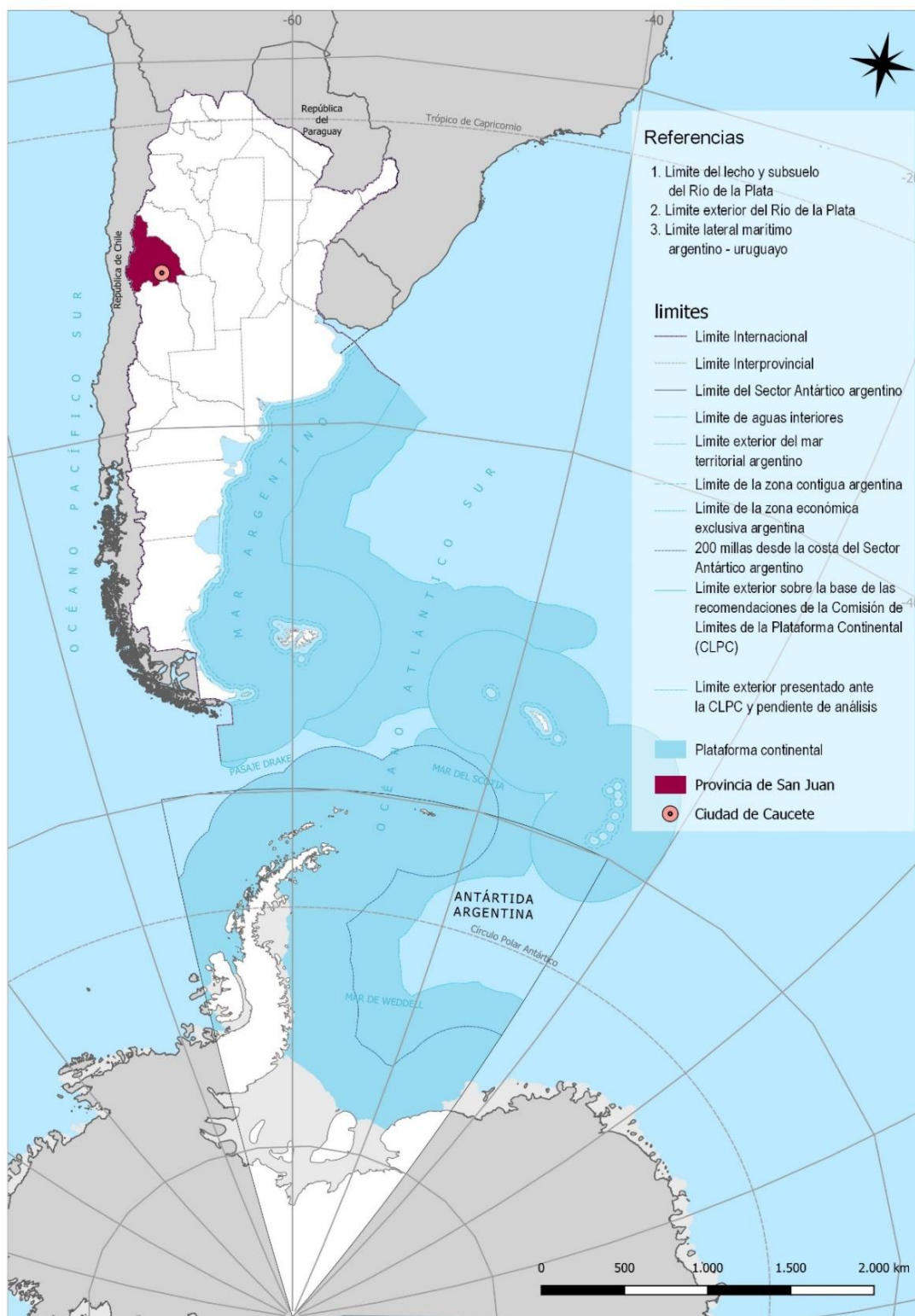


Figura 33a: Ubicación de Caucete. Fuente: Elaboración propia en base a IDERA (2021).

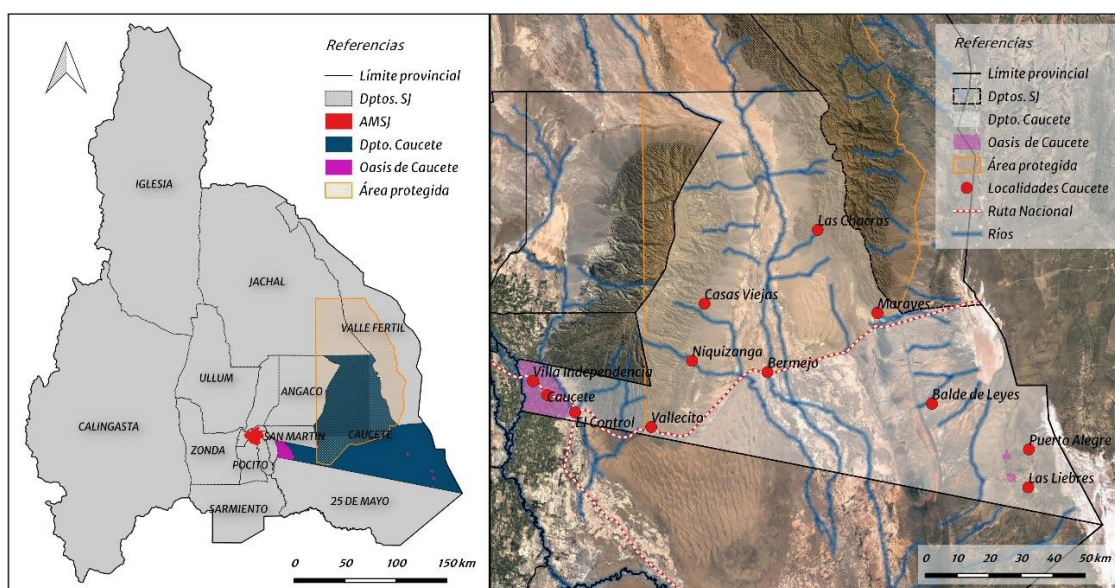


Figura 33b: Caucete y su geografía. Fuente: Elaboración propia en base a IGN (2020).

El otro sector, forma parte de la zona irrigada del oasis de Tulum (sector occidental) y representa alrededor del 2% de la superficie total de Caucete; es además donde se asienta el 95% de la población de este departamento⁵⁹. Está comprendido entre la margen este del río San Juan y el borde suroeste de la sierra de Pie de Palo. El sector se encuentra totalmente antropizado, ubicándose allí su villa cabecera (Villa Colón actual ciudad de Caucete) y otros núcleos poblacionales importantes como Villa Independencia, Las Talas, Los Médanos, Pie de Palo, El Rincón, Villa la Rosa y Pozo de los Algarrobos (ver Figura 34).

Siendo municipio de primera categoría, Caucete es el segundo departamento en orden de cantidad de población después de los que integran la denominada área metropolitana de la provincia (AMSJ). El departamento ha desarrollado una gran red comercial y dispone de todos los servicios (red de agua potable y de electricidad en casi toda la zona urbanizada, y de gas natural y cloacas en la zona central). En materia de centros educativos, se encuentran establecimientos de gestión pública y privada de todos los niveles incluyendo Educación Superior no universitaria; también cuenta con un hospital de atención primaria (nivel II), una terminal de ómnibus, una estación de policía y una de bomberos.

⁵⁹ Datos disponibles en

[http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utfo17arg/estudio/riegointegral/areasexistentes/Anexo s/PROVINCIA_DE_SAN_JUAN.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utfo17arg/estudio/riegointegral/areasexistentes/Anexo%20s/PROVINCIA_DE_SAN_JUAN.pdf)

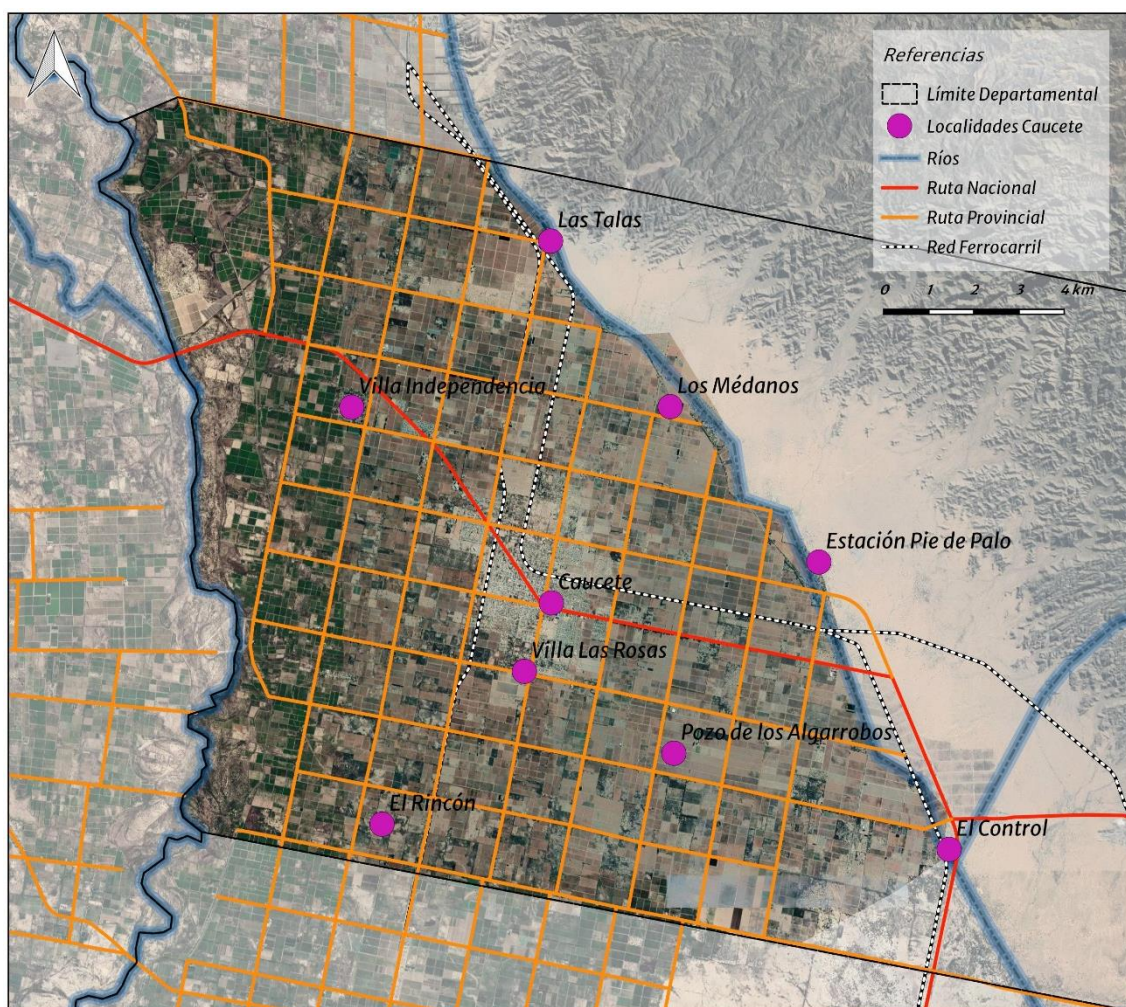


Figura 34: Área urbanizada de Caucete. Fuente: Elaboración propia (2020).

Según los datos aportados por el Censo 2010⁶⁰ el departamento tiene 38.343 habitantes⁶¹ en total, de los cuales el 50,63% son mujeres (51,07% es el porcentaje provincial), el 32,7% (28,74% ref. provincial); son menores de 14 años y el 7,85% mayores de 65 (8,69%% ref. provincial). Otros índices de referencias que podemos citar para describir a su población se refieren a la tasa de desocupación que asciende al 5,51% (4,76% ref. provincial), el índice de analfabetismo que es del 9,23% (7,94% ref. provincial), y de hogares NBI se estima que el 15,93% al menos presenta una de ellas (10,32% ref. provincial).

Con 9.452 hogares, y un nivel de hacinamiento del 28,38% (21,69% ref. provincial), en su mayoría las familias son caracterizadas como nuclear completo de pareja e hijos (43,97%) de entre 2 y 4 personas (53,28%). Estos hogares habitan

⁶⁰ Datos disponibles en REDATAM INDEC <https://redatam.indec.gob.ar/>

⁶¹ Según el INDEC su proyección hacia 2021 es de 46.600 habitantes aproximadamente.
<https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-3-999-70-000-2010>

en 9.693 viviendas de las cuales el 84,03% es considerado de tipo casa (82,42% ref. provincial) y el resto varía según la categoría de rancho, casilla entre otros. La antigüedad de estas viviendas se centra entre los 20 y 50 años, encontrando un 6,35% de viviendas con más de 50 años (17,55% ref. provincial). La calidad de estas se clasifica en satisfactoria 34,90% (41,45% ref. provincial), básica 31,30% (29% ref. provincial) e insuficiente 33,80% (29,55% ref. provincial). Por último, podemos citar que la calidad de los materiales establecidos como 1 y 2 representan al 69,90% de las viviendas cauceteras (71,48% ref. provincial).

Su principal desarrollo se lo debe a la industria vitivinícola⁶² (cultivo de uva fina, pasa y mosto) con sus más de 200 bodegas registradas y en funcionamiento; aunque también se encuentran emprendimientos de fruta seca, de carozo, hortalizas y olivos beneficiados por la ley de promoción agrícola. Se estima que su impacto es de tal relevancia que se calcula que más del 80% de la población caucetera percibe ingresos directos o indirectos de esta actividad.

1.2 Caucete y su historia

El área urbana encuentra sus orígenes como zona ocupada por poblaciones Huarpes hasta finales del siglo XVIII, quienes paulatinamente fueron abandonando estas tierras por diversas razones⁶³. Según el historiador caucetero Villanueva Padró (1993) en 1822 el médico Amán Rawson solicitó al gobierno esos terrenos áridos e incultos con el fin de establecer una colonia para sus compatriotas norteamericanos; y aunque finalmente esta colonia no se instaló, la zona de 36.000 cuadradas (entre el Río San Juan y el cerro Pie de Palo) fue adjudicada a Rawson y ocupada paulatinamente por pobladores locales quienes la transformaron en productivos campos de pastoreo y cultivo.

Posteriormente bajo una política federal en el Gobierno de Nazario Benavídez, se dispuso la fundación en 1851 de Villa Independencia como primer conglomerado creado en Caucete. La zona formaba parte de un puesto de avanzada en el camino a la provincia de Córdoba⁶⁴ y una frontera estratégica para evitar avances

⁶² De 10.000has cultivadas en total 7.341has corresponden a vid.

⁶³ Explicitar las lamentables razones de este hecho exceden los alcances y el propósito de este trabajo de tesis.

⁶⁴ Se resalta en 1865 la inauguración del primer puente de madera sobre el río San Juan.

enemigos hacia la ciudad de San Juan⁶⁵ . Fue el primer centro diagramado, debidamente trazado y dividido en predios alrededor de una plaza única y circundada por espacios destinados a la iglesia, el edificio municipal⁶⁶ , la escuela⁶⁷, etcétera.

Hacia 1891 producto del esfuerzo privado de un propietario de la zona⁶⁸ se crea la Villa Colon en un sector que originariamente formaba parte de una finca perteneciente a herederos de Rawson. Esta urbanización encontró sus ideas generadoras en la ciudad de La Plata producto del anhelo de su propietario de recrear un centro urbano a imagen y semejanza de la novedosa ciudad de amplias diagonales, plazas perfectas y modernos edificios. Hacia el inicio del siglo XX la villa ya contaba con una extensión de 16 cuadras cuadradas con amplios lotes y atravesados por una diagonal (callejón original de la finca); contaba además con una plaza principal, un banco, la estación de ferrocarril, una estafeta postal, un molino⁶⁹ , un espacio de culto con categoría de iglesia, una sala de primeros auxilios, e incluso una biblioteca.

A finales del siglo XIX, la Villa Independencia se vio afectada por el inicio de una época de decadencia debido a dos situaciones particulares. La primera relacionada con recurrentes inundaciones y mala calidad de sus suelos (salitrosos) que perjudicó los cultivos; y la segunda vinculada al no ingreso del ferrocarril al poblado. Ambas situaciones llevaron a los habitantes a emigrar a Villa Colón, la cual tuvo una lenta pero firme evolución en relación con la primera, convirtiéndose en 1917 en la villa cabecera del departamento. Finalmente, en agosto de 1948, durante el gobierno de Ruperto Godoy, por la Ley N° 1286 se crea la Ciudad de Caucete en lo que antes era Villa Colón.

⁶⁵ Tal es así que en 1863 se produjo el llamado Combate de Caucete entre las fuerzas del caudillo riojano Chacho Peñaloza y las fuerzas nacionales bajo la presidencia de Mitre y el gobierno provincial de Sarmiento.

⁶⁶ En 1869 se declara a Caucete como departamento bajo el gobierno de J. M. del Carril y en 1884 se realizan las elecciones para designar al primer intendente

⁶⁷ Fundada en 1866 como “Primer Escuela Oficial de la Provincia”.

⁶⁸ Don José María de los Ríos.

⁶⁹ Propiedad de Justo Castro, uno de los referentes históricos más importantes en el desarrollo económico y social del departamento.

1.2.1 El terremoto de 1977

Al hablar de Caucete como centro poblacional, hay que destacar que su desarrollo se interrumpió con el terremoto de 1977, en que todo el conglomerado urbano sufrió las consecuencias de este sismo de 7,4 grados de magnitud de acuerdo con la escala de Richter y epicentro en el sector noreste de la sierra de Pie de Palo. Las evidencias establecieron que este terremoto se asocia al sistema de fallamiento actualmente activo (Ampacama-Niquizanga), durante el cual se produjo una ruptura superficial y un desplazamiento de la corteza generando un evento múltiple, ya que ocurrieron dos terremotos consecutivos siendo el primero disparador del segundo. El primer evento fue de una magnitud de 6.6 y el segundo de 7.5 e intensidad IX. Esto además ocasionó licuación de suelos hasta al menos 260 km de distancia del epicentro, el cual se ubicó al sureste de la sierra de Pie de Palo (INPRES, 1982).

Entre sus efectos se registraron problemas edilicios (particularmente en construcciones de adobe) y se originaron cráteres y volcanes de arena, derrames laterales con violentas salidas de agua y se abrieron extensas grietas en el suelo que en algunos sectores alcanzaron al metro y medio de profundidad (ver Fotos 12 y 13).

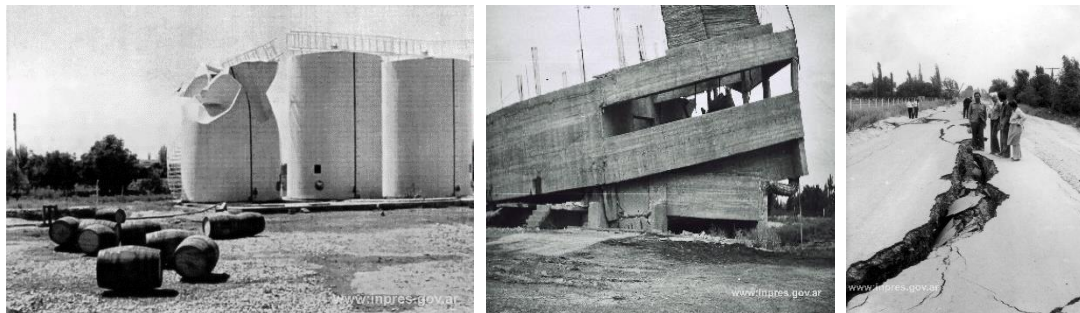


Fotos 12 y 13: Imágenes luego del terremoto de 1977 en Caucete. Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=XHx7LjvoqOo&feature=emb_logo

El movimiento telúrico que duró más de 20 segundos ocasionó, debido a los grandes caudales derramados por el río San Juan, un notable incremento del nivel de la napa freática que al momento del sismo se encontraba próxima a la superficie del terreno por lo que gran parte de las áreas afectadas sufrieron licuación. Esta condición ocasionó numerosos daños debido a la pérdida parcial de la capacidad portante del terreno afectando las fundaciones de las construcciones (en algunos casos hasta hacerlas colapsar), numerosos deslizamientos y hundimientos de

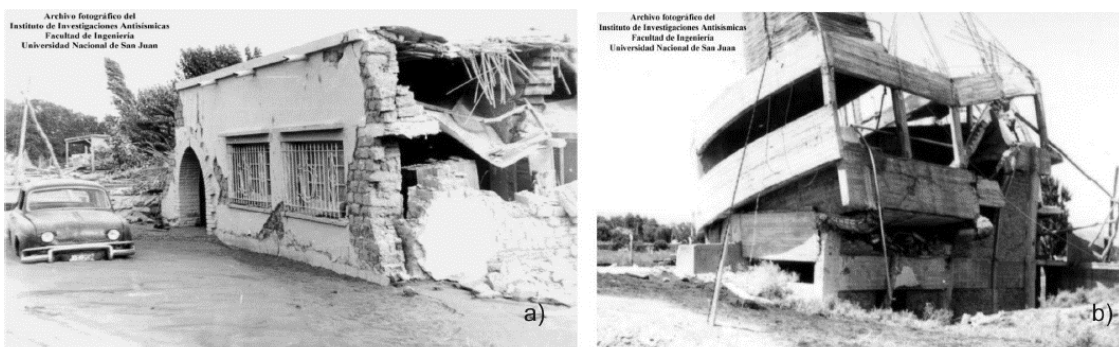
terraplenes de rutas afectando seriamente la red vial y la infraestructura ferroviaria, las líneas de transmisión de energía, la red de distribución de agua potable, al igual que la red de riego y drenaje.

También hubo daños en numerosas obras civiles aún no inauguradas, como barrios y escuelas; y más de 80 bodegas quedaron inutilizadas (ver Fotos 14, 15 y 16). Según los diferentes estudios, uno de los efectos que causó mayores inconvenientes fue la disipación posterior de las presiones de poros por el movimiento sísmico, generando volcanes de arena y grietas con eyección hacia la superficie (proceso que duró varios minutos) con la consecuente anegación de los suelos (INPRES, 1977).



Fotos 14, 15 y 16: Imágenes luego del terremoto de 1977 en Caucete. Fuente: INPRES
http://contenidos.inpres.gob.ar/alumnos/terrem_caucete-77

A través de la experiencia, se ha podido establecer que la pérdida de cohesión del suelo producto de la licuefacción puede generar en los objetos (muebles e inmuebles) procesos de flotación (desplazamiento y/o ascensión de objetos enterrados), la pérdida de resistencia del suelo (hundimiento y/o daños) y la propagación lateral. Este hecho particularmente se puede observar en las siguientes imágenes (ver Fotos 17 y 18) en donde se registraron algunos efectos de este proceso luego del terremoto de Caucete (Palacios & Perucca, 2020).



Fotos 17 y 18: Imágenes luego del terremoto de 1977 en Caucete. Fuente: Palacios & Perucca (2020).

Aunque sin lugar a dudas el mayor efecto se vio en su población, con 65 muertes y más de 300 heridos, los cauceteros quedaron sumergidos por momentos de angustia y desesperación. Las numerosas imágenes registradas son elocuentes evidencias de una comunidad que llevará en su memoria aquella trágica mañana del 23 de noviembre en la que la tierra estremeciera (ver Fotos 19 y 20).



Fotos 19 y 20: Imágenes luego del terremoto de 1977 en Caucete. Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=XHx7LjvoqOo&feature=emb_logo

Desde ese momento Caucete se caracterizó por una gran cantidad de nuevos barrios y un centro comercial que prospero a lo largo de su diagonal (Av. Sarmiento) en la Villa cabecera. Sobre esta diagonal principal se sitúa además actualmente la plaza principal del departamento (Plaza Manuel Belgrano) y alrededor de ella el edificio municipal la oficina de correos, el banco, y la iglesia Cristo Rey⁷⁰ entre otros (ver Fotos 21 y 22).



Fotos 21 y 22: Imágenes actuales de la Ciudad de Caucete. Fuente: <https://www.infocaucete.com.ar/>

⁷⁰ Nótese que el edificio no es el original, fue destruido por el terremoto de 1944.

2. La vulnerabilidad sísmica de Caucete a escala urbana

2.1 Delimitación del área de estudio

Como se expuso inicialmente, el departamento Caucete se encuentra integrado por dos espacios bien diferenciados. Por un lado, las tierras secas no irrigadas que corresponden al territorio relacionado a los ambientes naturales (zonas montañosas y de travesías). Por otro lado, el oasis, considerado como el área dotada por la red de riego tanto superficial como subterránea donde se concentra el núcleo urbano departamental.

Particularmente, el área urbana de Caucete (sector central o de mayor jerarquía) concentra las mayores concentraciones edilicias y de habitantes, residiendo en ella la población dedicada al sector secundario y terciario (quedando prácticamente excluida población dedicada a actividades primarias). En ella se localizan además los servicios de mayor complejidad y dinámica económica, lo cual genera una alta densidad de tránsito y un intensivo uso del suelo. Este sector se constituye como referencia significativa ineludible para todo el espacio regional y su organización social, que dan cuenta de la cohesión interna de la comunidad del asentamiento y por lo tanto capacidad de gestión.

A los fines de delimitar el sector de estudio se toma inicialmente como referencia el Código de Edificación de la Provincia de San Juan⁷¹ – Folleto III – Zonificación. En este documento se establece que el área urbana del Dpto. Caucete, quedará configurada de la siguiente manera:

- Zona R-2 Departamental: Sector comprendido entre las calles Cabot, J. Jufré, Rawson y Aberastain.
- Zona R-2 Departamental: Propiedades que den frente a la Diagonal Sarmiento, en el tramo comprendido entre la calle P. A. de Sarmiento y J. M. de los Ríos y hasta una profundidad de 40 mtrs a contar desde la línea de edificación de la Diagonal.

⁷¹https://contenido.sanjuan.gob.ar/index.php?option=com_k2&view=item&id=4800:codigo-de-edificacion-dpdu&Itemid=292

- *Zona R-3 Departamental: Resto de la ciudad, comprendido dentro del perímetro determinado por las calles J. Jufré, J. M. de los Ríos, J. J. Bustos y P. A. de Sarmiento.*
- *Hasta tanto se determine la zonificación de los centros poblados, se establece, que a partir del límite del sector urbano de la ciudad de Caucete determinado por las calles J. Jufré, J. M. de los Ríos, J. J. Bustos, y P. A. de Sarmiento y hacia fuera, se considerará como zona R-4 Departamental los primeros 300 mtrs.; Zona Semi-Rural Intermedia, los 500 m siguientes y Zona Rural a partir del último límite, es decir hacia fuera de los 1300 m de distancia del sector urbano de la ciudad.*
- *Zona R- 4 Departamental la “Villa Independencia”, limitada por las calles Enfermera Medina, Pedriel, Independencia y La Plata.*

Sin embargo, en la DPDU existe una zonificación del área urbana de Caucete que es utilizada actualmente de referencia por esa repartición. Al respecto se observa que si bien no se encuentra reglamentada⁷² debido a que se encuentra sujeta a la entrada en vigor de otra Ordenanza del tipo tributaria para el ejercicio 2018 que tampoco tiene vigencia, lo cierto es que representa una zonificación de referencia del área estudiada (ver Figura 35).

A continuación, se incorporan algunas consideraciones especiales establecidas en el marco de un Proyecto de Desarrollo Tecnológico Social (PDTS)⁷³ con título “Zonificación Ambiental Territorial – Caucete una ciudad periférica en expansión” desarrollado en el Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA), en el cual se definieron las áreas urbanas, periurbanas y rurales del oasis caucetero según se observa en la siguiente figura (ver Figura 36).

Por último, se toma de referencia la subdivisión del INDEC a escala de radio censal, en los que se observa la mayor cantidad de población y los límites de los barrios locales (ver Figura 37 y 38).

⁷² Publicado en el Boletín oficial de la Provincia de San Juan N° 25.556, el 13 de noviembre de 2017 en pág. 186.450

⁷³ Directora: Arq. Amelia Scognamillo. Año 2020/ 2022.

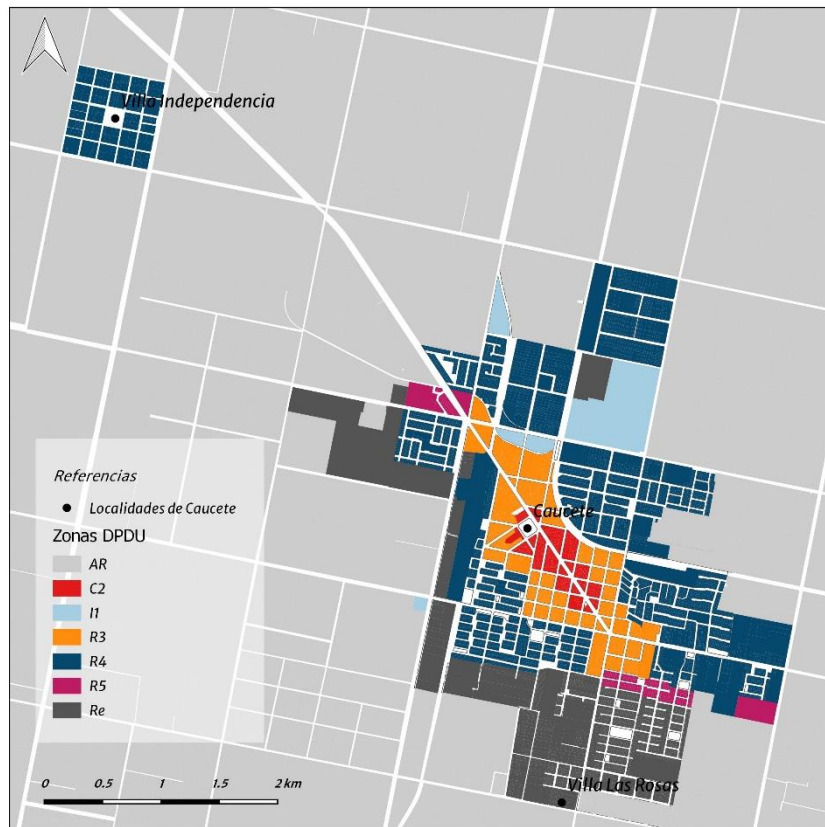


Figura 35: Zonificación del área urbana de Cauçete. Fuente: Elaboración propia (2020) en base a shp DPU (2009).

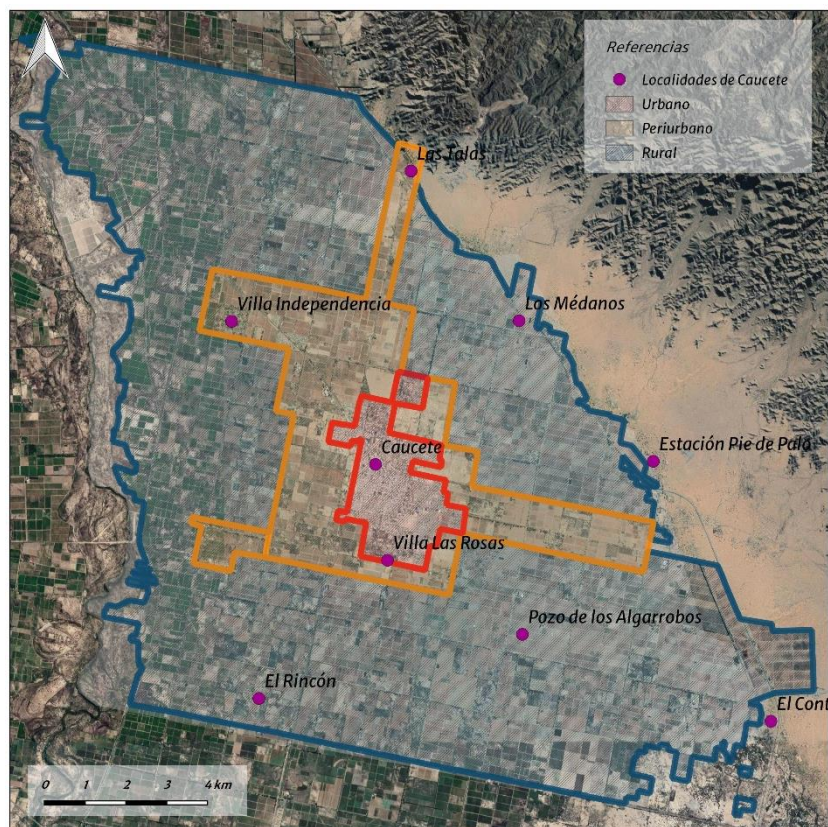


Figura 36: Zonificación del área urbana de Cauçete. Fuente: Elaboración propia (2020) en base a PDTs (2020).

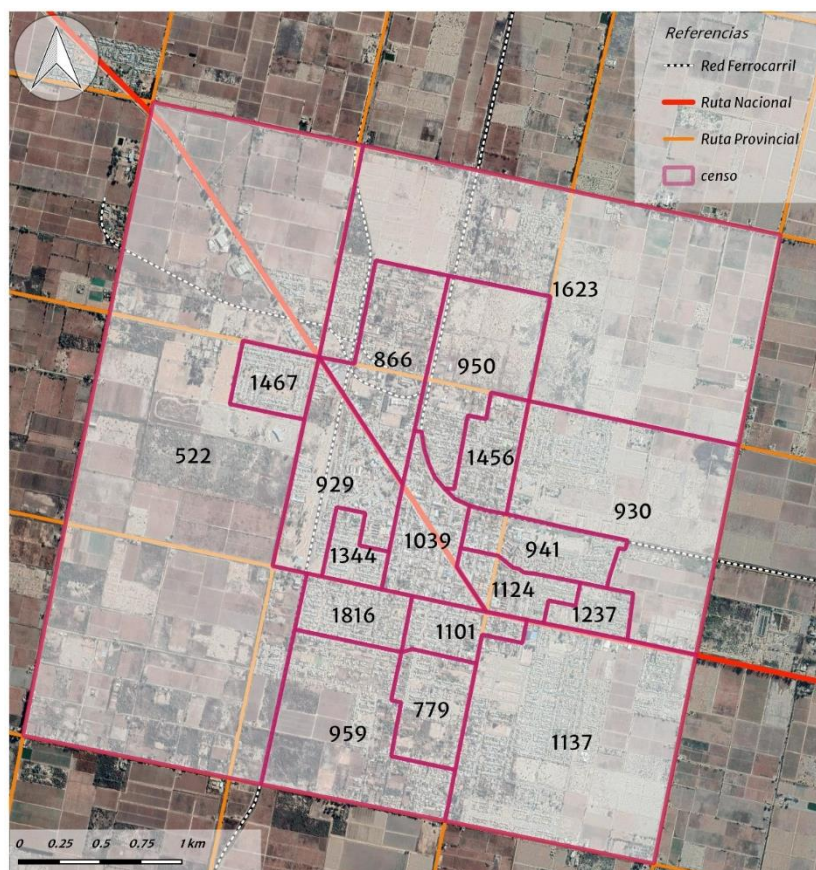


Figura 37: Límites de radios Censales. Fuente: Elaboración propia (2020) en base a INDEC (2010).

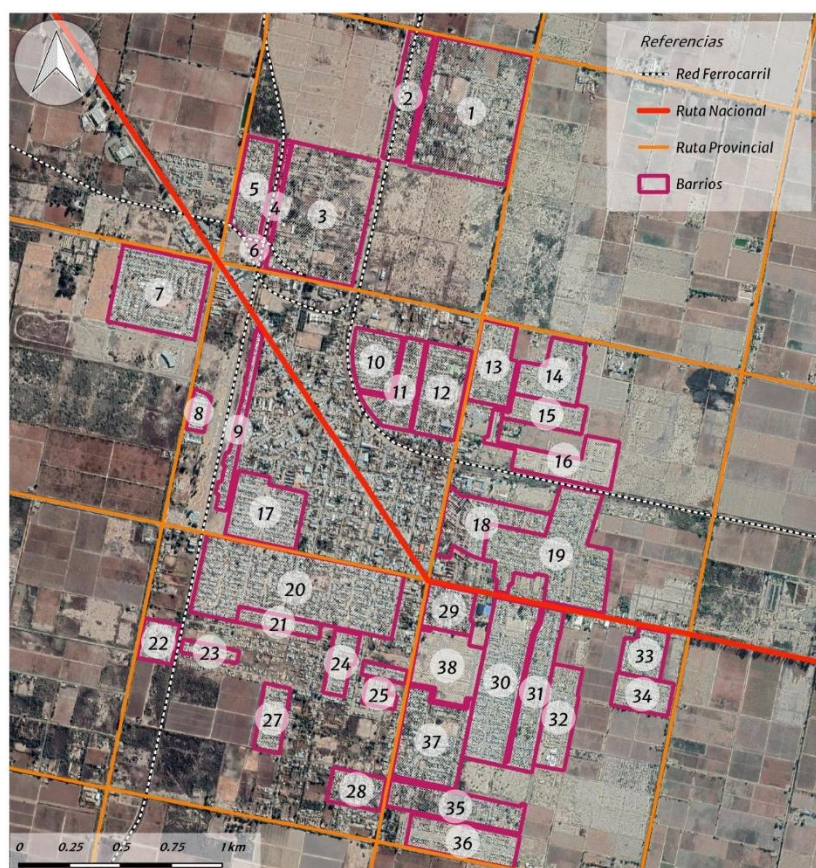
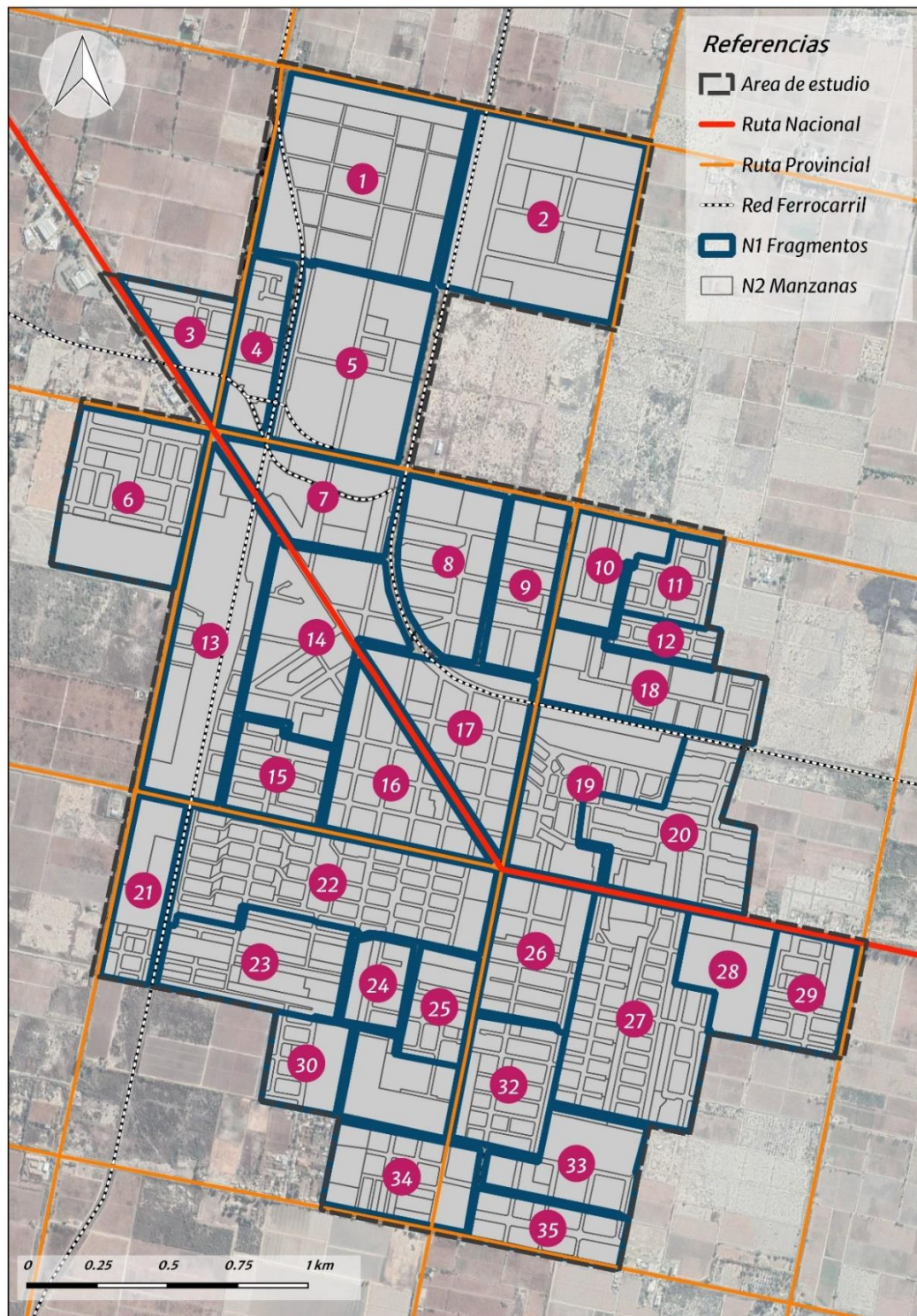


Figura 38: Límites de barrios. Fuente: Elaboración propia (2020) en base a UNIDE (2020).

De lo expresado anteriormente la unidad espacial de análisis N2 queda establecida por un total de 580 manzanas. El N1 por su parte queda integrado por 35 fragmentos, a partir de la combinación de distintas manzanas y barrios, y de la homogeneidad de los sectores en función de sus usos y servicios (ver Mapa 1).



Mapa 1: Área de estudio según nivel de análisis. Fuente: Elaboración propia (2020). Para mayor escala ver anexo mapas.

2.2 Fuentes de datos

Como se dijo en el capítulo anterior, el diseño de una base de datos es un proceso complejo que abarca decisiones en distintos niveles. A partir de este momento se da lugar al proceso de búsqueda y recolección de datos disponibles para determinar, en función del esquema metodológico propuesto la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.

Esta tarea se inicia con la exploración de distintas páginas web (geoportales, servidores de mapas, bases censales, etcétera), estableciendo las capacidades de visualización, edición, descarga e impresión de los datos publicados para el recorte territorial seleccionado. De esta manera, se pudo tener una primera mirada sobre cada una de las variables del análisis en función de registrar la información disponible para San Juan en general, y el departamento Caucete en particular, en sus distintas escalas.

En base a las distintas fuentes consultadas se extrae información en línea particularmente de: IDERA (Infraestructura de datos espaciales de la República Argentina), IGN (Instituto Geográfico Nacional), UNIDE (Infraestructura de datos espaciales de San Juan), Dirección de Geodesia y Catastro de la provincia de San Juan, Atlas Socioeconómico de la Provincia de San Juan de la UNSJ, BAHRA (Base de Asentamientos Humanos de la República Argentina), ODSA-UCA (Observatorio de la Deuda Social Argentina) y el INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina).

- IDERA: <https://mapa.idera.gob.ar>
- IGN: <http://mapa.ign.gob.ar>
- UNIDE: <https://unide.sanjuan.gob.ar>
- CATASTRO: <http://dgccconsultasweb.sgis.com.ar>
- ATLAS SJ: <http://www.atlas.unsj.edu.ar>
- BAHRA: <http://www.bahra.gob.ar/mapa>
- ODSA-UCA <https://mapa.poblaciones.org/>
- INDEC: <https://www.sig.indec.gob.ar/censo2010>
- INDEC: cuestionario básico:

<https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010B&MAIN=WebServerMain.inl>

- INDEC: cuestionario ampliado:

<https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010A&MAIN=WebServerMain.inl>

De manera simultánea se realiza una búsqueda de información en distintos proyectos de investigación del IRPHa a través del su Programa de Gestión de Información y Datos (PGID)⁷⁴. Además, se mantienen entrevistas con distintos actores del estado (Instituto Provincial de la Vivienda, Obras Sanitarias Sociedad del Estado, Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano, y Catastro, entre otros)⁷⁵.

Cabe aclarar que este punto presentó dos desafíos a los que se debió dar respuesta al momento de iniciar el trabajo. Por un lado, tanto los datos alfanuméricos (bases de datos, tablas y planillas) como los archivos de coberturas (planos en formato shp, dwg y pdf) a los que se pudo acceder, no se encontraban relacionados. Constituían un conjunto de datos independientes, no vinculados y en algunos casos incompletos, producto de la diversidad de sus orígenes. Para unificar el criterio de orden y facilitar el procesamiento de los datos se optó por elegir claves primarias de vinculación y establecer un mismo sistema de referencia (POSGAR 2007)⁷⁶.

Por otro lado, la información muchas veces fue accesible sólo en formato de imagen a través de servicios del tipo WMS⁷⁷ lo que requirió un extenso proceso de digitalización y vectorización.

Una vez unificada y evaluada la información, se efectuó un trabajo de campo mediante el relevamiento del entorno urbano de todos aquellos datos que no se encontraban publicados. A través del diseño e implementación de una planilla y un registro fotográfico se recorrieron más de 7 Km² del área considerada como urbana

⁷⁴ Creado por Res. N° 88- FAUD/13 orientado a fortalecer las capacidades científico técnicas del Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa) de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), mediante la gestión de la información (bio-física, socio-económica, cultural y político-institucional) que caracteriza al territorio regional, para la puesta a disposición de las/los investigadores del instituto, instituciones públicas, privadas y comunidad en general.

⁷⁵ Arq. Yornet, Arq. Grgic, Ing. Maraz, Arq. Cuelli, Arq. Cuello, Ing. Terluc.

⁷⁶ POSGAR 07 (Posiciones Geodésicas Argentinas 2007) fue adoptado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) como el Marco de Referencia Geodésico Nacional a través de la Disposición N° 20/2009 adoptando el elipsoide de referencia WGS84.

⁷⁷ Servicio de Mapas en Web (WMS) permite la visualización de información geográfica a partir de una representación en formato de imagen. Esta representación puede provenir de un archivo vectorial de un SIG, un mapa digital, una ortofoto, una imagen de satélite, entre múltiples posibilidades.

de Cauce. Se confeccionaron cerca de 120 planillas y se tomaron más de 1.125 fotografías (ver Figura 39).

A partir de allí se organizó una completa base de datos con su correspondiente dimensión espacial y se inició el proceso de aplicación metodológica.

RELEVAMIENTO FÍSICO ESPACIAL					Manzana N°												
Físico Constructiva	Construcciones	Responsable			Estado	UNIDAD	CALLES										
							Norte	Sur		Este	Oeste						
		Material predominante			Sismorresistente	Mixtas	No Sismorresistente	Posterior a 1988		Entre 1980 y 1987	Anterior a 1979						
	Año de construcción			Pavimentada	Consolidado	Tierra	Bueno	Regular		Malo							
	Redes de Infraestructura	Red Vial	Mat. de la Cubierta		Pavimentada	Consolidado	Tierra	Bueno		Regular	Malo						
Estado de Conserv.		Bueno	Regular	Malo													
Funcional	Destino	Uso del suelo			Vivienda	Comercio	Institucional	Industrial		Deporte / Recreación							
		Función Amenaza			Depósitos de combustibles	Plantas químicas	Industrias contaminantes	Tanque elevado		Antenas	Cartelería	Arboles de gran porte	Torres de alta tensión	Otras			
		Espacios Verdes			Área ≥ 1 ha	2500m2 ≤ Área < 1 ha	Área < 2500 m2										

Figura 39: Planilla de relevamiento. Fuente: Elaboración propia (2020).

Una vez cargada la base de datos, se materializó el modelo aplicando las ecuaciones descriptas en el capítulo metodológico en cada uno de los diferentes niveles. Para ello se hizo uso de la herramienta “Calculadora de campos” de Qgis y del editor de funciones, en el cual quedaron almacenadas a través del lenguaje de consulta estructurada (SQL)⁷⁸ (ver Figura 40).

⁷⁸ SQL por sus siglas en inglés: Structured Query Language.

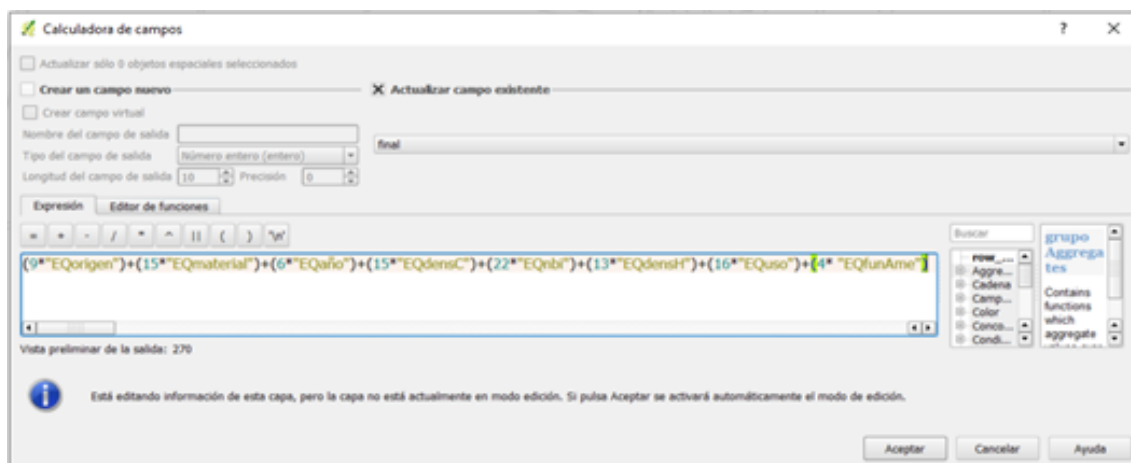


Figura 40: Ejemplo de ecuación N2 en SQL. Fuente: Elaboración propia (2021).

2.3 Estudio de la amenaza sísmica en Cauce

Según la clasificación del Consejo Nacional y el Consejo Federal para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres y la Protección Civil, en virtud de lo establecido en el artículo 11 de la Ley 27.287, los sismos son sin lugar a dudas la mayor amenaza sobre la población urbana del departamento Cauce. Esto se refleja en la cantidad de eventos de diversa intensidad y magnitud que se han producido a lo largo de la historia, y que según publicaciones del INPRES tienen probabilidad de seguir ocurriendo, hasta llegar a estimar que en los próximos 50 años podría en esta zona producirse un sismo de Intensidad máxima IX⁷⁹ (INPRES, 1982).

Como quedó expresado, el fin de este trabajo es evaluar la vulnerabilidad y no el riesgo (en términos de función entre la amenaza, la vulnerabilidad y la resiliencia). Sin embargo, la valoración de la amenaza es considerada como un índice que afecta los niveles de vulnerabilidad de los elementos expuestos en términos incrementales. Frente a esta realidad se toman como referencia para el estudio de la amenaza sísmica las tres variables en términos de peligrosidad sísmica que fueran descriptas en el segundo capítulo de este trabajo.

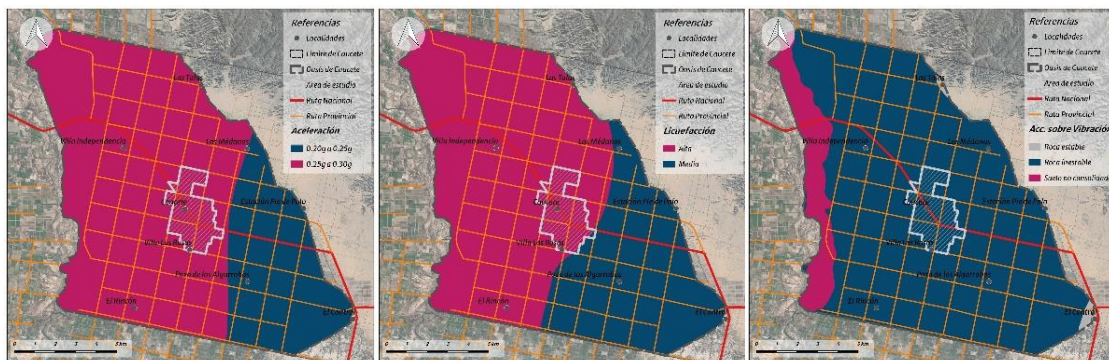
Particularmente la primera de las variables se encuentra caracterizada para Cauce en la microzonificación sísmica del Valle del Tulum (INPRES, 1982), que establece las curvas de las aceleraciones instrumentales pico, más probables de producirse en los próximos 50 años. Como puede observarse el departamento

⁷⁹ Según el registro del INPRES las isosistas que soportó la provincia durante el último gran terremoto en 1977 comprenden intensidades entre VII (en al AMSJ), alcanzando noveles de intensidad IX en la ciudad de Cauce y sus alrededores.

encuentra sus límites entre las curvas de aceleración 0,20g y los 0,35g, sin embargo, el área urbana se ubica entre las aceleraciones 0,25g y 0,30g (ver Mapa 2).

La segunda variable, corresponde datos tomados de Perucca y Bastías (2005) en los que se observan las principales áreas en el valle del Tulum que sufrieron licuación de suelos durante los sismos históricos ocurridos en la provincia de San Juan y que son susceptibles de sufrir licuación en eventos sísmicos futuros. Se puede observar que nuevamente el sector urbano definido como área de estudio queda incorporado casi en su totalidad como un sector con alta probabilidad de presentar licuefacción (ver Mapa 3).

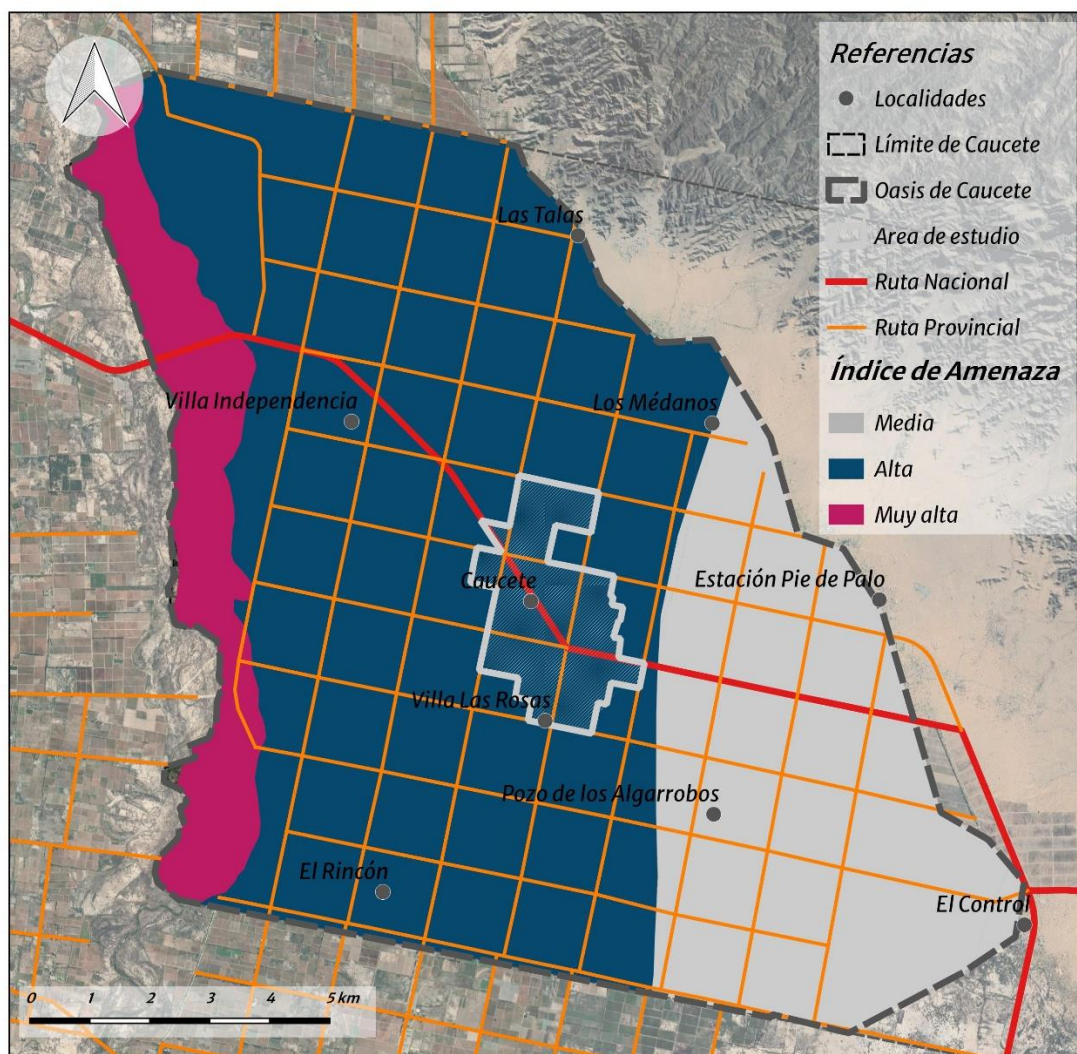
La tercera de las variables se toma de la clasificación del Atlas de suelos de la República Argentina (INTA, 1990) (ver Mapa 4).



Mapa 2, 3 y 4: Variables de la amenaza sísmica de Caucete. Fuente: Elaboración propia (2021) en base a INPRES (1982), Perucca y Bastías (2005), INTA (1990). Para mayor escala ver anexo mapas.

Producto de la superposición espacial de las tres variables y del cálculo del índice de amenaza según lo establecido en la etapa metodológica, se realiza una zonificación del oasis de Caucete.

El resultado evidencia que existen tres áreas claramente diferenciadas en torno a sus niveles de amenaza. La primera cercana a la rivera del río San Juan hacia el oeste y considerada como de muy alta amenaza; otra considerada como de alta amenaza que abarca el área central, y es donde se ubican los mayores asentamientos humanos urbanizados; y la tercera hacia el sureste que evidencia una amenaza media. (ver Mapa 5).

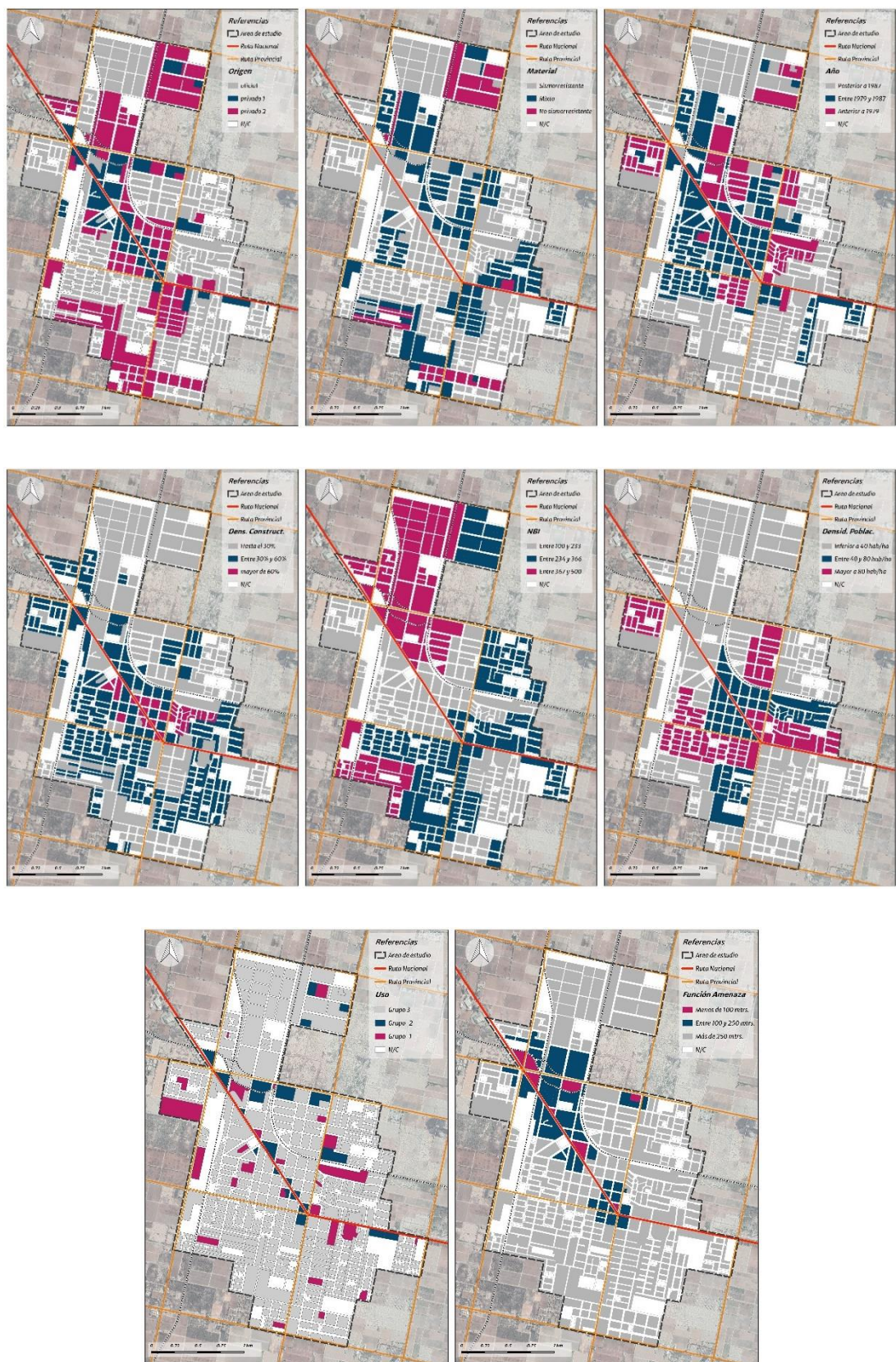


Mapa 5: Zonificación de la variable amenaza para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana de Cauce. Fuente: Elaboración propia (2021). Para mayor escala ver anexo mapas.

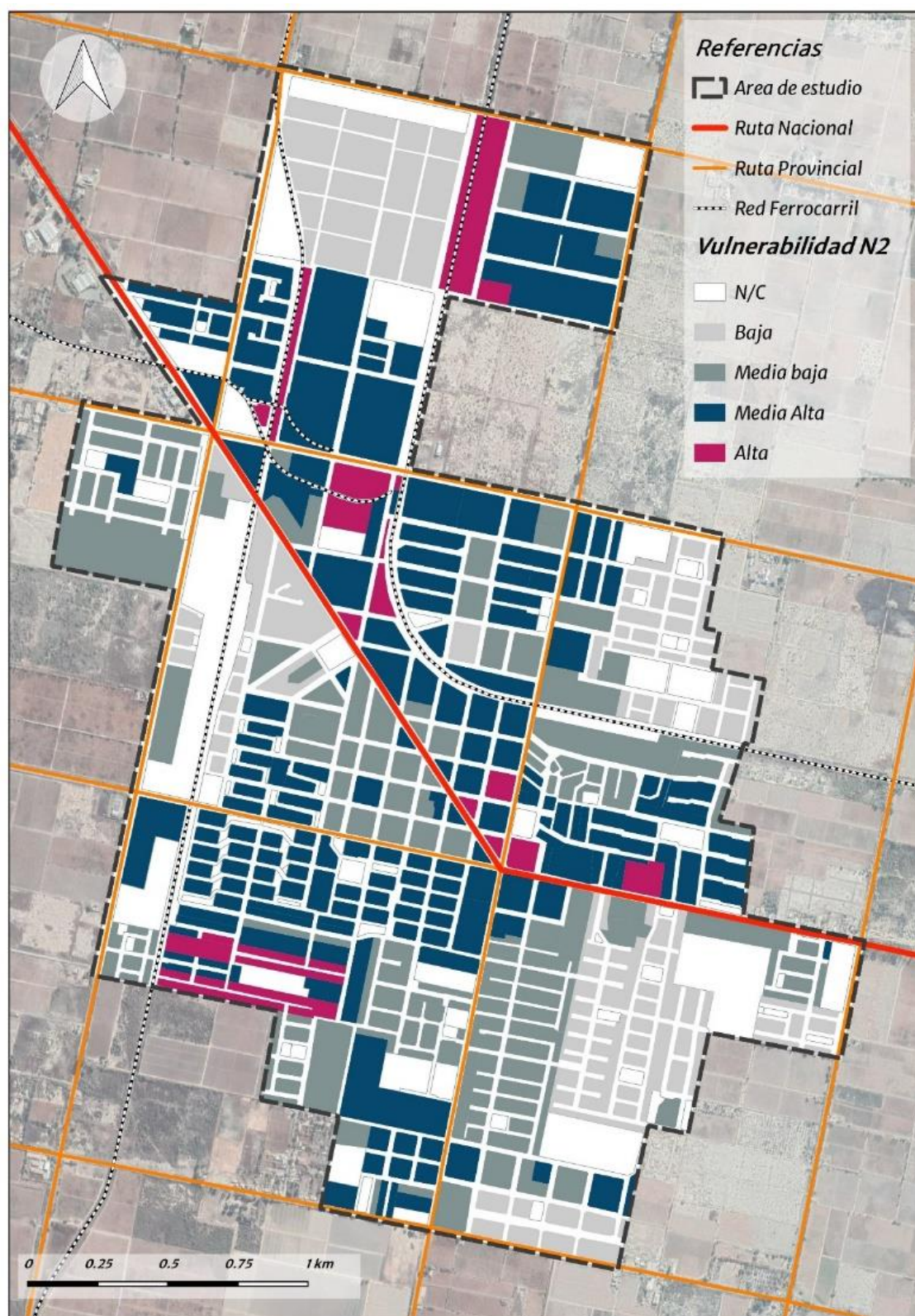
2.4 Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana en Cauce

En esta etapa, inicialmente se aplicaron las ecuaciones parciales para cada variable que integra la vulnerabilidad en el N2, y se obtuvieron mapas por cada uno de los indicadores. A partir de allí se ejecuta la función de la ecuación y se obtiene el índice de vulnerabilidad total para este nivel (ver Mapa 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13).

Para el N2, en el mapa 14, se observan los resultados finales con valores mínimos y máximos entre 116 y 418, estableciéndose 4 cortes de vulnerabilidad definidas como baja (entre 116 y 191), media baja (entre 192 y 267), media alta (entre 268 y 343), y alta (entre 344 y 418).



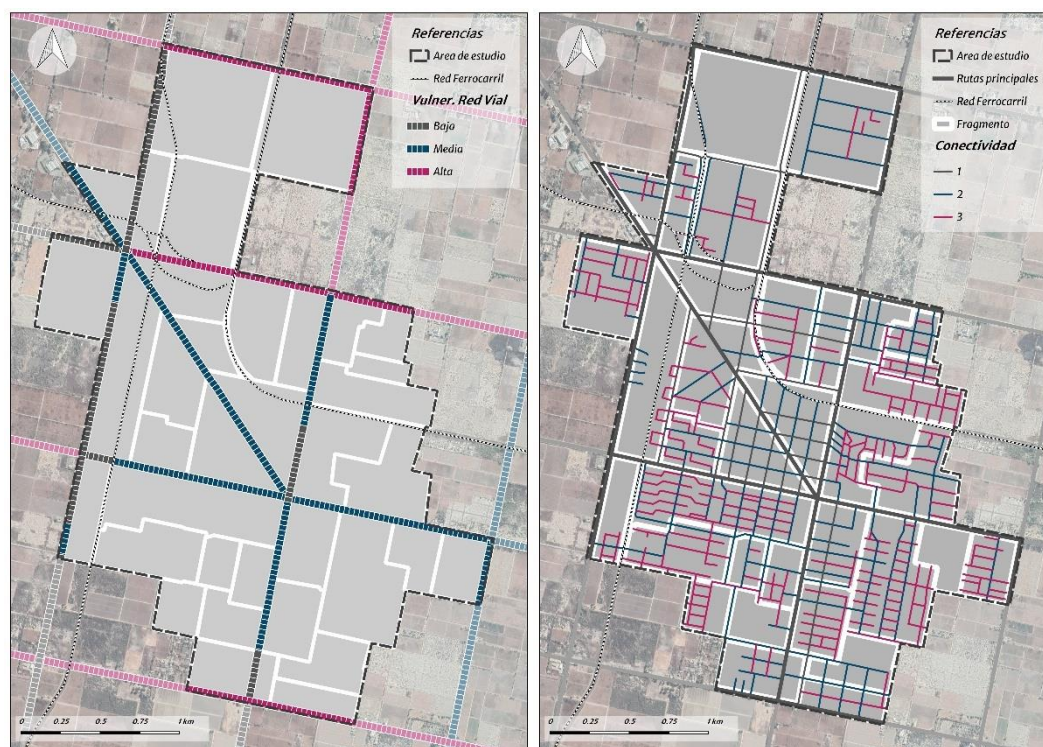
Mapa 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13: Indicadores N2. Fuente: Elaboración propia (2021). Para mayor escala ver anexo mapas.



Mapa 14: Vulnerabilidad sísmica N2. Fuente: Elaboración propia (2021). Para mayor escala ver anexo mapas.

Posteriormente para determinar la vulnerabilidad en el N1, antes de aplicar la ecuación, se realizó una traslación de los datos que se encontraban representados por elementos lineales y puntuales a cada uno de los fragmentos. Para ello se utilizó

el complemento “fTools”⁸⁰, y dentro del mismo se aplicaron acciones de “herramientas de análisis” (puntos en polígonos⁸¹, análisis del vecino más próximo⁸² e intersecciones de líneas⁸³), “herramientas de investigación” (seleccionar por localización⁸⁴) y “herramientas de geoprocso” (Buffer⁸⁵ e Intersección⁸⁶) (ver Mapas 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22).



Mapas 15 y 16: Indicadores N2 reconvertidos. Fuente: Elaboración propia (2021). Para mayor escala ver anexo mapas.

⁸⁰ Proporciona funciones que van de Herramientas de análisis e investigación, a herramientas de geometría y geoprocso, así como varias herramientas útiles de gestión de datos. Es un recurso integral para muchas tareas comunes de SIG basados en vectores, sin necesidad de software adicional, bibliotecas, o complejas soluciones temporales.

⁸¹ Cuenta el número de puntos que se encuentran en cada polígono de una capa vectorial de polígonos de entrada.

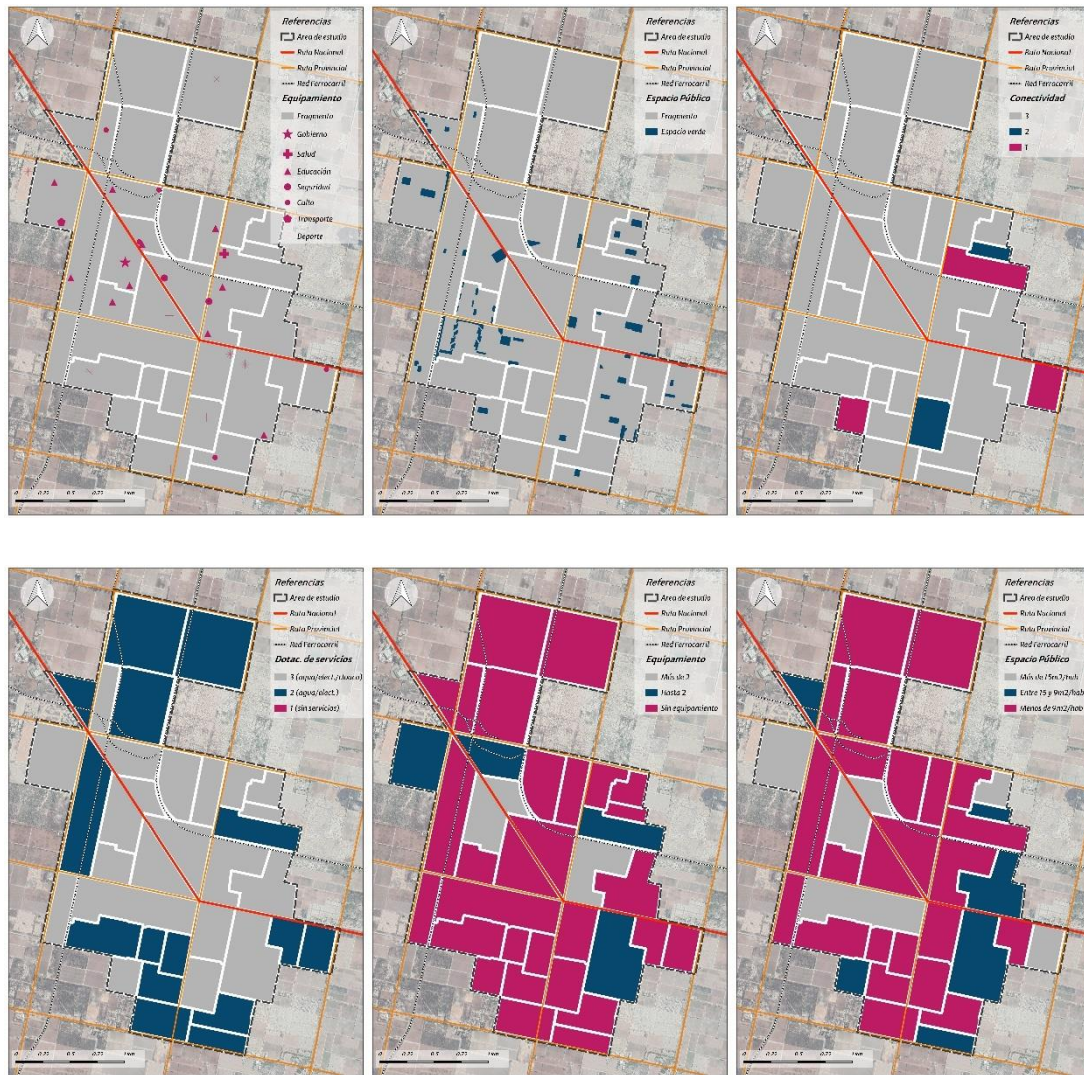
⁸² Calcula estadísticas del vecino más cercano para evaluar el nivel de agregación en una capa vectorial de puntos.

⁸³ Localiza intersecciones entre líneas, y los resultados de salida como un archivo SHP de puntos. Es utilizado para localizar calles o intersecciones de corrientes, ignora intersecciones de línea con longitud > 0.

⁸⁴ Selecciona entidades en función de su ubicación con respecto a otra capa para formar una nueva selección, o sumar o restar de la selección actual.

⁸⁵ Crea un buffer en torno a las entidades basado en la distancia, o un campo de distancia.

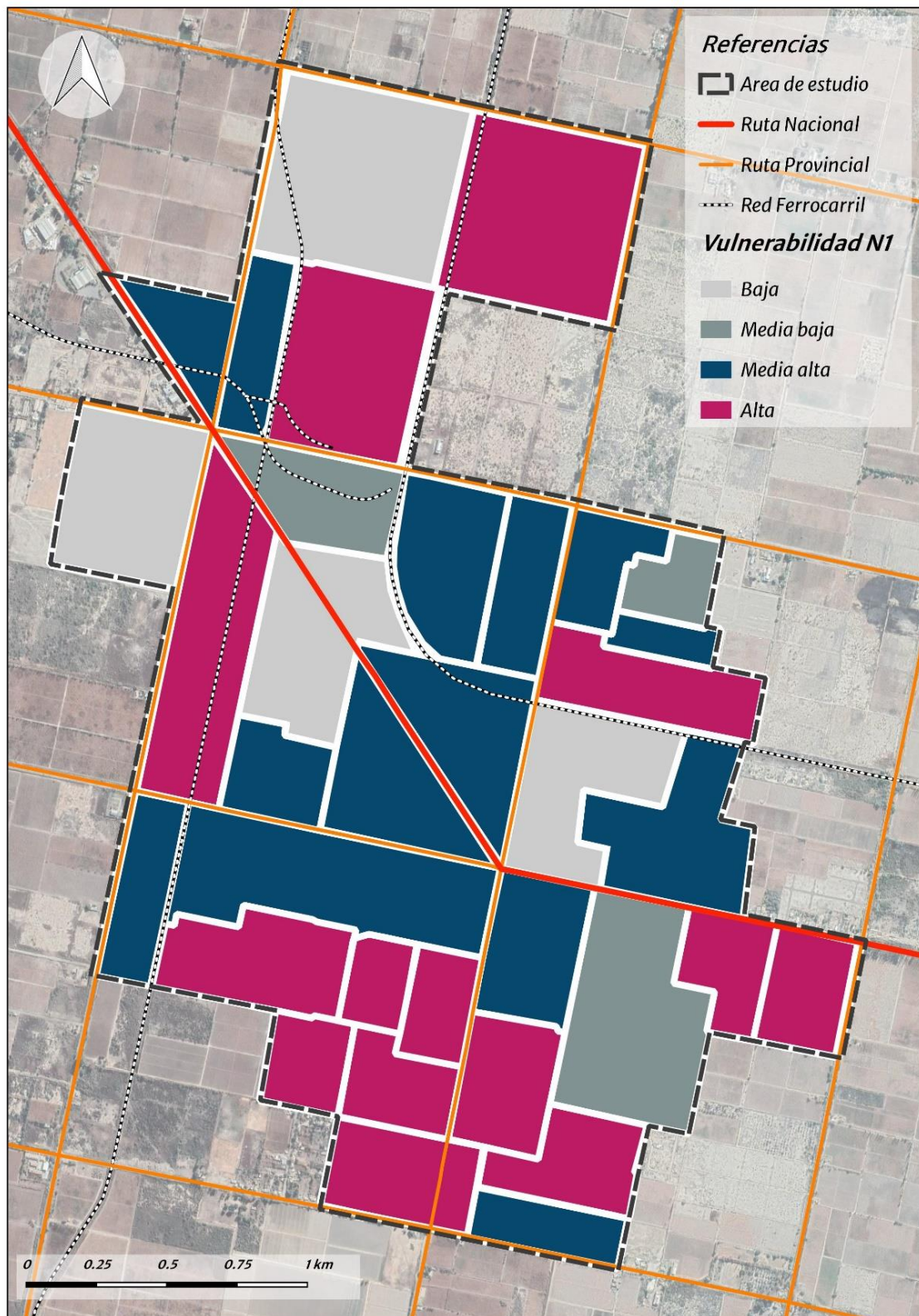
⁸⁶ Sobrepone capas de manera que la salida contenga áreas donde ambas capas se cruzan.



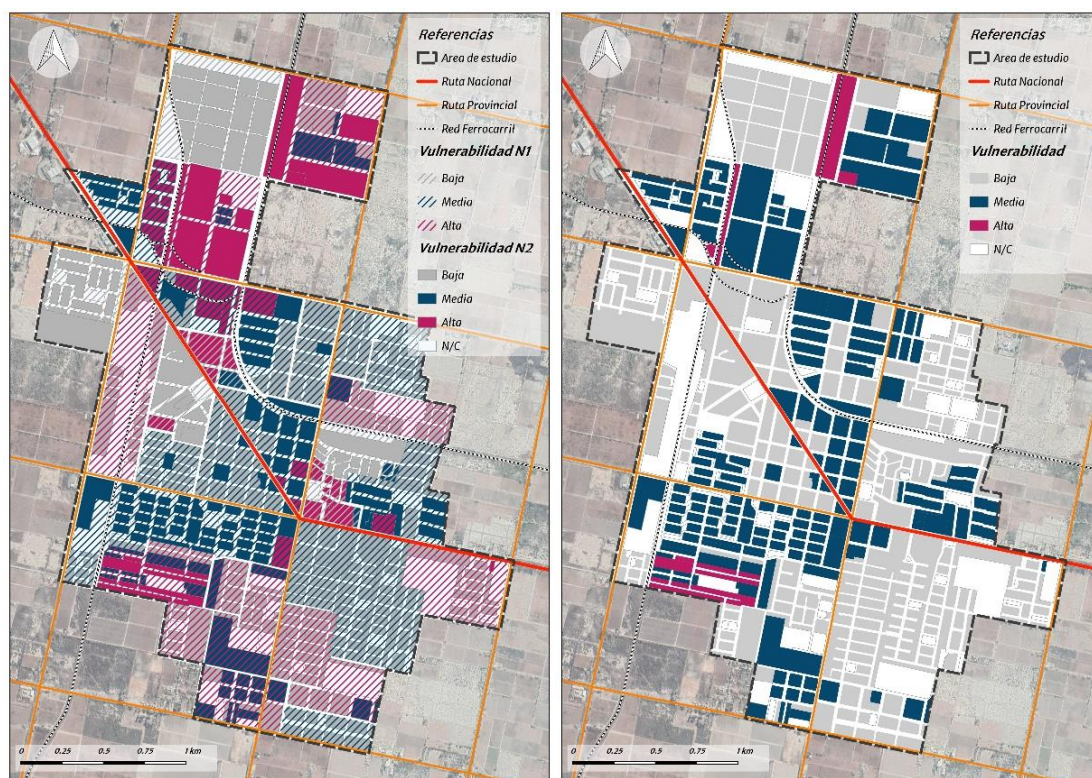
Mapas 17, 18, 19, 20, 21 y 22: Indicadores N2 reconvertidos. Fuente: Elaboración propia (2021). Para mayor escala ver anexo mapas.

Finalmente, como puede observarse en el mapa 23, al aplicar la ecuación para el N1 se obtuvieron valores mínimos y máximos entre 100 y 380, estableciéndose 4 cortes de vulnerabilidad definidas como baja (entre 100 y 170), media baja (entre 171 y 240), media alta (entre 241 y 310), y alta (entre 311 y 480).

Por último, se realizó una combinación de ambos mapas (vulnerabilidad N1 y N2) (ver Mapa 24) y se observaron aquellas áreas en las que coinciden las vulnerabilidades definidas como media alta y alta de ambos niveles. A partir de allí se sintetizó como producto final el nivel de vulnerabilidad urbana en tres escalas: alta, media y baja (ver Mapa 25).



Mapa 23: Vulnerabilidad sísmica N1. Fuente: Elaboración propia (2021). Para mayor escala ver anexo mapas.



Mapa 24: Superposición de vulnerabilidad sísmica N1 y N2. **Mapa 25:** Síntesis de vulnerabilidad sísmica N1 y N2. Fuente: Elaboración propia (2021). Para mayor escala ver anexo mapas.

SÍNTESIS

La espacialidad de la vulnerabilidad y de la amenaza sísmica del área urbana de Cauce ha sido representada a través de una zonificación, producto de la aplicación de evaluación multicriterio mediante el proceso analítico jerárquico en dos niveles o escalas, bajo la implementación de un SIG.

Para esto la interpretación del territorio se plasmó en un modelo vectorial que quedó representado en función de las características espaciales de cada variable de análisis, y del tipo y escala de los datos disponibles. A partir de este punto se crearon diferentes capas (layer) en la que fueron volcados los valores de los indicadores en función de su EqNP. Llegar a este modelo implicó una transformación espacial para aquellos datos en los cuales su identidad espacial no se correspondía con la establecida para el análisis, además según las categorías en las que se subdivide cada variable en algunos casos fue necesario crear más de una capa para su estudio.

La visualización grafica de los resultados permite determinar cómo se comportan los indicadores, de manera parcial o integrada en cada manzana y/o fragmento.

Esto permite evidenciar a nivel individual o colectivo las características particulares del área de estudio en su dinámica territorial contextualizada, y estimar la distribución (especialización) de sectores con similares niveles de vulnerabilidad.

Por otro lado, podemos decir que los SIG, al permitir relacionar datos gráficos con otros datos o atributos alfanuméricos que pueden ser permanentemente actualizados, se transforman en una herramienta imprescindible en la realización de estudios como el propuesto en este trabajo. Estos sistemas facilitan el manejo de volúmenes considerables de información, generando su cruzamiento en condiciones controladas, lo que hace posible la rápida evaluación de distintas situaciones. Esta rapidez y flexibilidad aparecen como la mayor ventaja de la utilización del SIG, sin embargo, una de las principales dificultades para la realización de este tipo de estudios es que se requiere la colaboración de entidades involucradas en la obtención y mantenimiento de una gran cantidad de datos.

Si bien en Argentina existe actualmente una buena variedad y calidad de datos básicos y temáticos, disponibles a través de los servicios más básicos que son los WMS (servidores de mapas) que permiten principalmente la visualización y consultas sencillas de la información, para que fuera posible trabajar sin restricciones (sin necesidad de solicitarla y/o de descargarla) sería necesario, que la información pública estuviera disponible en servicios WFS (servidores de archivos) y WCS (servidores de coberturas).

La implementación de este SIG, particularmente en el área urbana de Caucete, más allá de sus resultados finales en torno a los niveles de vulnerabilidad, ha evidenciado la necesidad de facilitar el acceso a datos básicos y temáticos relacionados con los riesgos, disponibles a través de servicios que permitan un análisis y trabajo sin restricciones; con un respaldo consistente del dato y que además sean periódicamente actualizados. Además, contemplar la disponibilidad de información histórica permitiría abordar estos estudios con perspectiva temporal, además de la espacial.



...los hechos son inciertos,
...los valores son discutibles,
...la relevancia es alta,
...las decisiones son urgentes.

Cardona

Consideraciones y conclusiones

05. Capítulo / Aplicación del Modelo

1. *Introducción*
2. *Consideraciones Metodológicas*
 - 2.1. *Consideraciones sobre ambientes SIG.*
3. *Consideraciones sobre los resultados*
4. *Consideraciones territoriales*

CONCLUSIONES

CAPITULO V. CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

1. Introducción



Evaluar la vulnerabilidad de una ciudad comprende estimar su capacidad o incapacidad para resistir los efectos adversos causados por una posible amenaza. Sólo a partir de este conocimiento es factible proyectar estrategias de reducción del riesgo en cuanto se establece que es posible implementar acciones de mitigación sobre la vulnerabilidad, y no así sobre la modificación de los peligros o amenazas, particularmente si su origen es natural.

Esta evaluación debe abarcar diferentes dimensiones que se vinculan a las características propias de la comunidad expuesta (dimensión social, física, económica, ambiental, institucional, cultural, política, etcétera), otorgándole así su carácter multidimensional. Se entiende por lo tanto que la aplicación de estudios de vulnerabilidad en entornos urbanos, a través de índices que consideren aspectos físico-constructivos, sociodemográficos y funcionales o de relaciones; nos permite determinar áreas de similares características en torno a su vulnerabilidad. A partir de allí es posible identificar cuáles son los elementos o dinámicas que convierten a una zona más frágil respecto de otra, y en qué aspecto radica su mayor debilidad.



Un amplio número de métodos han sido propuestos para estimar los efectos de futuros sismos. Al respecto, ha quedado evidenciado que los SIG constituyen una avanzada herramienta que debe emplearse en este tipo de estudios, en los cuales se hace imprescindible la integración de una gran cantidad de información espacial y temática. La aplicación de estas tecnologías agiliza, sin duda, la visualización y representación espacial de diversas variables y permite la generación de análisis, geoprocesos y modelación de los datos de manera dinámica.

En síntesis, podemos decir que implementar estos sistemas (SIG) a través de una metodología flexible, de fácil y rápida aplicación y adaptación, para establecer los niveles de vulnerabilidad presentes o incluso futuros de una determinada comunidad, posibilita generar lineamientos de planificación y gestión en función de la realidad detectada. De esta manera se pueden diseñar estrategias y líneas de acción posibles, que contribuyan a la toma de decisiones tanto en el ámbito público como privado a nivel urbano, y desde allí plantear políticas de reducción o mitigación de la vulnerabilidad.

Lo antes expresado se enmarca en la filosofía de priorizar políticas públicas que tiendan a la reducción de riesgos, a partir de un conjunto de medidas y herramientas dirigidas a profundizar el conocimiento de las amenazas e intervenir en la mitigación de las vulnerabilidades que estas generan, por sobre otro conjunto de acciones que tienden a actuar cuando ya ha ocurrido el desastre.

Como aporte final de este trabajo, a nivel metodológico y a nivel territorial, se establecen algunas consideraciones y conclusiones generales.

2. Consideraciones Metodológicas

El diseño de un método capaz de representar (modelar) los enfoques teóricos establecidos, requiere de estrategias para resolver problemas de cuantificación, representación espacial, de escala y relaciones de distinta naturaleza. Según lo establece Cardona en su tesis doctoral (Cardona 2001), la construcción de un modelo implica la identificación, selección, valoración y conjunción de distintas variables para representar el territorio con el nivel de profundidad o detalle deseado.

Sin embargo, es oportuno aclarar que siempre que se aborda una problemática compleja, como la determinación de la vulnerabilidad sísmica urbana, hay aspectos que se priorizan y otros que se dejan de lado. Por lo tanto, el modelo refleja estas decisiones adoptadas. Se trata de definir sus dimensiones relevantes, estimar sus valores y su distribución espacial para identificar las principales fragilidades.

Como toda herramienta metodológica presenta limitaciones, en tanto al abordar un sistema que es dinámico, debemos considerar que los índices, las variables y los indicadores deben estar en continua revisión y reflexión.

Numerosos autores afirman que la decisión multicriterio resulta una herramienta útil para identificar elementos, que componen respuestas concretas a interrogantes y desafíos, que se presentan en la toma de decisiones (Manera Bassa y Blanco, 2004). Asimismo, la construcción de índices permite por un lado incorporar distintos elementos y evaluarlos como una unidad relacionada e interdependiente en virtud de miradas más holísticas o integrales; pero además posibilitan desagregar el problema y por lo tanto identificar los principales factores que contribuyen a incrementar los valores de dicho índice.

Así, la construcción de índices de vulnerabilidad a través de ecuaciones, y la desagregación en distintos indicadores que además pueden ser espacializados en diferentes niveles o escalas, nos permite identificar por qué un área de la ciudad presenta mayor vulnerabilidad que otra, o en cuál aspecto radica su mayor debilidad. Sin embargo, aunque se esté evaluando la vulnerabilidad, se deben incorporar variables relacionadas a la amenaza como un factor de incidencia sobre los elementos expuestos y sus relaciones.

Asimismo, hay que considerar que lo medular de esta metodología reside en reconocer explícitamente que tanto la amenaza como la vulnerabilidad asociada, están compuestas por variables relativas, cuya ponderación depende del sujeto que la realiza. Es oportuno aclarar que no se trata de precisar una problemática en forma exacta, sino de estimar su dimensión y cobertura, identificando las principales fragilidades. Debemos abandonar toda pretensión de presentar el método como absoluto, objetivo y neutro, comprendiendo que el acercamiento a las variables es explícitamente subjetivo y factible de ser permanentemente revisado.

Para este trabajo los índices establecidos para la vulnerabilidad se fundan en dos escalas o niveles de análisis y en tres componentes, según sean sus características físico-constructivas, sociodemográficas y funcionales. Además, para el índice de amenaza se contemplan tres variables en función de las características locales del área analizada. A su vez al interior de cada una de las variables se encuentran los indicadores de medición que son traducidos en equivalentes numéricos de valoración.

A continuación, se hacen algunas otras consideraciones generales:

- La construcción metodológica debe, en la medida de lo posible, identificar los elementos que componen cada una de las dimensiones de análisis, estableciendo el grado de interrelación que existe entre los componentes intervinientes y así estimar la incidencia de unas sobre otras.*
- Es necesario definir los componentes que integrarán el modo de evaluar la vulnerabilidad sísmica de un área urbana determinada, sin perder de vista que la selección debe realizarse bajo una mirada holística, pero respetando las características territoriales y sus particularidades.*
- Hacia el interior de cada uno de estos componentes se deben definir subcategorías (variables) que representen los principales ejes implicados en la toma de decisiones sobre la reducción de la vulnerabilidad sísmica a escala urbana; y que representen las líneas de abordaje que definen las oportunidades y capacidades de mitigación de dicha vulnerabilidad en el territorio.*
- Se debe expresar conceptualmente de la manera más directa posible lo que se quiere valorar, evitando el uso simultáneo de variables o indicadores que reflejen el mismo aspecto, dado que en un modelo aditivo como el planteado se supone que las variables son mutuamente excluyentes.*
- Los índices, variables e indicadores deben definirse y/o seleccionarse con base en información disponible para todas las unidades y escalas de análisis. Por consiguiente, es necesario establecer las diferentes escalas de aplicación en función de la disponibilidad y detalle de los datos a los cuales se puede acceder, y la necesidad de transformar esos datos en unidades de*

análisis manejables que permitan la superposición espacial y la aplicación coherente de las ecuaciones.

- *Hay que entender que establecer secuencias de escala como instrumento conceptual implica un cambio en el nivel de análisis y por lo tanto la cantidad de elementos, detalles y profundidad que abarca cada una debe ser diferente. El análisis en distintos niveles permite apreciar como varían los efectos de las distintas variables.*
- *Cada variable y/o sus indicadores pueden a su vez ser estudiados con mayor profundidad y especificidad de manera individual y según los criterios de quien pondere sus características.*
- *Los índices parciales de vulnerabilidad facilitan la selección de prioridades al momento de concretar acciones e intervenciones en el territorio y su impacto puede verificarse en cada unidad de análisis del área de estudio.*
- *Finalmente se debe considerar que el abordaje de estudios más profundos (riesgo) debe ser en la medida de lo posible de carácter interdisciplinario, incluyendo el análisis de los aspectos no sólo físico ambientales y sociales, sino también políticos y económicos. Una concepción parcializada del riesgo, sumada a la falta de conciencia e información, suele conducir a su incremento, producto de la incorrecta toma de decisiones.*

2.1. Consideraciones sobre ambientes SIG

Las metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica a escala urbana se sustentan en la aplicación de modelos matemáticos, que determinan índices en función de las variables seleccionadas a través de diferentes escalas de valoración. Al respecto, experiencias exitosas alrededor del mundo (Marskrey, 1998), han demostrado que la Geomática integrada con técnicas EMC, adquiere gran importancia en estudios de análisis y diagnóstico territorial. De hecho, aplicar la sumatoria lineal ponderada en problemas de objetivo simple y múltiples criterios, como el planteado en el presente trabajo, genera valiosa información que ayuda a la toma de decisiones, particularmente en problemas de gestión territorial.

Desde una perspectiva netamente espacial, la EMC integrada a ambientes SIG posibilita, a través de diferentes procesos en el cual múltiples productos espaciales

son considerados, obtener resultados de salida en formatos cartográficos. La visualización gráfica de los resultados permite determinar cómo se comportan los indicadores, referidos a las variables seleccionadas de manera parcial o integrada en cada unidad de análisis en el área de estudio. Esto permite evidenciar a nivel individual o colectivo las características particulares del área de estudio en su dinámica territorial contextualizada.

Dadas las amplias aplicaciones de los SIG, cada día más extendidas, el análisis, las consultas y los cálculos que podemos hacer son prácticamente ilimitados. Sus aplicaciones más frecuentes se observan en problemas de gestión territorial y de recursos naturales, cuestiones relacionadas con el medioambiente, la logística o en contextos directamente vinculados con las ciencias de la Tierra, además, se consideran para otros campos y disciplinas en particular en la investigación en Ciencias Humanas y Sociales.

Una de las ventajas de implementar los SIG es la posibilidad de hacer múltiples análisis, variando parámetros y generando diversos escenarios en un contexto geoespacial. Como resultado se pueden plantear soluciones alternativas en función de los factores que están en conflicto, basados en la identificación de características potencialmente indeseables.

Podemos afirmar que esta herramienta sirve de apoyo a la toma de decisiones en los procesos de planificación territorial ya que permite manejar e integrar gran cantidad de información espacial de manera eficiente. Sin embargo, la construcción de un SIG requiere de procesos y análisis complejos de todas sus partes, y supera la simple acción de digitalizar y visualizar datos, por ello la aplicación de estas técnicas y estos sistemas merecen algunas consideraciones particulares:

- Para la construcción de estos sistemas se requiere el acceso a datos o información de diferentes orígenes, formatos, escalas, etcétera que deberán ser integrados bajo ciertos criterios de referencia para permitir su relación. Resulta por lo tanto fundamental establecer los perfiles de metadatos necesarios para una correcta aplicación metodológica.
- Cuando la digitalización de los datos no sea propia se debe siempre comprobar la topología y proyección de las capas obtenidas. Solo así se pueden garantizar la correcta gestión de los geoprocesos.

- *Se debe reconocer que la integración de los datos requiere casi siempre transformaciones que deben darse tanto a nivel topológico (proyecciones y entidades gráficas), como de indicadores (equivalentes numéricos). Estas transformaciones deben ser contempladas desde el inicio de la creación del sistema. Esta acción debe realizarse a través de diferentes funciones según cada programa específico.*
- *Tanto la conectividad, la dotación de servicios, el equipamiento y el espacio público requiere una transformación topológica (de líneas y puntos a áreas).*
- *Se debe evitar el mal manejo y la duplicación de datos. La gestión de información es más eficiente si mantenemos nuestros datos geográficos almacenados en una base de datos espacial que asegure su integridad.*
- *Es recomendable automatizar tareas o procesos para futuras actualizaciones, incluyendo la aplicación de selecciones y ecuaciones.*

Por último, podemos considerar que la realización de estudios como el aquí desarrollado, hace necesaria la colaboración entre entidades involucradas en la obtención, mantenimiento y publicación de los datos.

En síntesis, podemos considerar que a menudo, no se logran los resultados esperados, no por el diseño o implementación de un SIG, sino por problemas vinculados a la intervención y participación de actores políticos y sociales quienes en definitiva son responsables de generar información de base confiable. Al respecto podemos decir que:

- *Se debe procurar siempre obtener datos actualizados de organismos oficiales. La baja calidad, desactualización y/o falta de información relacionada a datos georreferenciados puede resultar en un desfase en los resultados de los geoprocesos que muchas veces necesitaran ser revisados.*
- *Cuando sea posible, se debe contemplar la disponibilidad de información histórica, con el objeto de abordar estos estudios con perspectiva temporal, además de la espacial.*
- *Se debe alentar el uso de datos públicos disponibles a través de los servicios WMS (servidores de mapas) que permiten principalmente la visualización*

y consultas sencillas de la información; pero particularmente de servicios WFS (servidores de archivos) y WCS (servidores de coberturas) para trabajar sin restricciones.

3. Consideraciones sobre los resultados

La comunidad caucetera lleva en sus entrañas la huella del riesgo sísmico. Como quedó expresado anteriormente, más del 75% del territorio de este departamento, y particularmente donde se ubican las zonas más densamente pobladas, se encuentran en zonas con amenaza sísmica. Incluso podemos afirmar que, por las condiciones relacionadas a su tectónica y sus suelos con altas posibilidades de sufrir procesos de licuefacción, el área urbana de este departamento presenta características que convierten a la actividad sísmica en su mayor amenaza.

La aplicación del modelo en el presente trabajo, en función de las variables abordadas para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en el área urbana de Cauce, permite que los resultados obtenidos puedan ser utilizados como instrumentos territoriales para identificar los conflictos y puntos críticos del área de estudio, en forma sistemática y espacializada. Así, como resultado de la aplicación del modelo propuesto se pueden hacer las siguientes consideraciones:

a) En relación con la variable físico-constructiva

Las construcciones encuentran sus mayores vulnerabilidades en aquellos sectores en los que no intervino el Estado o algún órgano regulador. Por lo general se presentan dos situaciones diferentes. Por un lado, aquellos barrios o villas con edificaciones de edad antigua (anteriores al terremoto de 1977) y materiales no sismorresistentes sobre el sector norte de la ciudad. Por el otro, sectores en procesos de expansión urbana reciente, pero sin asesoramiento técnico y con alta presencia de técnicas constructivas mixtas que se ubican hacia el sur.

Por su parte, las construcciones de mediana vulnerabilidad se presentan en toda el área urbana. En tal sentido se observa que en este grupo se encuentran barrios con edificaciones realizadas o supervisadas por el Estado, por lo que, si bien fueron construidas bajo normas de sismorresistencia, presentan vulnerabilidades asociadas a dos condiciones particulares por su antigüedad. La primera es que esos

códigos actualmente se encuentran obsoletos, la segunda es que suelen presentar nuevas construcciones (ampliaciones) de diversos materiales y técnicas constructivas, que no aseguran una eficiente respuesta frente a un sismo de gran intensidad.

En términos de densidad constructiva, sus niveles más altos no siempre se relacionan de manera directa con los índices de vulnerabilidad. Al respecto podemos observar que las áreas densamente construidas y cercanas al área central no presentan inconvenientes, y pueden ser en su mayoría construcciones consideradas como sismorresistentes. Estas construcciones en ningún caso superan los dos o tres niveles de altura (9mtrs.), ni ocupan más del 80% de la superficie del lote. Sin embargo, áreas poco densas que se corresponden con viviendas espontáneas (sin supervisión técnica) en sectores periféricos, coinciden con áreas de alta vulnerabilidad.

Como estrategias para revertir estas situaciones se considera necesario proponer, en los sectores más antiguos y de alta vulnerabilidad, procesos de renovación urbana, relocalizando en nuevas viviendas sismorresistentes a aquellos asentamientos informales e irregulares. En áreas de vulnerabilidad media, se deberían iniciar acciones de mejoras, y/o consolidación sobre las modificaciones irregulares (ampliaciones) que no se consideren sismorresistentes. Por otro lado, una consideración, para evitar nuevas situaciones de vulnerabilidad, debería basarse en la generación de conciencia poblacional sobre la importancia de contar con asesoría técnica, para quienes autoconstruyen sus viviendas o las amplían. Además, se debería asegurar la efectiva aplicación del código de edificación provincial vigente.

En torno a la red vial, podemos decir, que encuentra sus más altos niveles de vulnerabilidad en aquellas vías sobre las cuales se desarrollan los trazados de los principales servicios (cloaca, tendido eléctrico de mediana envergadura, agua, etcétera). Sumado a ello, a excepción de la Av. principal, las vías de mayor jerarquía presentan una falta de terminación superficial y/o el estado de mantenimiento es deficiente. Ambas condiciones hacen de la red vial de Caucete una variable desfavorable para la evaluación de la vulnerabilidad. Es preciso aclarar que Caucete sólo presenta el 15% de sus vías pavimentadas y que la media provincial se encuentra en el 33%. Por ello, garantizar obras de infraestructura y/o mejora vial en las vías principales, y planificar además estas acciones para evitar nuevas

roturas por la instalación de otras redes, contribuiría de manera efectiva a reducir sus niveles de vulnerabilidad.

b) En relación con la variable sociodemográfica

La primera consideración que merece ser mencionada es la unidad mínima de datos publicados por el INDEC. En relación con ello se observa que, cada uno de los radios censales puede contener más de un fragmento, por lo tanto, la escala del dato en términos generales no siempre es representativa de lo que sucede en el territorio. Esta situación puede evidenciarse en aquellos sectores periféricos, en los que existen nuevos núcleos poblacionales, pero que son considerados en áreas tan extensas que sus densidades habitacionales parecerían no ser importantes. Situaciones similares se producen en estos mismos sectores al referirnos a los niveles de NBI. Por ello se destaca la importancia que puede significar contar con una base de datos actualizada, a escala local, a través de encuestas permanentes de hogares.

Más allá de la aclaración mencionada precedentemente, y considerando además que, al trabajar con datos censales con más de 10 años de antigüedad, los resultados podrían no ser del todo representativos; lo cierto es que se evidencia una correspondencia directa entre las áreas más vulnerables sísmicamente, y aquellos sectores que presentan altos índices de NBI. Estos sectores se ubican principalmente en áreas periféricas al centro de mayor jerarquía, hacia el norte y el sur.

Al igual que la densidad constructiva, la alta densidad poblacional no siempre es un indicador que se relacione directamente con los mayores índices de vulnerabilidad sísmica. Los sectores centrales más poblados, pero con condiciones socioeconómicas buenas no presentan mayores vulnerabilidades. Por el contrario, existen áreas en los bordes de la ciudad poco densos en términos de habitantes, pero con altos niveles de NBI. Esta situación podría explicarse por el crecimiento que se da hacia los bordes de la ciudad, con nuevos asentamientos de pobladores carentes de recursos suficientes para encontrar mejores oportunidades de localización.

Queda por lo tanto establecida la necesidad de abordar los procesos de mejoras y mitigación de vulnerabilidad sísmica, desde miradas socio-habitacionales, que

excedan la simple visión reduccionista de evaluar la vulnerabilidad sísmica en términos netamente estructurales. Revertir estas condiciones de vulnerabilidad implicaría, no solamente garantizar el acceso a viviendas sismorresistentes, sino además el abordaje social que acompañe el crecimiento y desarrollo de las familias involucradas. Cualquier plan de mitigación debe ser contemplado en términos de promover la integración social y apoyando a los grupos más desfavorecidos.

c) En relación con la variable funcional

Por su parte el destino evidencia los grados de vulnerabilidad de aquellos edificios que por las actividades que en ellos se realizan presentan un mayor grado de importancia en el sistema. Según se ha podido observar aquellos edificios de usos institucionales y/o con capacidad de albergar a un número importante de personas (municipalidad, escuelas, grandes comercios, etcétera), son construcciones anteriores al terremoto de 1977. Por otro lado, se puede observar cómo algunos edificios han cambiado de uso a través de la historia local. Esta situación puede generar situaciones poco seguras, debido a modificaciones en la estructura original. Es evidente por lo tanto la necesidad de verificar sus condiciones en términos de estabilidad sísmica estructural, para garantizar su absoluta seguridad, sobre todo cuando no cumplan la función original para la cual fueron diseñados.

Determinar los niveles de conectividad, servicios, equipamiento y espacio público ha permitido espacializar zonas de mayor consolidación urbana en condiciones de alta vulnerabilidad, o por el contrario aquellos sectores poco consolidados factibles de ser transformados.

En términos generales podemos evidenciar que la zona central cuenta con servicios y equipamientos básicos suficientes para la población, además sus niveles de conectividad garantizan en normal funcionamiento aun en condiciones de emergencia. Sin embargo, a medida que nos alejamos del área central, estas condiciones se pierden. Se observa una falta de equipamiento en los barrios nuevos, independientemente de quien sea el organismo que lo haya ejecutado (Estado o privado). La accesibilidad se ve limitada por la mala calidad de las vías o simplemente porque no existe continuidad en la trama. Esta condición acentúa los niveles de exclusión territorial, generando áreas marginales espacialmente. Revertir esta situación debe por lo tanto incluir acciones orientadas dotar de

equipamiento y servicios, y a mejorar las condiciones de conectividad y accesibilidad los sectores de borde urbano.

Por último, los sistemas de espacios públicos y en particular los espacios verdes presentan una deficiencia en toda el área urbana. Si bien existen algunas plazas, en su mayoría se constituyen a través de espacios residuales con superficies menores a 1ha. Por otro lado, en los barrios nuevos los espacios verdes son simples lotes baldíos que de igual modo no cumplen con los requisitos de garantizar al menos 9m²/habitantes. Si concebimos que los espacios públicos constituyen, en gran medida, las áreas encargadas de proveer seguridad y contingencia en situaciones de emergencia, un incremento y ordenamiento de este sistema aportaría sustancialmente para minimizar los niveles de vulnerabilidad de la ciudad.

4. Consideraciones territoriales

Si entendemos al Desarrollo Territorial como el proceso mediante el cual se acrecientan las capacidades de un determinado territorio y se transforma su estructura en forma positiva, se supone entonces que debemos alentar los procesos de planificación como herramienta fundamental para superar los desequilibrios territoriales, reconociendo la complejidad de interrelaciones entre los distintos elementos (procesos, instrumentos, instituciones y actores), los cuales plantean retos intertemporales, intersectoriales, interescales y de articulación de múltiples actores (Máttar y Cuervo, 2017).

En estos términos, los costos sociales y económicos que un desastre puede originar en una población carente de planificación en términos de gestión del riesgo podrían exceder las capacidades de los territorios para afrontar dicho suceso. Por ello, la incorporación de la dimensión del riesgo en los procesos de planificación resulta necesaria de manera tal que permita eliminar, controlar o mitigar los efectos que sobre la población, actividades e instalaciones humanas originan estos eventos.

Particularmente se entiende que, en el ámbito del OT, el proceso debe nutrirse del mapeo tanto de las amenazas, como de la identificación de los elementos potencialmente expuestos (construcciones, redes de servicios, infraestructuras, etcétera); además de las características económicas, demográficas, ambientales,

institucionales y sociales de aquellas comunidades expuestas. Por lo tanto, se entiende que la espacialización de la amenaza y vulnerabilidades asociadas constituyen un insumo indispensable para cualquier plan orientado a ordenar el territorio⁸⁷.

En este sentido la identificación, evaluación y la visualización de los niveles de riesgo de una comunidad, en función de las amenazas y vulnerabilidades, constituye una razón de primer orden para mitigar los efectos adversos probables ante la ocurrencia de un evento. Se considera indispensable identificar sus distintos niveles a través de la determinación de zonas o áreas de diferente valoración, de tal manera que sean insumo para el diseño y aplicación de programas de mitigación (Gil, 2017).

Por consiguiente, se pueden establecer algunas consideraciones generales en términos de planificación y ordenamiento territorial:

- Se deben incorporar en forma permanente y sistemática la dimensión del riesgo en la planificación y la gestión del territorio y en la formulación, evaluación y ejecución de proyectos de infraestructura y obras públicas como una herramienta central tanto para mitigar las vulnerabilidades existentes, como para prevenir futuros eventos con características de desastre.
- A nivel operativo se considera oportuno introducir la variable de análisis del riesgo en términos de estudio de amenazas y evaluación de vulnerabilidades, desde el inicio del proceso de planificación, para establecer luego en la fase propositiva estrategias de mitigación.
- Se deben priorizar políticas públicas de tiendan a reducir la vulnerabilidad a partir de un conjunto de medidas y herramientas dirigidas a intervenir sobre aquellos factores que intervienen en mayor medida en incrementar sus niveles. (programas de construcción y/o consolidación de viviendas, de mejoramiento de barrios, de dotación de servicios y de equipamiento, de

⁸⁷ Al respecto, el PNRRD en una de sus metas generales (específicamente en la 5ª) establece la necesidad de incrementar para 2020 la cantidad de gobiernos locales que cuentan con un mapa de riesgo elaborado en función del Manual para la Elaboración de Mapas de riesgo desarrollado por la Secretaría de Protección Civil de la Nación. Esto se debe a que, al mapear las potenciales amenazas y vulnerabilidades asociadas, se puede crear un sistema de zonificación del riesgo que sea de utilidad como insumo para diseñar planes de desarrollo y OT.

educación y sensibilización sobre el riesgo sísmico, de asignación y reserva de recursos económicos, etcétera).

- *Se deben desarrollar planes para la emergencia que permitan determinar las posibles demandas una vez ocurrido el evento. (atención médica, de vivienda, de alimentos, etcétera); estableciendo además estrategias de prevención y alerta temprana en las comunidades involucradas.*
- *Es necesario involucrar a los organismos públicos y privados en la problemática del riesgo sísmico, asumiendo que la gestión del riesgo supone la participación máxima de actores de la comunidad.*
- *Se deben considerar los elementos expuestos, ya sean físicos o sociales desde sus características propias, pero además desde las relaciones funcionales que se establecen entre ellos.*



CONCLUSIONES



Entendiendo que muchas de los peligros a los que puede estar expuesta una sociedad son inevitables, lo que se puede hacer en términos de mitigación del riesgo, es establecer la peligrosidad de la amenaza y los niveles de vulnerabilidad de dicha sociedad para actuar en líneas orientadas a su reducción. Es por ello que urge identificar las vulnerabilidades de los territorios en función de las amenazas específicas presentes, determinando sus niveles y características particulares, y por último espacializarlas para comprenderlas de manera integral sobre un territorio en particular.

De este modo, se entiende que estimar los niveles de vulnerabilidad sísmica a escala urbana proporciona información como base de referencia para la toma de decisiones, y debe formar ineludiblemente parte del sustento de los planes de desarrollo de un territorio (por ejemplo para la rehabilitación urbana de determinados sectores, la ubicación estratégica de futuros equipamientos, el diseño de vías y canales de comunicación, el fortalecimiento institucional y la previsión de recursos financieros entre otros). En términos generales se establece claramente la necesidad de gestionar el territorio incorporando la temática de riesgos en la planificación, tanto de las inversiones como en la ejecución de proyectos.

Queda entonces establecido que, como punto de partida para un futuro análisis del riesgo, se deben considerar los elementos que juegan un papel clave en el funcionamiento global de la ciudad, ya sea si se trate de aspectos físicos, sociales, operativos y/o funcionales. Esta mirada sobre el problema pone en valor la importancia de contar con una herramienta de evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana en función de aspectos relevantes, que den cuenta del diverso comportamiento territorial (desigual) ante un mismo problema (amenaza).

Si bien la estimación de los niveles de riesgo y los posibles desastres comprenden diferentes tipos de pérdidas potenciales que, con frecuencia, son difíciles de

cuantificar; es evidente que, con el conocimiento de las amenazas prevalentes y los patrones de población y desarrollo, los riesgos de desastres pueden evaluarse y mapearse, al menos en términos generales.

Respecto de la evaluación, actualmente existe la utopía de crear un modelo único de estimación del riesgo y sus componentes asociados, que claramente da lugar a miradas holísticas sobre el riesgo, y aunque esto podría resultar alentador se considera que las técnicas deben ser flexibles y deben combinarse, en función de establecer miradas que contemplen a los territorios como expresiones socioculturales históricas en constante transformación.

En esta línea se destacan a nivel internacional para el análisis del riesgo las técnicas de evaluación multicriterio, y particularmente el proceso analítico jerárquico. A partir de la construcción de distintos índices de vulnerabilidad frente a diversas amenazas y bajo miradas integrales, estas metodologías poseen la ventaja de combinar variables tanto cualitativas como cuantitativas, y brinda la posibilidad de comparar criterios por su importancia relativa, aun sin disponer de datos numéricos.

Se establece que el enfoque bajo técnicas de EMC permite estimar la dimensión y cobertura de la problemática en análisis. Si bien puede suscitar alguna controversia desde una perspectiva reduccionista, ante la complejidad del sistema que se desea modelizar, se prefiere una respuesta “aproximada” desde una perspectiva holística, que una respuesta exacta a la formulación “incorrecta” del problema, que de manera fragmentada podría realizarse con cierta precisión. No se trata de precisar una problemática en forma exacta, sino de estimar su dimensión y cobertura.

En relación con la espacialización, a partir de numerosos ejemplos exitosos, hoy podemos confirmar que los SIG son una herramienta que facilita la implementación de este tipo de metodologías debido a que nos permiten introducir nuevos conceptos relacionados al análisis y modelaje de variables complejas, mediante mapas interactivos y la integración de gran variedad de datos con información geoespacial. Los beneficios más notables de la aplicación de estos sistemas (SIG) radican en la reducción de costos, el aumento en la calidad de los resultados, la mejora en la amplitud y profundidad de los análisis, la contribución en la toma de decisiones, la coordinación en los procesos de desarrollo, la asistencia

a planificadores en la selección de medidas de mitigación y la implementación de acciones de respuesta.

Por último, cabe subrayar que los elementos claves de un territorio son diferentes según los actores sociales y sus representaciones, y según las escalas territoriales y temporales. Así, por ejemplo, lo que es importante para un grupo de individuos no lo es necesariamente para el grupo social; los elementos importantes para un barrio no son necesariamente importantes para la ciudad; las relaciones más significativas en áreas metropolitanas no son las mismas que en ciudades intermedias. Sin embargo, existen algunas consideraciones que son universalmente válidas:

- El riesgo tiene una expresión local.
- Cada territorio en función de sus contextos y características propias que generarán diversas propuestas y/o soluciones frente a situaciones de riesgo
- Las soluciones requieren de autonomía local, pero a su vez no se puede prescindir de las estructuras de mayor nivel.
- Los actores afectados deben tener una participación protagónica.

Podemos concluir afirmando que cumplir el objetivo de este trabajo orientado a investigar y conocer los mecanismos que dan origen a distintos niveles de vulnerabilidad sísmica de un determinado territorio, ha permitido generar una herramienta de evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica urbana mediante la aplicación de la geomática.

Además, ha permitido obtener un diagnóstico pormenorizado de los sectores más vulnerables del área urbana del departamento de Cauce, que puede constituirse como una base para la toma de medidas de intervención que tiendan a reducir los niveles de riesgo a los que se encuentra expuesta la población; y por lo tanto hacer de ese lugar un área más segura, más habitable y resiliente. Estos aportes pueden enriquecer los procesos actuales de planificación estratégica llevados a cabo por el COPESJ⁸⁸ en el marco del Plan Estratégico San Juan, cuyo objetivo general es promover el desarrollo del territorio de manera equilibrada, equitativa y sustentable, considerando las potencialidades, amenazas y vulnerabilidades

⁸⁸ Consejo de planificación estratégica de San Juan dependiente del Gobierno provincial.

específicas del mismo, para la gestión, transformación y ocupación de los espacios y los recursos.

Asimismo, la metodología planteada podría ser replicada en otros sectores de similares características como aporte a la ley que establece el “Sistema nacional para la gestión integral del riesgo y la protección civil” (N° 27.287) que se encuadrada en el Marco de Sendai, y fomenta la recopilación, el análisis y la gestión de los datos concernientes al conocimiento de las amenazas, la vulnerabilidad, la capacidad y el grado de exposición, entre otros de los elementos de la ecuación del riesgo; buscando identificar problemas y considerar los caminos para lograr una solución.

BIBLIOGRAFÍA



- ACURIO VERDESOTO Estefanía (2019). *Planificación Urbana y Ordenamiento Territorial en función de la gestión de riesgos sísmicos. Ciudad Portoviejo, post-sismo 2016*. [en línea]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15981>
- ALONSO FRANK Alción; GALDEANO RUIZ Mariana; Sales Romina; SORIA María y SCOGNAMILLO Amelia (2020). *Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas*. *Revista Proyección* Vol. 14 N° 27. [en línea] <http://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/proyeccion/article/view/3756>
- ALVARADO Patricia (2017). *Estudio sismológico e histórico del terremoto de San Juan, Argentina, del 15 de enero de 1944*. *Anales Acad. de Cs. Ex., Fís. Y Nat.*, tomo 58: 79-92. [en línea]. https://www.ancefn.org.ar/user/FILES/ANALES/TOMO_58/17
- ARACIL Javier (1986). *Máquinas, sistemas y modelos. Un ensayo sobre sistémica*. *Cuadernos de filosofía y ensayo*. [en línea] <https://www.abebooks.com/9788430913329/Ma%CC%81quinas-sistemas-modelos-ensayo-siste%CC%81mica-8430913327/plp>
- AYALA OMAÑA Rubén; SANTANDER Alejandro y OROPEZA Carlos (2017). *Amenaza sísmica en Latinoamérica*. *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 58, núm. 2, 2017 – Universidad de los Andes. [en línea] <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3477/347753793001/html/index.html>

- BARCENA Alicia (2020). *La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en el nuevo contexto mundial y regional: escenarios y proyecciones en la presente crisis*. CEPAL [en línea] https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45336/S2000208_es
- BARREDO José (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. [en línea] <https://www.redalyc.org/pdf/721/72103407>
- BATTY Michael (2013). *The New Science of Cities*. Cambridge: MIT Press. [en línea] <https://scielo.conicyt.cl/pdf/eure/v41n122/art13.pdf>
- BECCARIA Luis y MINUJIN Alberto (1985). *Métodos Alternativos para medir la Evolución del Tamaño de la Pobreza*. Documento de Trabajo 6. – INDEC, Buenos Aires. [en línea] https://biblioteca.indec.gob.ar/bases/minde/4si11_6.pdf
- BELLO Omar, BUSTAMANTE Alejandro y PIZARRO Paulina (2020). *Planificación para la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/108) Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). [en línea] <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46001-planificacion-la-reduccion-riesgo-desastres-marco-la-agenda-2030-desarrollo>
- BERNAL Gabriel (2014) Tesis Doctoral. *Metodología para la modelación, cálculo y calibración de parámetros de la amenaza sísmica para la evaluación probabilista del riesgo*. [en línea] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=98184>
- BERNAL Gabriel y CARDONA Omar (2018). *Hay que medir para decidir con idoneidad*. Revista Fasecolda (168) 62-67. [en línea]. <https://revista.fasecolda.com/index.php/revfasecolda/article/view/299>
- BOCCOLINI Sara María (2016) *El evento urbano. La ciudad como un sistema complejo lejos del equilibrio*. Quid16. Revista del Área de Estudios Urbanos. ISSN: 2250-4060. [en línea] <https://publicaciones.sociales.uba.ar/index.php/quid16/article/view/2073/1765>
- BURGA Rafael (2015). *La gestión del Riesgo de Desastres. Elementos para su comprensión e intervención local*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque – Perú. [en línea] <https://www.trabajos96/gestion-del-riesgo-desastres-elementos-su-compension-e-intervencion-local/html>
- BUZAI Gustavo y BAXENDALE Claudia (2015) *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica marco conceptual basado en la teoría de la geografía*. Memoria XIV conferencia iberoamericana de sistemas de información geográfica. Parte II. [en línea] https://www.researchgate.net/publication/282467651_Analisis_socioespacial_con_sistemas_de_informacion_geografica_Marco_conceptual_basado_en_la_teoría_de_la_geografía

- CALDERÓN Daniel y FREY Klaus. (2016) El ordenamiento territorial para la gestión del riesgo de desastres naturales en Colombia [en línea]. *Proyección*, 2016, n°36, 239-264. [en línea]. <http://www.scielo.org.co/pdf/terri/n36/n36a11.pdf>
- CAMARGO SALAZAR Isabella. (2018) – Estudio de caso: evaluación del riesgo ante un evento sísmico, mediante modelación probabilística y herramientas SIG, con un enfoque de inteligencia territorial-localidad de Santa Fe, Bogotá D.C [en línea] <http://hdl.handle.net/11349/13763>
- CAMPOS VARGAS Milagros; TOSCANA APARICIO Alejandra y CAMPOS ALANÍS Juan. (2015) Riesgos siconaturales: vulnerabilidad socioeconómica, justicia ambiental y justicia espacial. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 2015, vol. 24, n° 33, pp. 53-69. [en línea]. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v24n2/v24n2a4.pdf>
- CARBALLO Cristina (2005). *Espacio verde y ciudad – En Desigualdad y calidad de vida en la Argentina (1991-2001): aportes empíricos y metodológicos*. Buenos Aires: Centro de Investigaciones Geográficas – Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
- CARDONA Omar (2001). Tesis Doctoral: Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals I Ports. [en línea] [https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/19751/HolisticaRiesgoSismoBogota\(Cardona_2001\).pdf](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/19751/HolisticaRiesgoSismoBogota(Cardona_2001).pdf)
- CARDONA Omar (2001). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de Vulnerabilidad y Riesgo. Una Crítica y una Revisión Necesaria para la Gestión. – International Work Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice. Wageningen – Holanda. [en línea] <https://www.desenredando.org/public/articulos/2001/repvuln/RepensarVulnerabilidadyRiesgo-1.o.o.pdf>
- CARDONA Omar (2012). *Determinants of risk: exposure and vulnerability. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012, pp. 65-108.
- CARREÑO Martha (2007). Tesis doctoral: Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post. Universidad Politècnica de Catalunya, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. [En línea] <http://www.tdx.cesca.es/>
- CARTAYA Scarlet (2015). La Gestión de Riesgos de Desastres y el Uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG): Algunas Consideraciones. [en línea] https://www.researchgate.net/publication/280091023_La_Gestion_de_Riesgos_de_Desastres_y_el_Uso_de_los_Sistemas_de_Informacion_Geografica_SIG_Algunas_Consideraciones

- CASTEL Robert (1999). *Las metamorfosis de la cuestión social. Una crónica del salariado*. Editorial Paidós. Bs.As. [en línea]. https://aulavirtual4.unl.edu.ar/pluginfile.php/7097/mod_resource/content/1/castel-robert-la-metamorfosis-de-la-cuesti%C3%B3n-social
- CASTELAO Gabriel, GÓMEZ Néstor y FINELLI Norma. (XXX) *Distribución de espacios verdes públicos y calidad de vida. Análisis comparativo en tres municipios de la provincia de Santa Fe*. ISSN 2362-4221. [en línea] <http://jornadasgeografia.fahce.unlp.edu.ar>
- DEL BOSQUE Isabel; FERNÁNDEZ Carlos y PÉREZ Esther (2012). *Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales*. Confederación Española de Centros de Estudios Locales (CSIC). [en línea]. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/64940/1/Los%20SIG%20y%20la%20Investigacion%20en%20Ciencias%20Humanas%20y%20Sociales.pdf>
- DEMATTEIS Giuseppe (2006). *En la encrucijada de la territorialidad urbana*. Revista Bitácora Urbano Territorial, vol. 10, núm. 1, enero-diciembre, 2006, pp. 53-63. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. [en línea] <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74831071005>
- DÍAZ URIBE Keshia y OSPINA HIGUERA Jessica. (2017). *Manual y software con recopilación de funciones de vulnerabilidad para la evaluación ante amenazas sísmicas en Colombia*. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia. [en línea]. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15508/2/RAE-MANUAL%20Y%20SOFTWARE%20VULNERABILIDAD.pdf>
- DUEKER Kenneth y KJERNE Daniel (1989). *Multipurpose cadastre terms and definitions*. Falls Church: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing and American Congress on Surveying and Mapping. [en línea] https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1987journal/oct/1987_oct_1361-1365.pdf
- FERNÁNDEZ Gabriel (2017). *Propuesta metodológica: construcción de un índice de vulnerabilidad global ante la amenaza sísmica, en espacios regionales, con el uso de técnicas estadísticas multivariadas*. Terra. Nueva Etapa. [en línea]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=721/72155359006>
- GALACHO Federico y OCAÑA María (2006). *Tratamiento con SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales*. XII Congreso nacional de tecnologías de la información geográfica: El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas (Actas). Granada: Editorial Universidad de Granada, pp. 1509 -1525

- GIL Verónica (2017). Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades. *Revista Universitaria de Geografía*, 26(2), 185-187. [en línea]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3832/383254667007>
- GÓMEZ Alicia; ÁLVAREZ Gustavo; MARIO Silvia y OLMOS Fernanda (2004). El estudio de la pobreza según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001 Metodología de elaboración del Índice de Privación Material de los Hogares (IPMH) [en línea] https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/sociedad/metodologia_ipmh_2016.pdf
- HERZER Hilda (2015). Construcción del riesgo, desastre y gestión ambiental urbana: Perspectivas en debate. *Revista virtual REDESMA. Categoría N° 45*. [en línea]. <http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rvr/v5n2/ao8.pdf>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS -INDEC (2010.) Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Ministerio de Economía y Producción. Base de datos redatam +SP. [en línea] <http://www.indec.gov.ar/webcenso/index.asp>
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA - INTA. (1990). Atlas de suelos de la República Argentina. Vol 2 - Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Proyecto PNUD ARG. 85/019. ISBN: 9504329641 [en línea] <http://www.geointa.inta.gob.ar/2013/05/26/suelos-de-la-republica-argentina/>
- INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA (1977). El Terremoto de San Juan del 23 de noviembre de 1977: Informe Preliminar, 102 p., San Juan - Argentina
- INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA (1982). Microzonificación Sísmica del Valle del Tulum, provincia de San Juan. Resumen ejecutivo. [en línea] <http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Reglamentos/RESUMEN%20EJECUTIVO%20MS%20VALLE%20TULUM.pdf>
- INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA (2018). Reglamento Argentino Para Construcciones Sismorresistentes. Parte I, Construcciones en General. INPRES - CIRSOC 103. [en línea] http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/INPRES-CIRSOC-103_Parte_I-Reglamento.pdf
- LANTADA ZARZOSA M^a Nieves (2007) Tesis Doctoral. Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona. [en línea] <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6259/09Nlzo9de12.pdf?sequence=9>
- LAVEL, Allan. 1999. "Un encuentro con la verdad: los desastres en América Latina durante 1998". *Anuario Político y Social de América Latina y el Caribe* 2:164-173.
- LAVELL Alan (2011). Desempacando la adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo: Buscando las relaciones y diferencias: Una crítica y construcción conceptual y epistemológica. Secretaría General de la FLACSO y La Red para el Estudio Social de la Prevención de Desastres en América Latina. [en línea]

https://www.desenredando.org/public/varios/2011/2011_UICN-FLACSO_Lavell_Adaptacion_Cambio_Climatico.pdf

LEÓN TRUJILLO, Francisco; REYES-ÑIQUE, José & BAIOCCHI, Valerio (2019). Técnicas de SIG y teledetección para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico en zonas urbanas [resumen]. En *Proyectos de investigación 2019* (p.58). Universidad de Lima, Instituto de Investigación Científica. [en línea]. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/ulima/9825>

LÓPEZ TRIGAL, Lorenzo. (2015). *Diccionario de Geografía aplicada y profesional. Terminología de análisis, planificación y gestión del territorio*. Universidad de León.

MANERA BASSA, Jaime y BLANCO, Francisco (2004). *Análisis multivariante para las ciencias sociales*. ISBN 9788481555417. Madrid: Dykinson

MARSKREY Andrew (1998). *Navegando entre brumas. La aplicación de los SIG al análisis de riesgo en América Latina*. – Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina [en línea] https://www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/neb_intro_nov-09-2002.pdf

MASSERA Cristina (2018). *Tesis Doctoral: Modelo ambiental con SIG aplicado a la Gestión del Riesgo de Desastre Urbano. El Caso Comodoro Rivadavia – Chubut, Argentina 2008/2017*. [en línea]. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4408>

MÁTTAR Jorge & CUERVO Luis (2017), *Planificación para el desarrollo en América Latina y el Caribe: enfoques, experiencias y perspectivas*, (LC/PUB.2017/16-P) Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). [en línea] <https://www.cepal.org/es/publicaciones/42139-planificacion-desarrollo-america-latina-caribe-enfoques-experiencias>

MCGUIRE Robin (2001). *Deterministic vs probabilistic earthquake hazards and risks*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21(5): 377-384. [en línea] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0267726101000197>

MORA CUEVAS Miguel (2016) *Tesis Doctoral. Análisis beneficio costo probabilista de medidas de mitigación del riesgo por sismo*. [en línea] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=112886>

MORENO JIMÉNEZ José; AGUARÓN Juan, CANO Francisco & ESCOBAR, María (1998) *Validez, robustez y estabilidad en decisión multicriterio. Análisis de sensibilidad en el proceso analítico jerárquico*. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Vol. 4, n° 92, pp. 387-397. [en línea]. https://www.researchgate.net/publication/28290958_Validez_Robustez_y_Estabilidad_en_Decision_Multicriterio_Analisis_de_Sensibilidad_en_el_Proceso_Analitico_Jerarquico

- MORENO Antonio; BUZAI Gustavo & FUENZALIDA Manuel (2012). *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales*. Madrid, Editorial Ra-Ma. [en línea] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=504451>
- MUÑOZ D. (1989). Conceptos básicos en riesgo sísmico. *Física de la Tierra*, 1: 199-215. Cátedra de Geofísica. Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense. Madrid [en línea] https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Conceptos+b%C3%A1sicos+en+riesgo+s%C3%ADsmico&author=Munoz+D.&publication_year=1989&journal=F%C3%ADsica+de+la+Tierra&volume=1&pages=199-215
- NACIF Nora. (2016). Diseño de indicadores urbanos de sustentabilidad. El caso del Gran San Juan en Argentina. *Revista Urbano*. 19. 6-15. 10.22320/07183607.2016.19.34.1. [en línea] https://www.researchgate.net/publication/316502024_Diseño_de_indicadores_urbanos_de_sustentabilidad_El_caso_del_Gran_San_Juan_en_Argentina/citation/download
- NACIONES UNIDAS. Departamento de Asuntos Económicos Y Sociales (2003). *Informe sobre la situación social del mundo 2003. Vulnerabilidad social: Fuentes y desafíos*. Nueva York, United Nations Publications. [en línea] http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2003_es.pdf
- NACIONES UNIDAS – UNSIDR (2009) – *Estrategia Internacional para la Reducción de Riesgos de desastres de las Naciones Unidas: Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. [en línea] https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf
- NACIONES UNIDAS – Habitat III (2017). *Nueva agenda urbana versión en español*. ISBN: 978-92-1-132736-6 [en línea] <https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf>
- NACIONES UNIDAS – UNDRR (2019). *Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019*, Ginebra. [en línea] <https://www.undrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction->
- NACIONES UNIDAS – UNISDR (2020). *Estrategia Internacional para la Reducción de Riesgos de desastres de las “Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres”* [en línea] <https://sendaimonitor.unisdr.org>.
- NAYIVE JARAMILLO Santana (2014) *Tesis Doctoral. Evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas y estrategias para su mitigación. Aplicación a la ciudad de Mérida-Venezuela*. [En línea]. <https://1library.co/document/q5rv36gz-evaluacion-holistica-sismico-estrategias-mitigacion-aplicacion-merida-venezuela.html>

- OLCINA CANTOS, Jorge & MOROTE SEGUIDO, Álvaro. (2018) *Evaluación de los riesgos naturales en las políticas de ordenación urbana de los municipios de la provincia de Alicante. Legislación y cartografía de riesgo. Cuadernos Geográficos*, 2018, vol. 3, n°57, pp. 152–176. [En línea]. <http://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/6390>
- PALACIOS Silvia & PERUCCA Laura (2020). *Patrimonio geológico efímero: propuesta metodológica para el inventario y evaluación de las estructuras generadas por licuación de suelos durante sismos, San Juan–Argentina. Bol. Soc. Geol. Mex* vol.72 no.1 México. [en línea]. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140533222020000100109&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- PAZMIÑO ZABALA César (2020). *Las Tics como herramienta para la gestión de riesgos REVISTA: RECIMUNDO* ISSN: 2588-073X páginas: 173–181 EDITORIAL: *Saberes del Conocimiento* [en línea]. <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/793>
- PERUCCA, Laura & VARGAS, Nicolás (2014). *Neotectónica de la provincia de San Juan, centro-oeste de Argentina. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2),291–304. [en línea]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=943/94331762006>
- PERUCCA, Laura & BASTÍAS Hugo (2005) *El Terremoto Argentino de 1894: Fenómenos de Licuefacción asociados a Sismos, INSUGEO, Serie Correlación Geológica*, 19, 55–70.
- PLAM SJ (2013) *Plan de Ordenamiento Territorial del área Metropolitana de San Juan. – Subsecretaría de Planificación Territorial de la Inversión Pública; Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. San Juan, Argentina. [en línea]* <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-loc/SANJUAN/Plan-de-Ordenamiento-Territorial-del-Area-Metropolitana-de-San-Juan-PLAM-SJ.pdf>
- PNRDD (2018) *Plan Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2018–2023. secretaría de Protección Civil, Ministerio de Seguridad de la Nación. [en línea]* <https://www.argentina.gob.ar/sinagir/institucional/plan-nacional-reduccion-de-riesgos>
- PREDECAN (2006) *Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina. Componente de Fortalecimiento de Sistemas y Políticas Nacionales de Prevención y Atención de Desastres.[enlínea]*<http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/r1/sistematiz/infosistematizven.pdf>
- QUIÑONERO RÓDENAS, José Luis (2017) *Tesis doctoral Avances metodológicos en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en la trama urbana. Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento De Ingeniería Civil – Programa de Doctorado Medio Ambiente y Minería Sostenible [en línea]* <https://repositorio.upct.es/handle/10317/7005?locale-attribute=es>

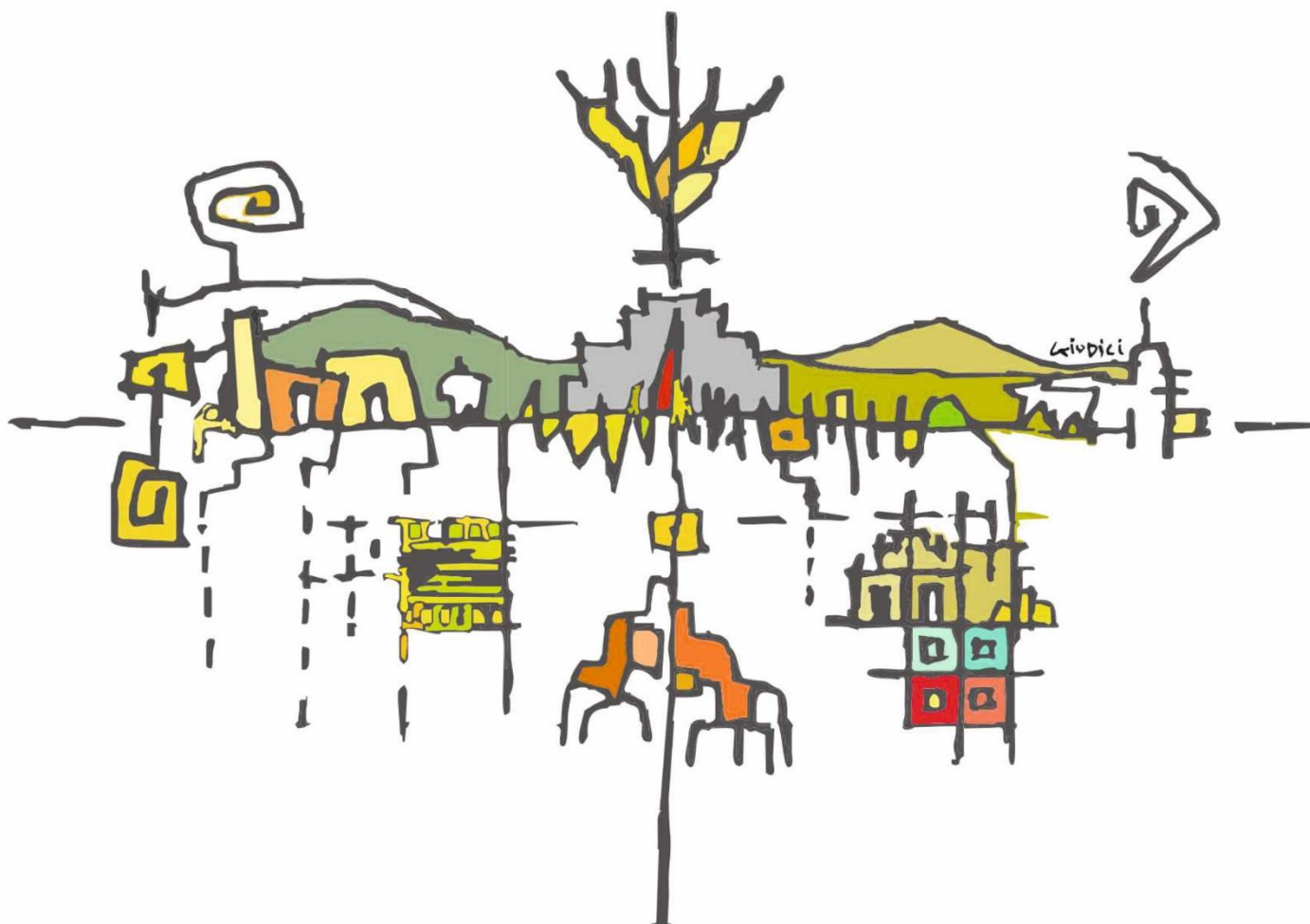
- RENDA Emilio (2017). *Manual para la elaboración de mapas de riesgo*. Buenos Aires : Programa Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD ; Argentina : Ministerio de Seguridad de la Nación. ISBN 978-987-1560-75-2
- REYES RIVERO, Ana; MONTILLA, Argenis; CASTILLO, Paola & ZAMBRANO, Martha. (2017). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo ante eventos naturales. Factores socialmente contruidos. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*. [en línea]. <https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol2iss6.2017pp22-28>
- ROMERO, Mirta; ZARAGOZA, Aldo & MARTÍN, Gustavo. (2002) Generación de escenarios para la evaluación del riesgo sísmico urbano”. *Planificación Física –Cuba Revista de Ordenamiento Territorial y Urbano*. Número 10/2006. ISSN 0138-6239
- ROMERO Mirta (2012) *Informe Técnico PICTO Riesgo Sísmico 2007 - Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana para su prevención y mitigación. Caso de Estudio Ciudad de San Juan - Argentina*. IRPHa - FAUD - UNSJ [en línea] <http://www.irpha.unsj.edu.ar/produccion/proyectos-de-investigacion/en-ejecucion/52-evaluacin-del-riesgo-ssmico-urbano-para-su-prevencin-y-mitigacin/>
- ROMERO, Mirta (2014). Mitigación de la vulnerabilidad física y social de sectores urbanos de alto riesgo. *Revista Andina*, vol. 2, n° 4, pp. 25-34 [en línea] <http://www.faud.unsj.edu.ar/revista-andinas>
- SAATY Thomas (1980). *The Analytic Hierarchy Process; Planning, Priority Setting Resource Allocation*. New York, McGraw – Hill [en línea] [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjt55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1895817](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjt55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1895817)
- SIMON, David (2016). *Reconceptualizando las Ciudades Sostenibles Accesibles, Verdes y Justas. Mistra Urban Futures*. [en línea]. https://www.mistraurbanfutures.org/sites/mistraurbanfutures.org/files/RSC-Spanish-web-version_o.pdf
- TAVARES DA SILVA, Francisco & SABÓIA DE AQUINO, Claudia María (2018). Problemática socioambiental urbana: estado da arte a partir del Simpósio Nacional de Geografia Urbana. *GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais*, 9 [en línea]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=5528/552857186003>
- TIBADUIZA, Martha; CARDONA, Omar & BARBAT, Alex. (2015). Estimación holística del riesgo sísmico – nuevos enfoques. VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Bogotá, Colombia. [en línea]. https://www.researchgate.net/publication/278783687_Estimacion_holistica_del_riesgo_sismico_-_nuevos_enfoques/citation/download

- VALCARCEL TORRES Jairo (2013) Tesis Doctoral. *Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales.* [en línea]
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=97246>
- VELASQUEZ VILLADA César (2016) Tesis Doctoral. *La curva híbrida de riesgo: análisis retrospectivo y prospectivo del riesgo por fenómenos naturales.* [en línea]
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=112897>
- VILLANUEVA PADRO Enrique (1993). *Hacia nuestra Historia – Caucete.* [en línea]
<http://evillanuevapadro.blogspot.com/p/libro-hacia-nuestra-historia.html>
- VÍLCHEZ, Inga. (2015) *Gestión de la información geoespacial: Guía de buenas prácticas para la implementación de infraestructuras de datos espaciales institucionales.* Presidencia del Consejo de ministros – PCM. Oficina Nacional de Gobierno Electrónico e Informática-ONGEI. [en línea]. www.giz.de/peru-pe.
- WILCHES-CHAUX, Gustav. (1993). *La vulnerabilidad global.* En *Los desastres no son naturales*, compilado por Andrew Maskrey, 11-44. Bogotá: La Red. [en línea]
<https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/>
- ZILBERT Linda (2012). *Proyecto DIPECHO: Fortaleciendo capacidades de sistemas subnacionales de gestión del riesgo y desarrollando la resiliencia de comunidades vulnerables a desastres. 5 herramientas para la Gestión del Riesgo de desastres.* Perú. [en línea]
<http://bvpad.indec.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2220/doc2220.htm>

Otras fuentes de consulta:

- ATLAS SJ: <http://www.atlas.unsj.edu.ar>
- BAHRA: <http://www.bahra.gob.ar/mapa>
- CATASTRO: <http://dgconsultasweb.sgis.com.ar>
- DIPECHO <https://dipecholac.net/>
- IDERA: <https://mapa.idera.gob.ar>
- IGN: <http://mapa.ign.gob.ar>
- INDEC: <https://www.sig.indec.gob.ar/censo2010>
- INDEC Redatam: <https://redatam.indec.gob.ar/>
- INPRES <http://contenidos.inpres.gov.ar>
- La Red <https://www.desenredando.org>
- ODSA-UCA <https://mapa.poblaciones.org/>

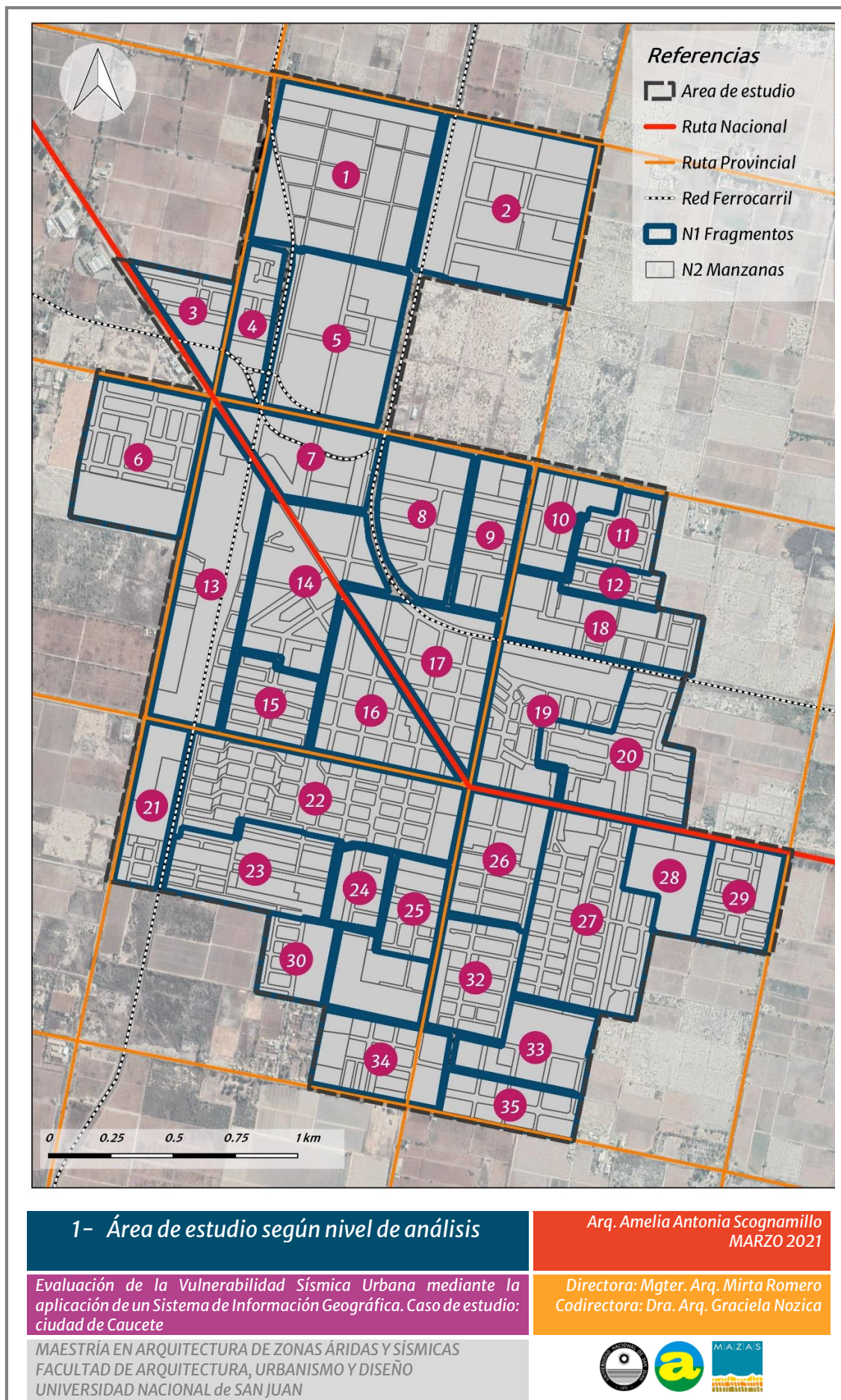
<i>PNRRD</i>	<i>https://www.argentina.gob.ar/sinagir/institucional/plan-nacional-reduccion-de-riesgos</i>
<i>PNUD</i>	<i>https://www.ar.undp.org/</i>
<i>PREDECAN</i>	<i>http://www.comunidadandina.org/predecan/predecan.html</i>
<i>SERGISAI</i>	<i>http://sergisai.mi.ingv.it/Project.html</i>
<i>SINAGIR</i>	<i>https://www.argentina.gob.ar/sinagir/institucional</i>
<i>UNDESA</i>	<i>https://www.un.org/en/desa</i>
<i>UNIDE:</i>	<i>https://unide.sanjuan.gob.ar</i>
<i>UNISDR</i>	<i>https://www.undrr.org</i>
<i>UNISDR</i>	<i>https://www.eird.org/americas/</i>

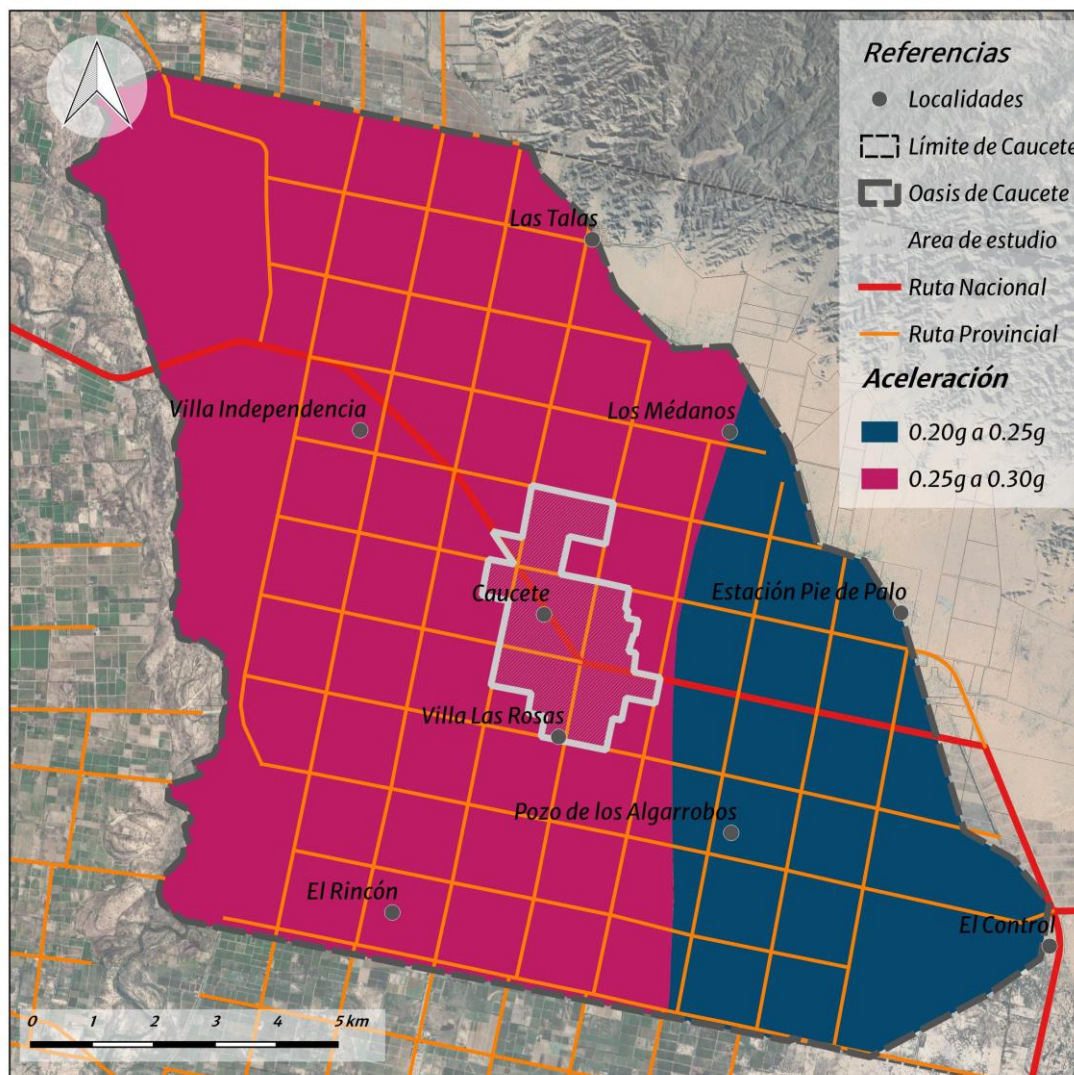


*...tantas casas derrumbadas y a la intemperie la gente,
el golpe alevé se siente por las almas extirpadas.
Hay personas rescatadas con vida para el asombro
desde adentro del escombros que pudo ser una tumba,
porque todo se derrumba, así tal como lo nombro.*

Micolta Cuero

06. Anexos / Mapas





2- Amenaza – Aceleración máxima del terreno

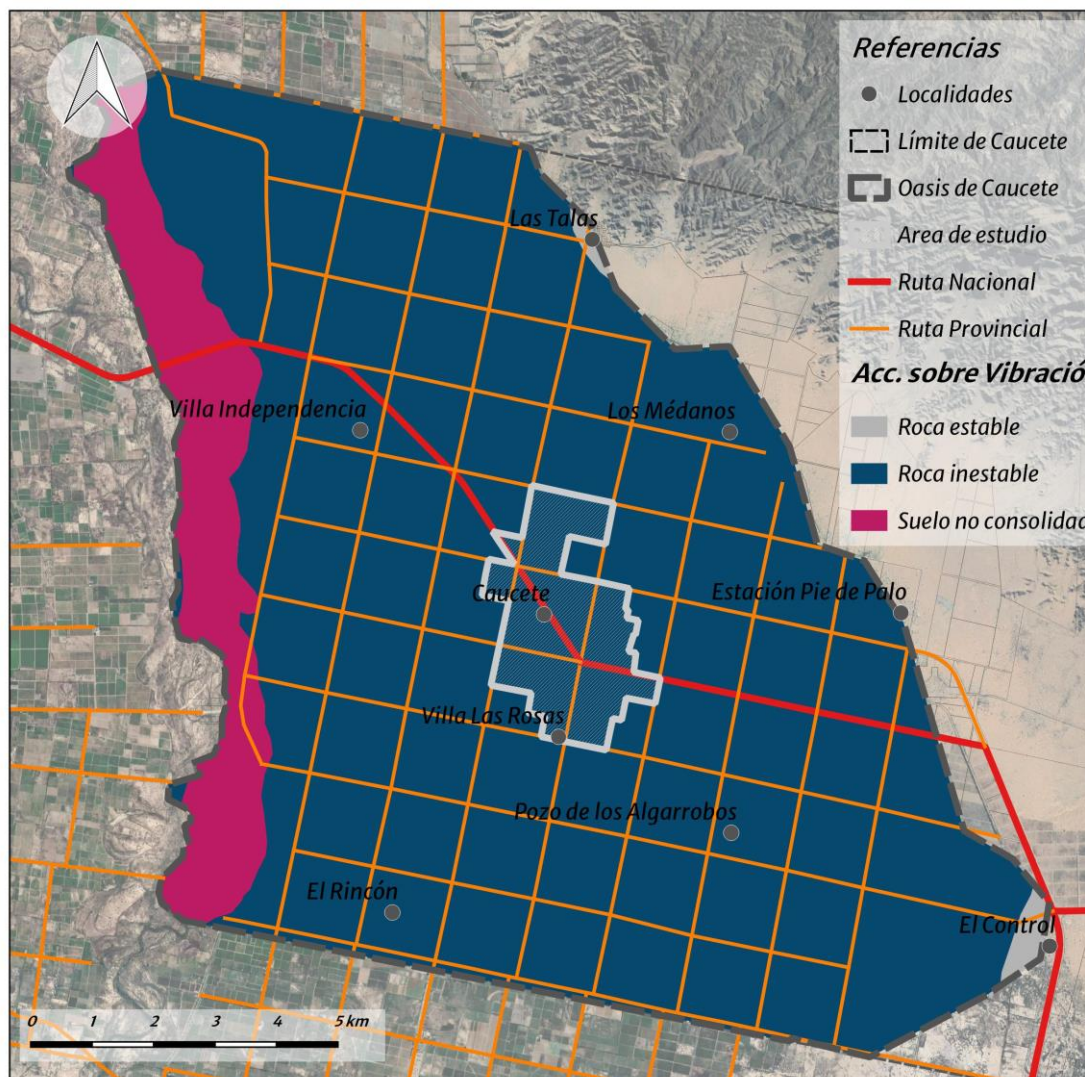
Arq. Amelia Antonia Scognamiglio
MARZO 2021

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN





3- Amenaza – Acción sobre la Vibración

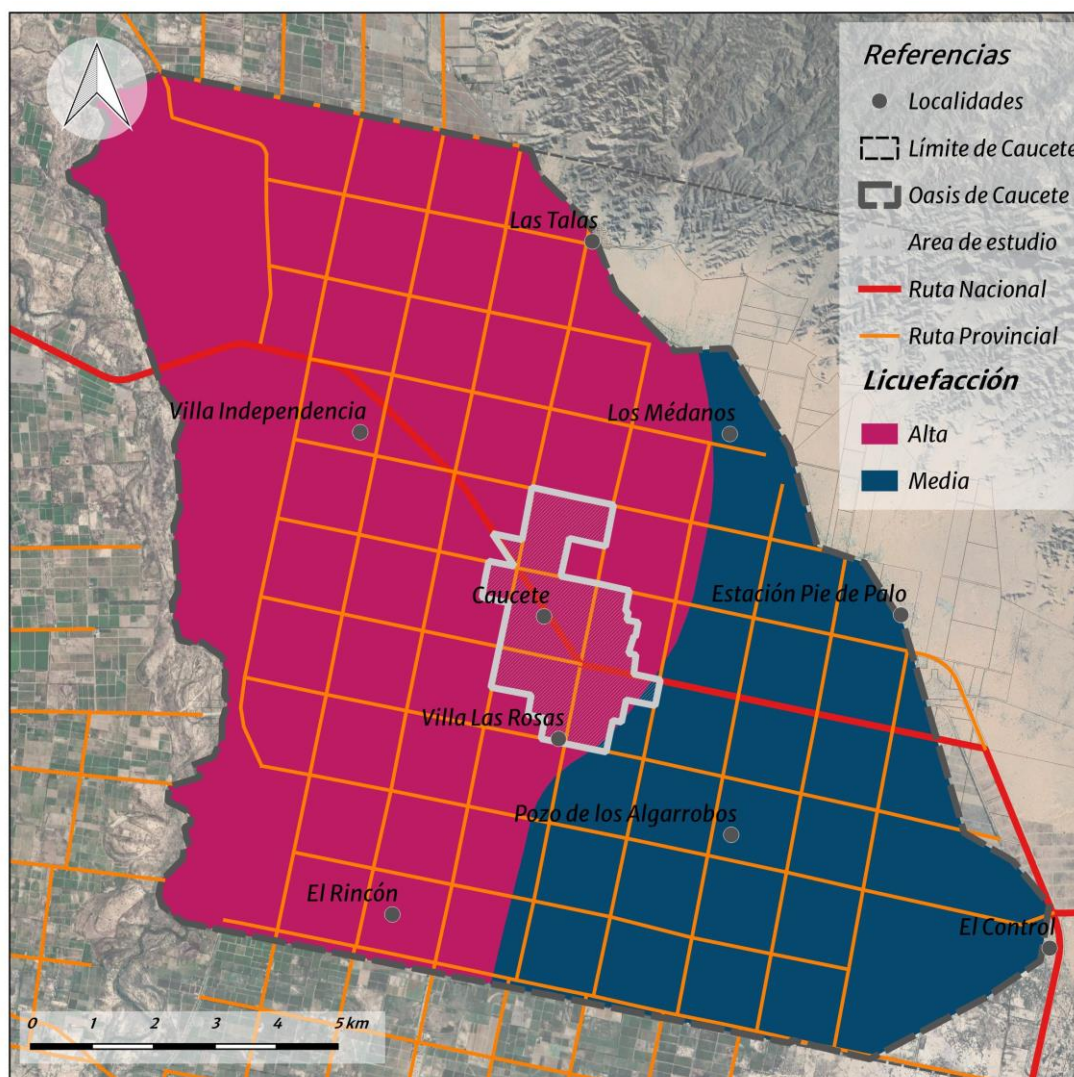
Arq. Amelia Antonia Scognamiglio
MARZO 2021

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN





4-Amenaza-Áreas con potencial de licuefacción

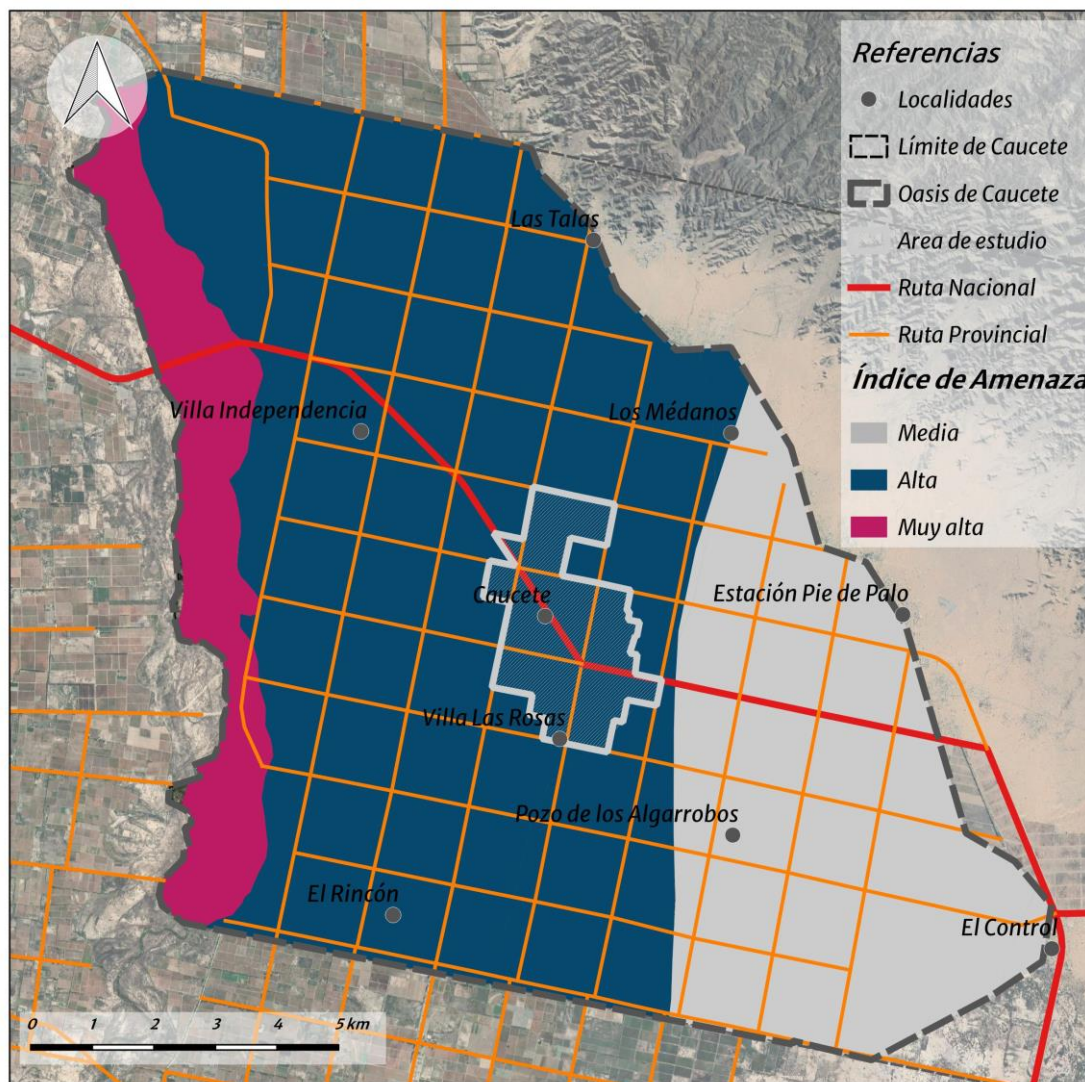
Arq. Amelia Antonia Scognamiglio
MARZO 2021

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN





5- Índice de amenaza sísmica

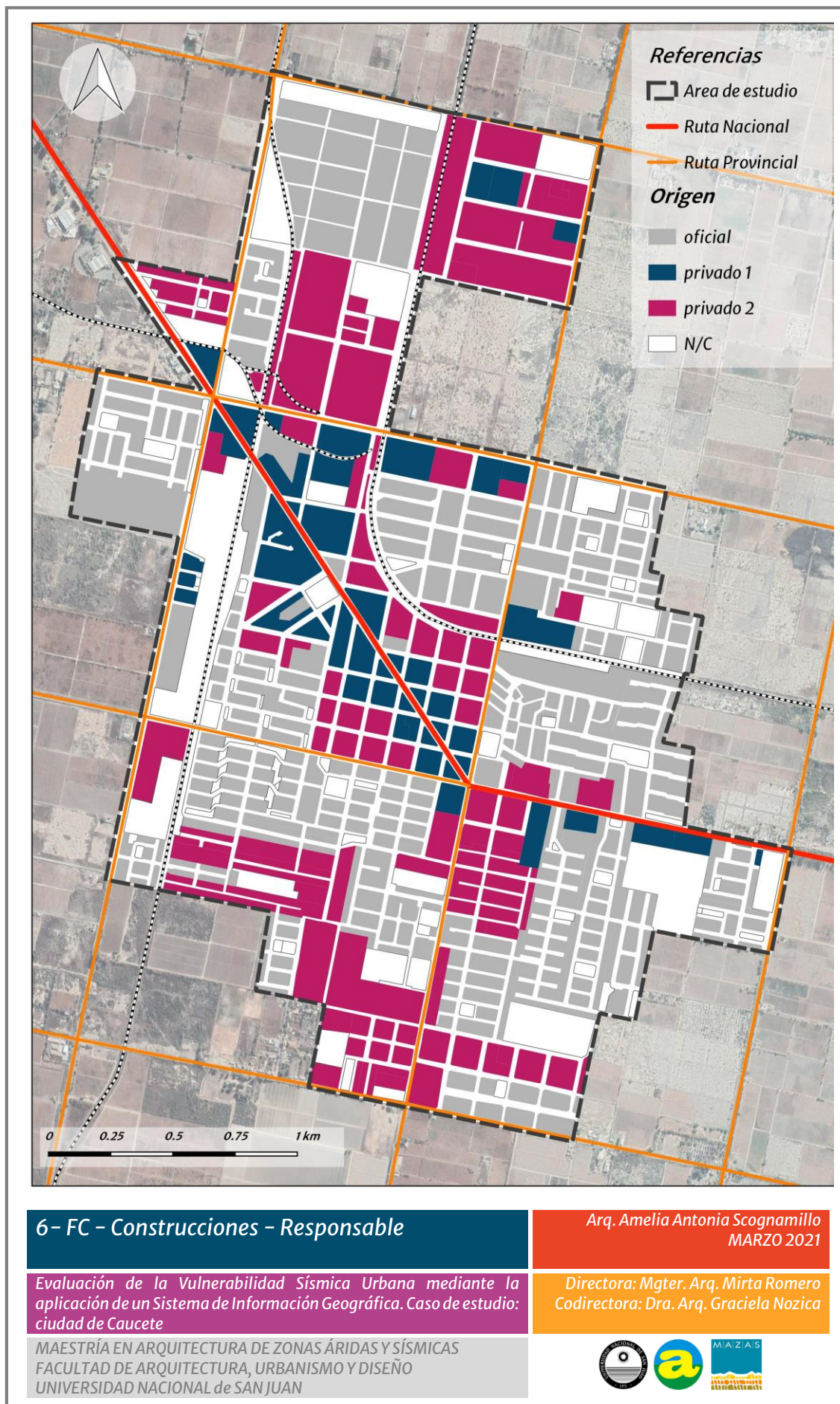
Arq. Amelia Antonia Scognamillo
MARZO 2021

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN





6- FC - Construcciones - Responsable

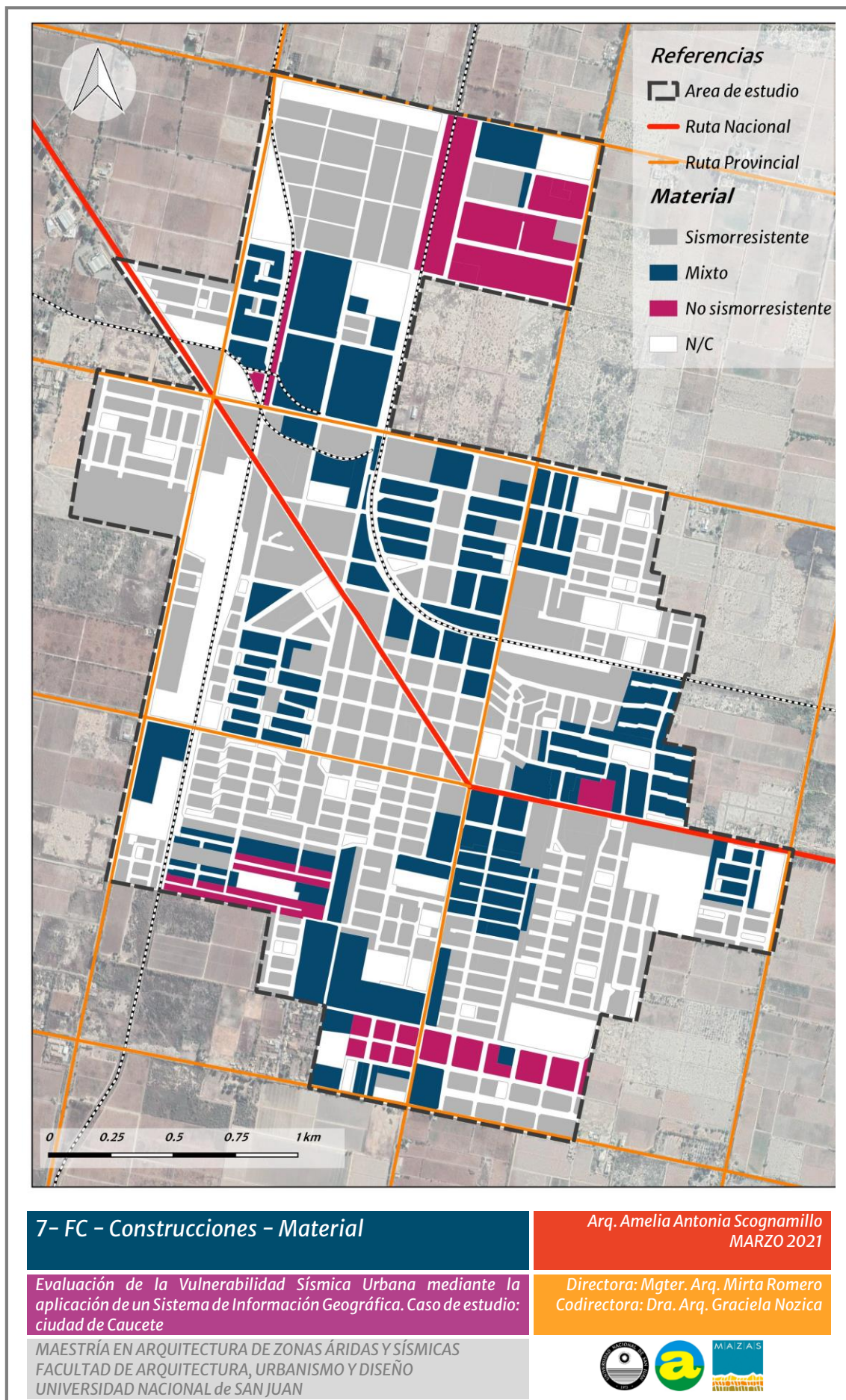
Arq. Amelia Antonia Scognamillo
MARZO 2021

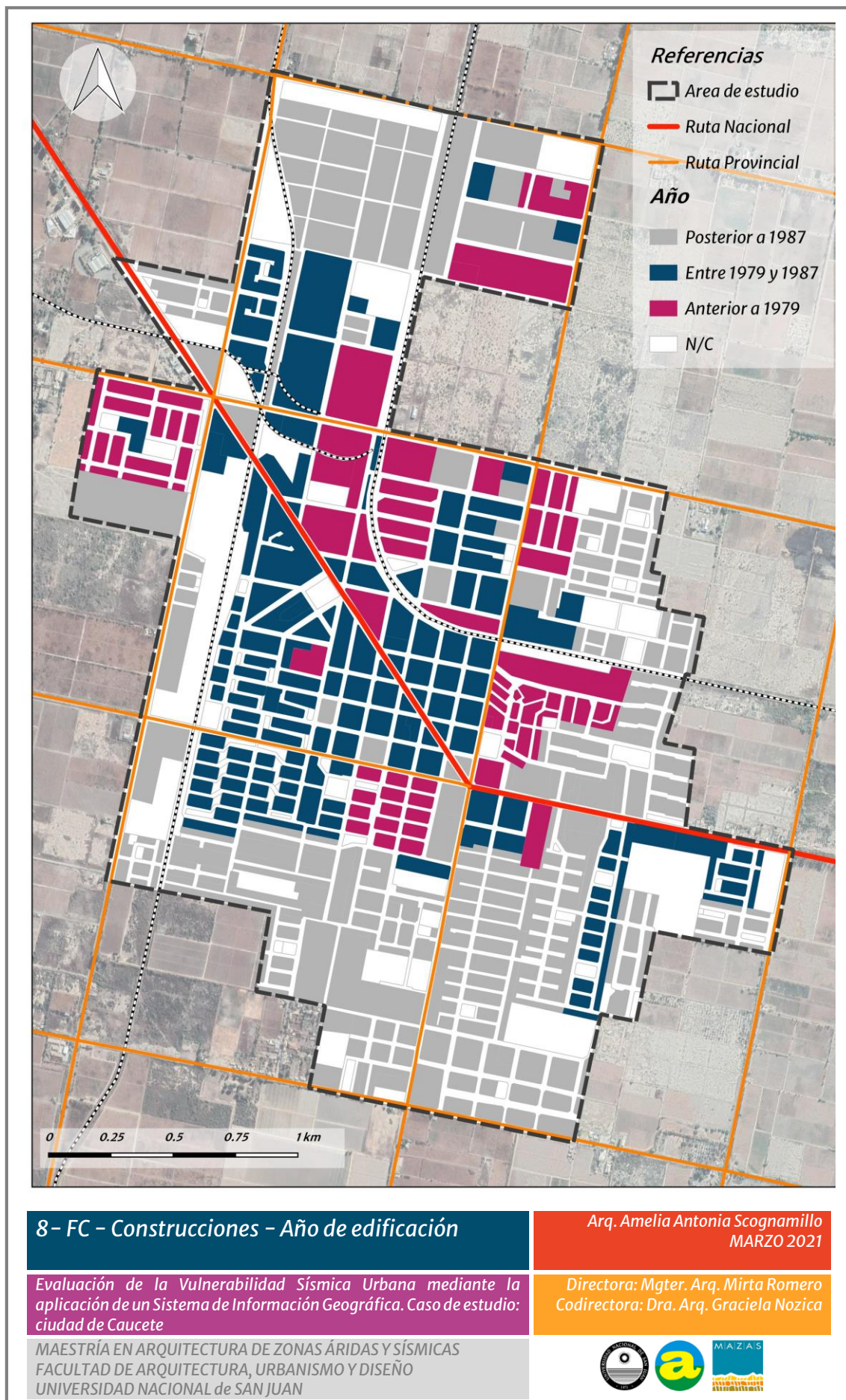
Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN







8- FC - Construcciones - Año de edificación

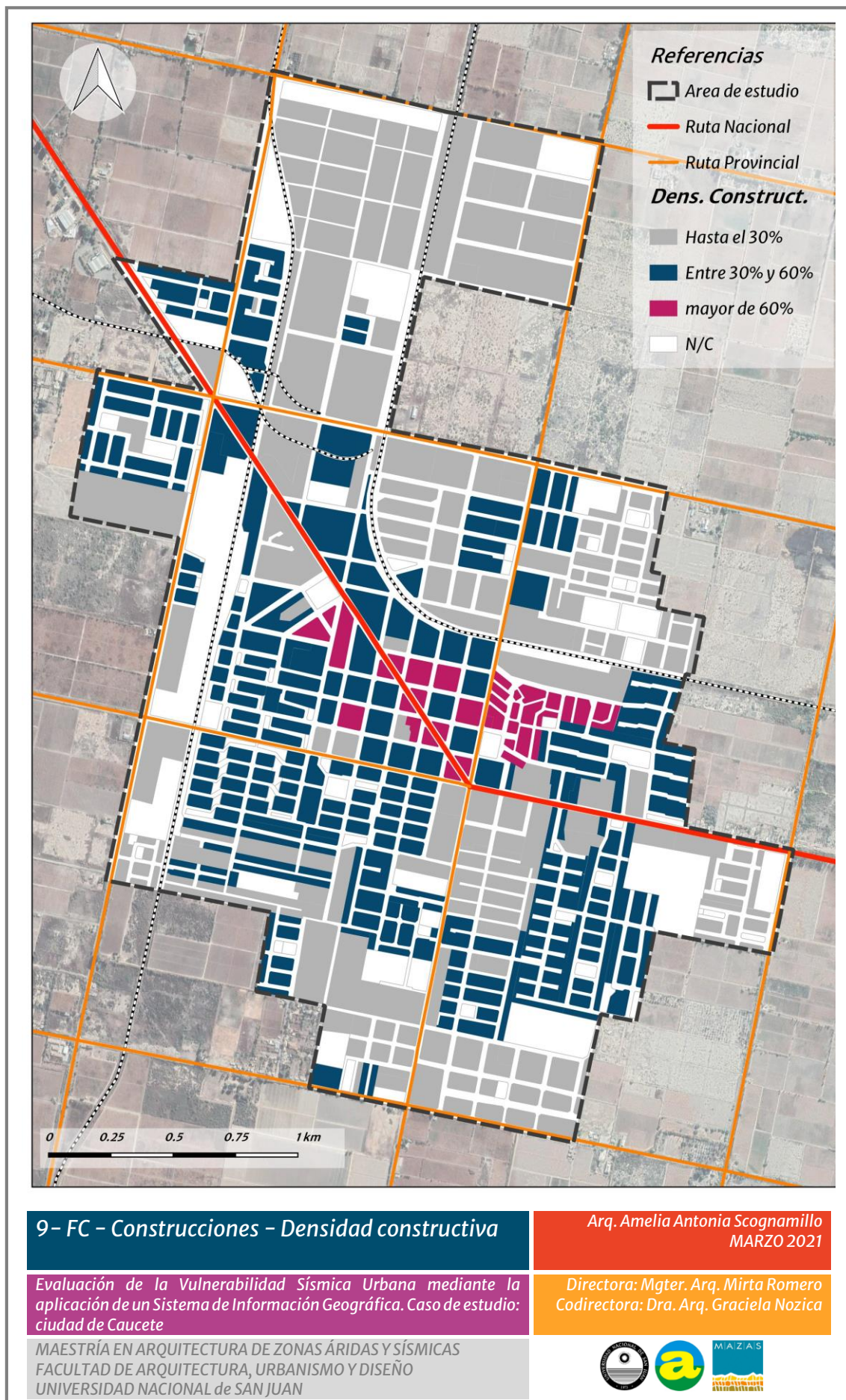
Arq. Amelia Antonia Scognamillo
MARZO 2021

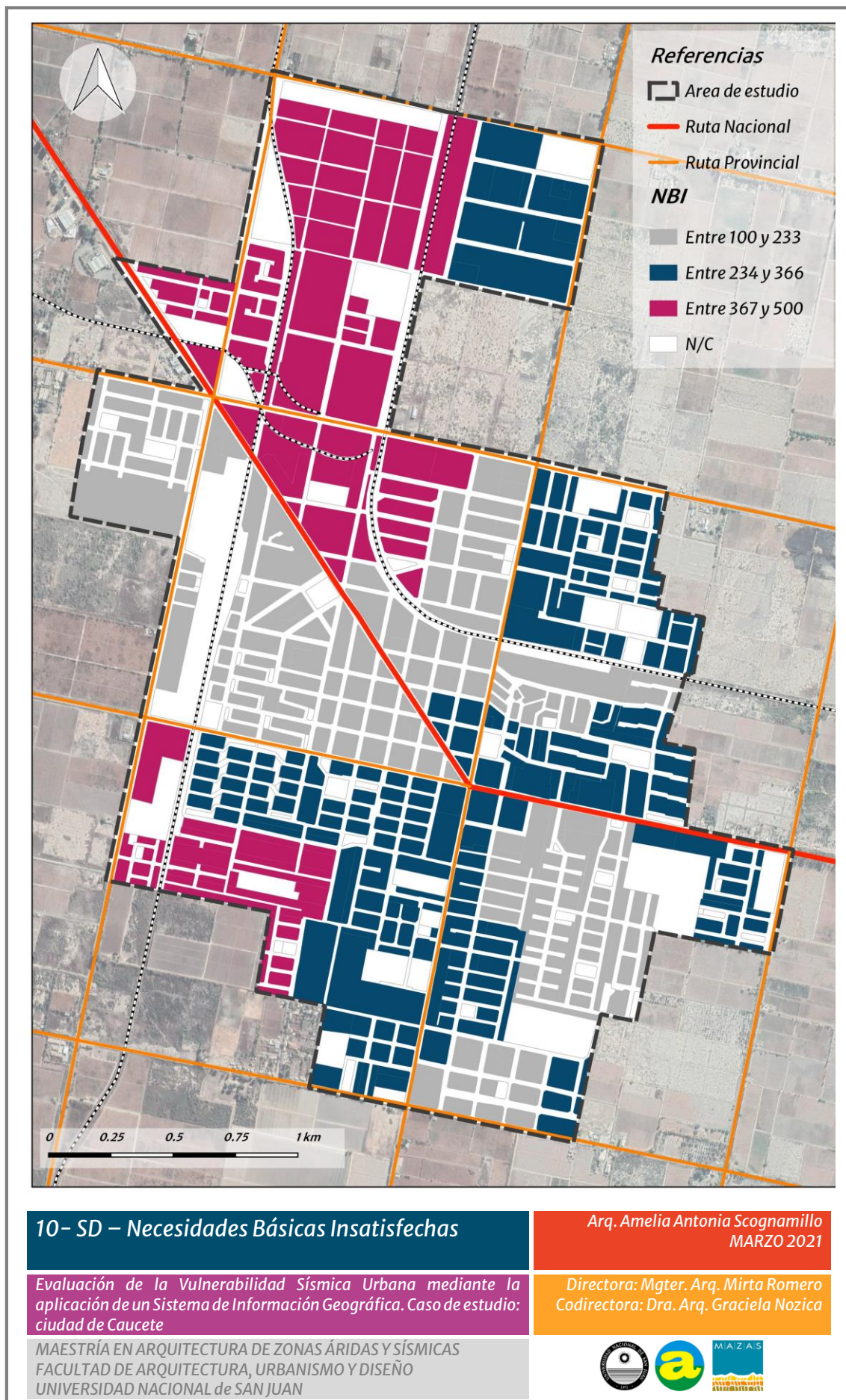
Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN







10- SD – Necesidades Básicas Insatisfechas

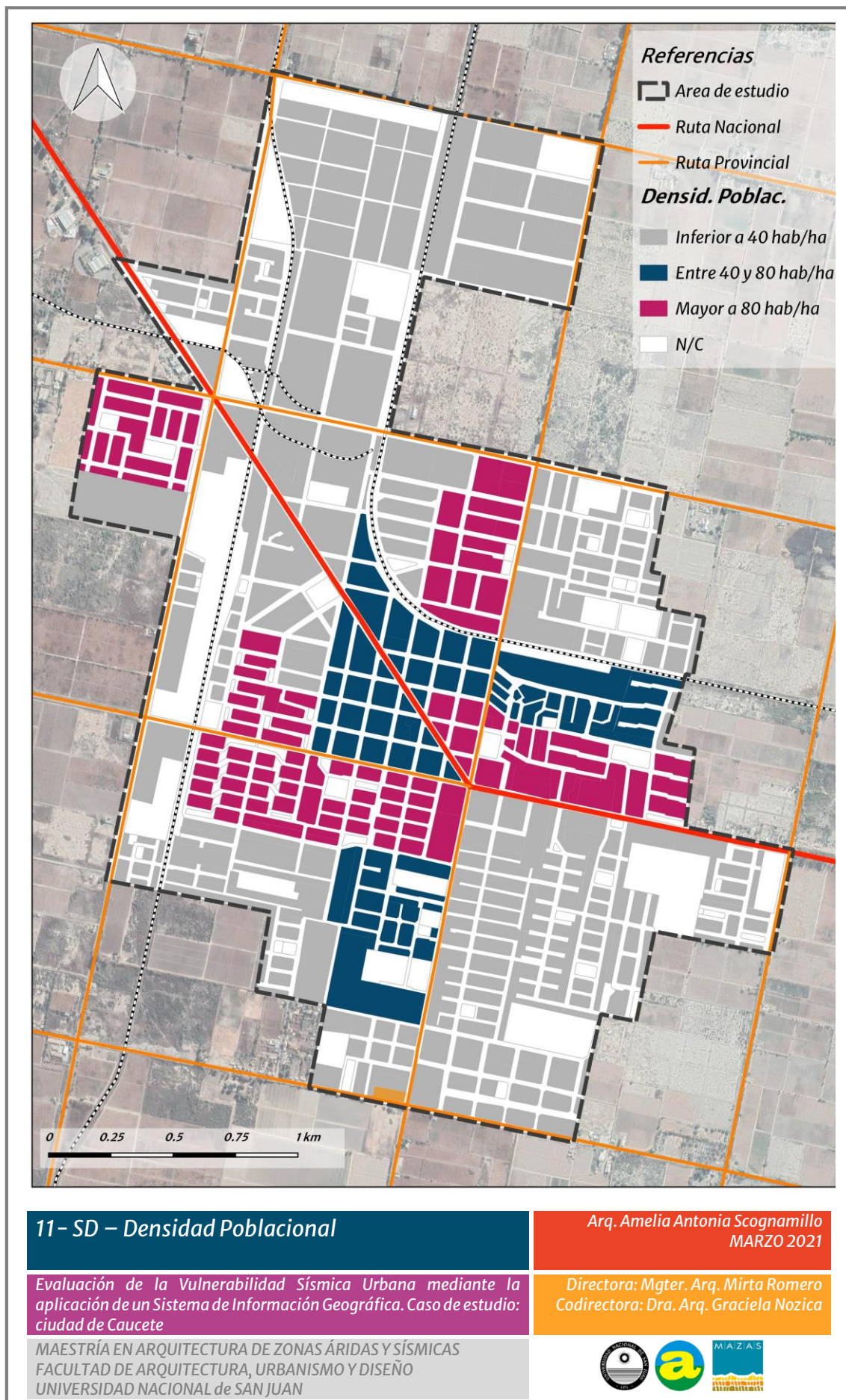
Arq. Amelia Antonia Scognamillo
MARZO 2021

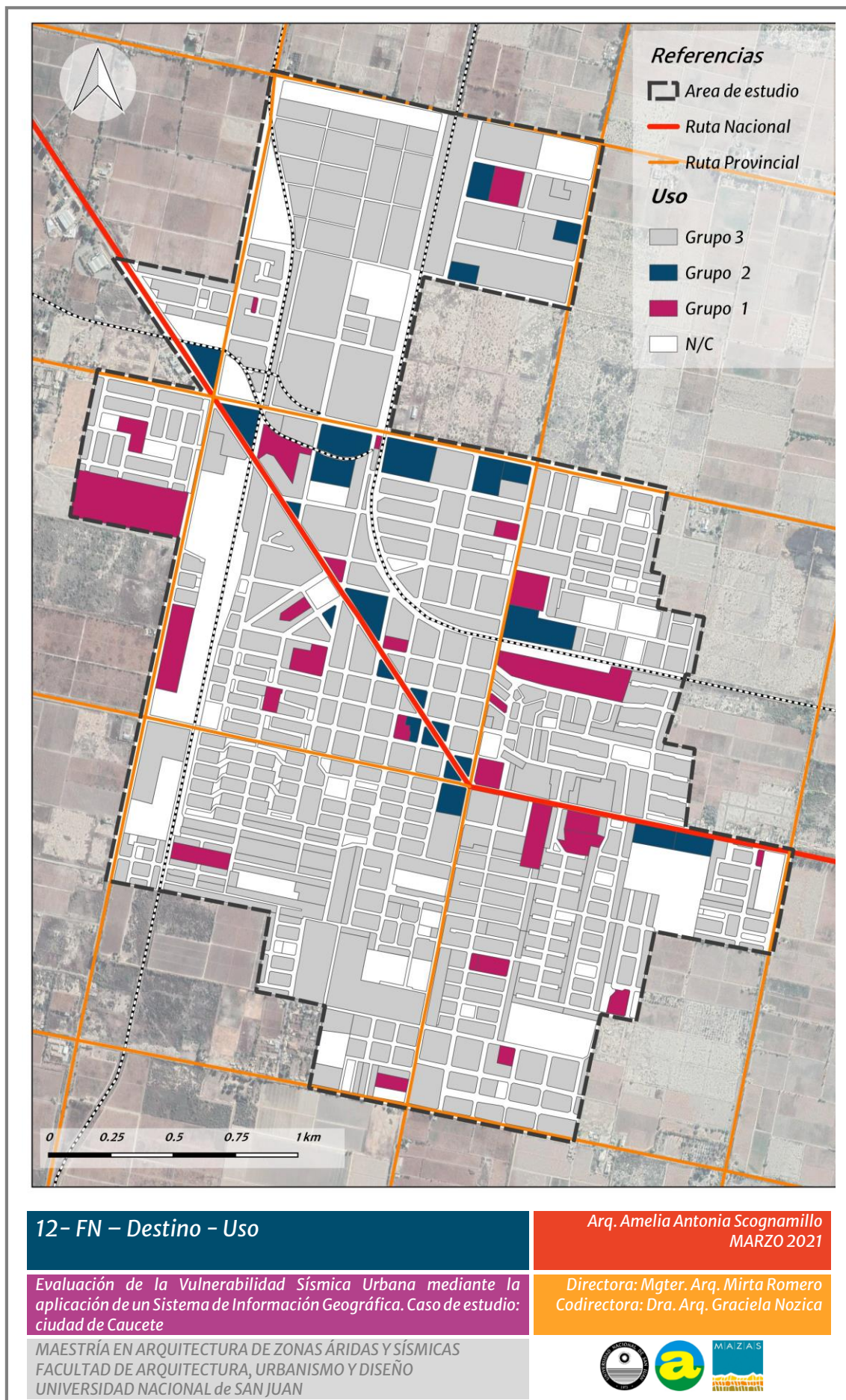
Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

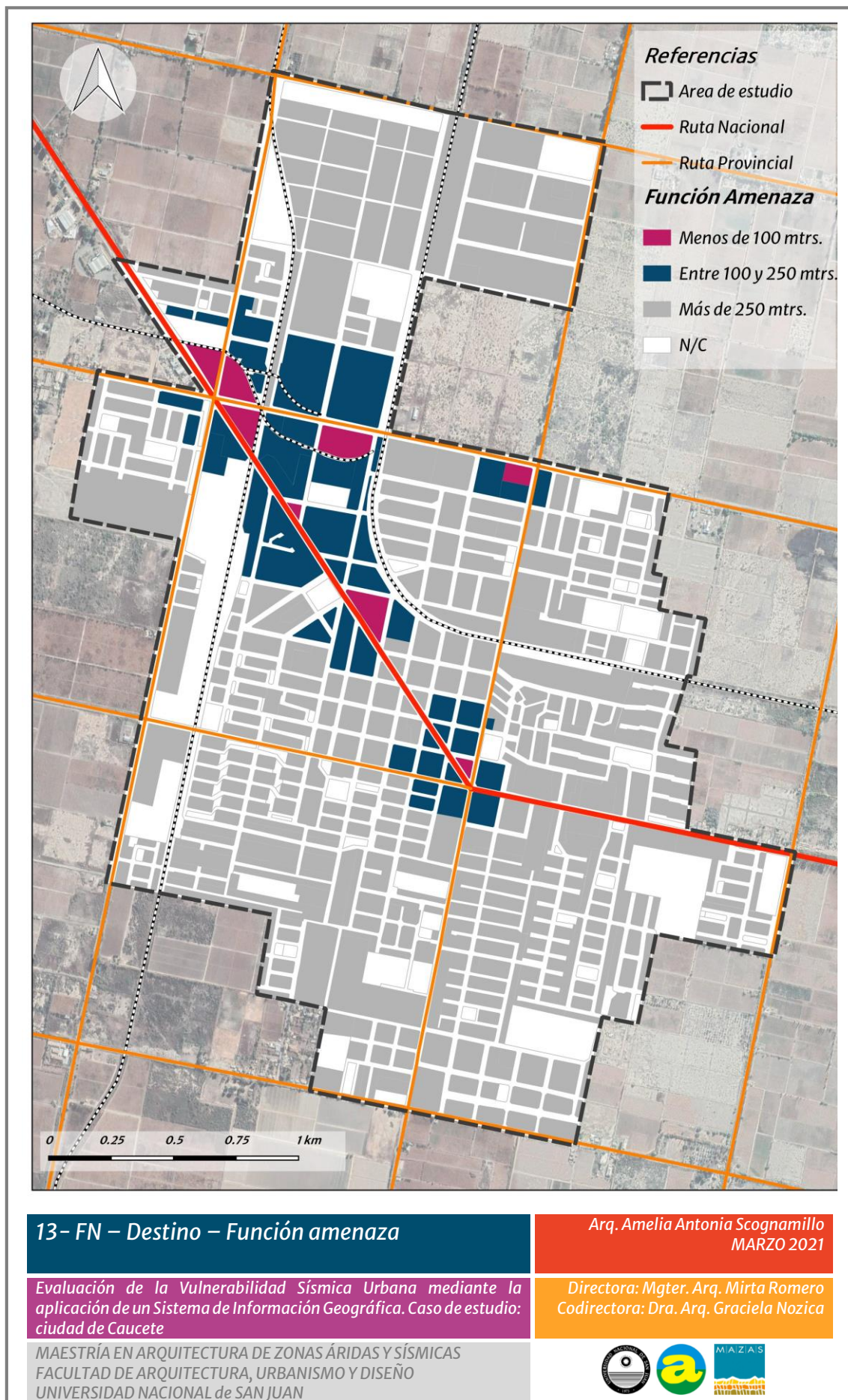
Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN









13- FN – Destino – Función amenaza

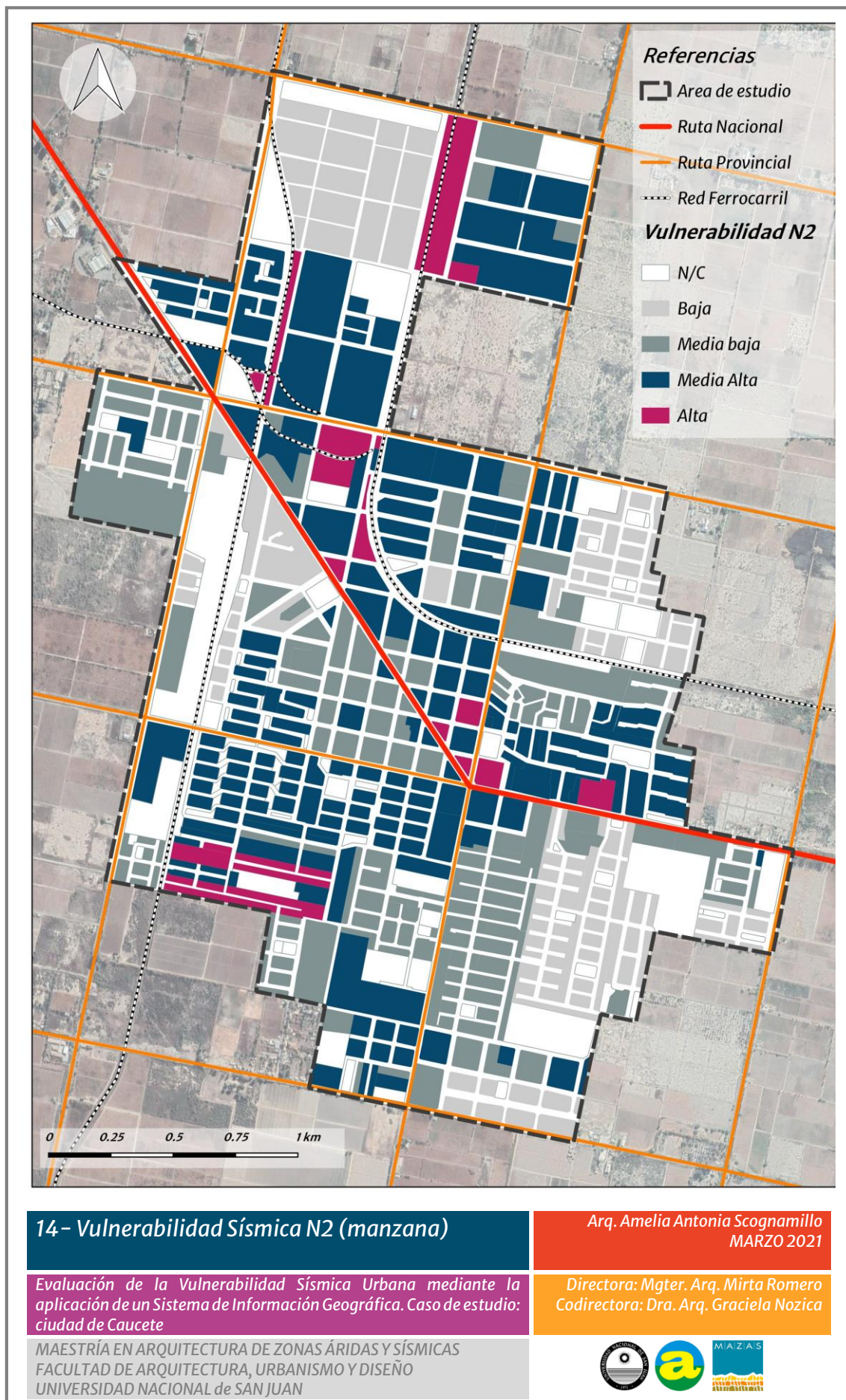
Arq. Amelia Antonia Scognamillo
MARZO 2021

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN





14- Vulnerabilidad Sísmica N2 (manzana)

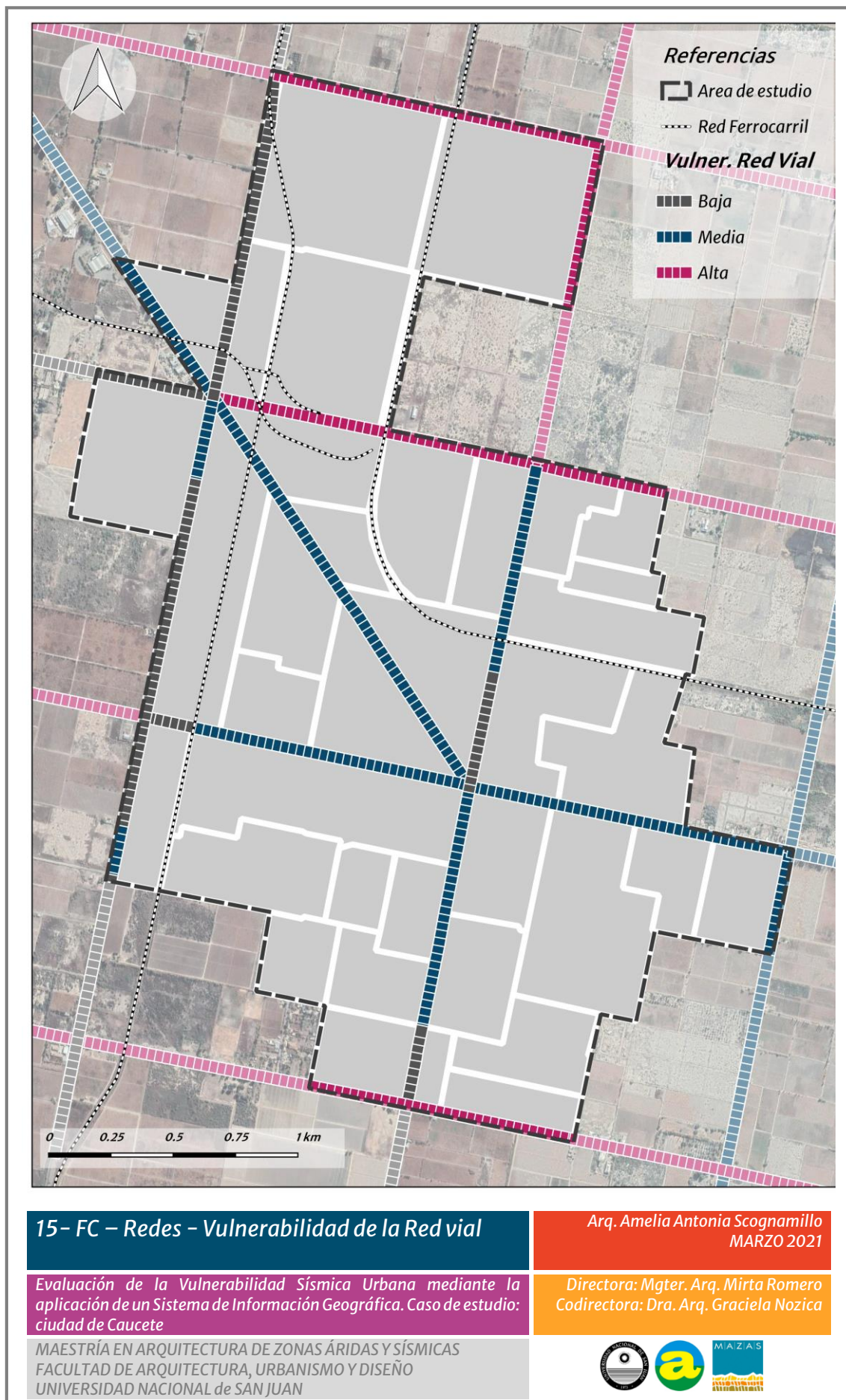
Arq. Amelia Antonia Scognamillo
MARZO 2021

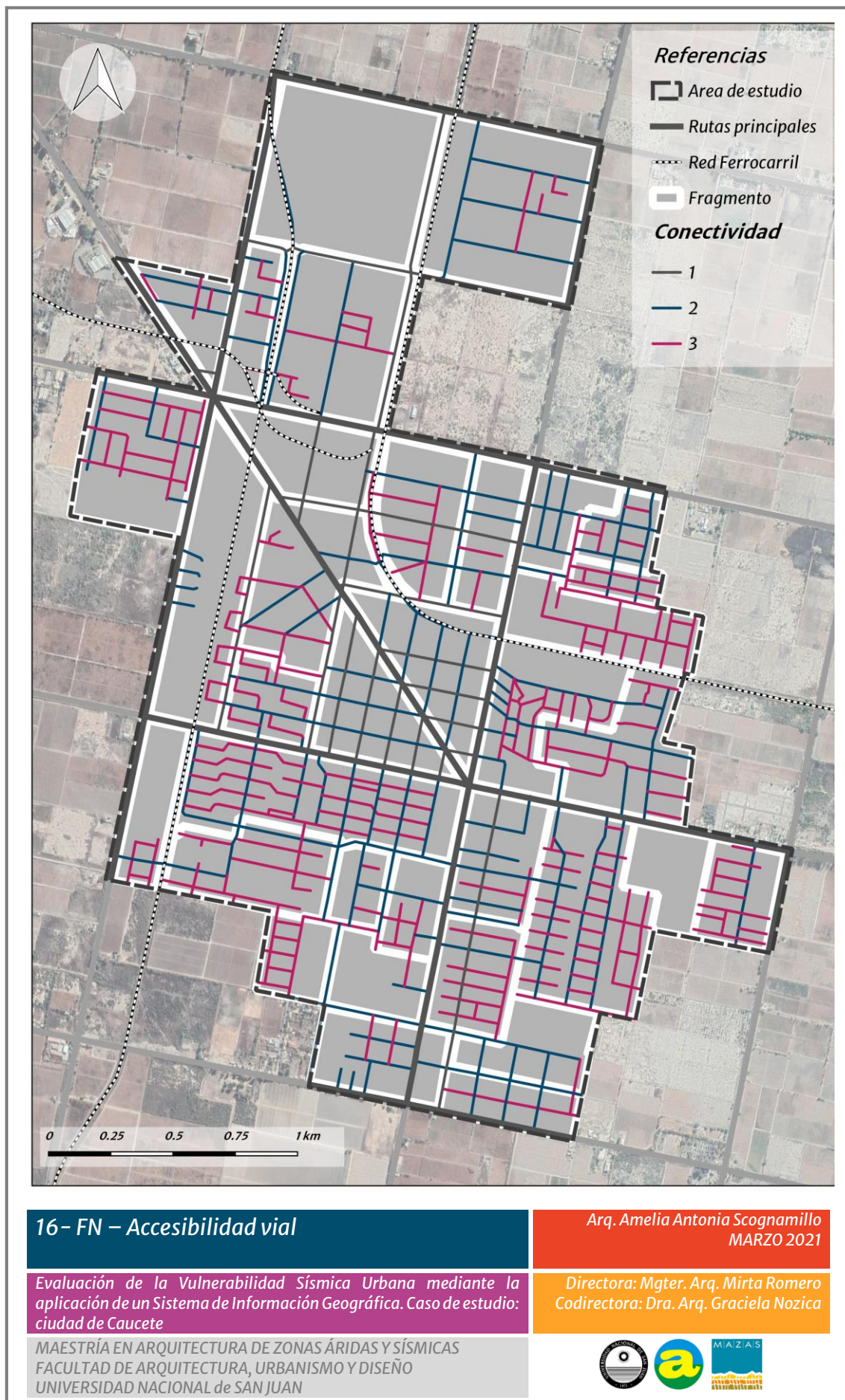
Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

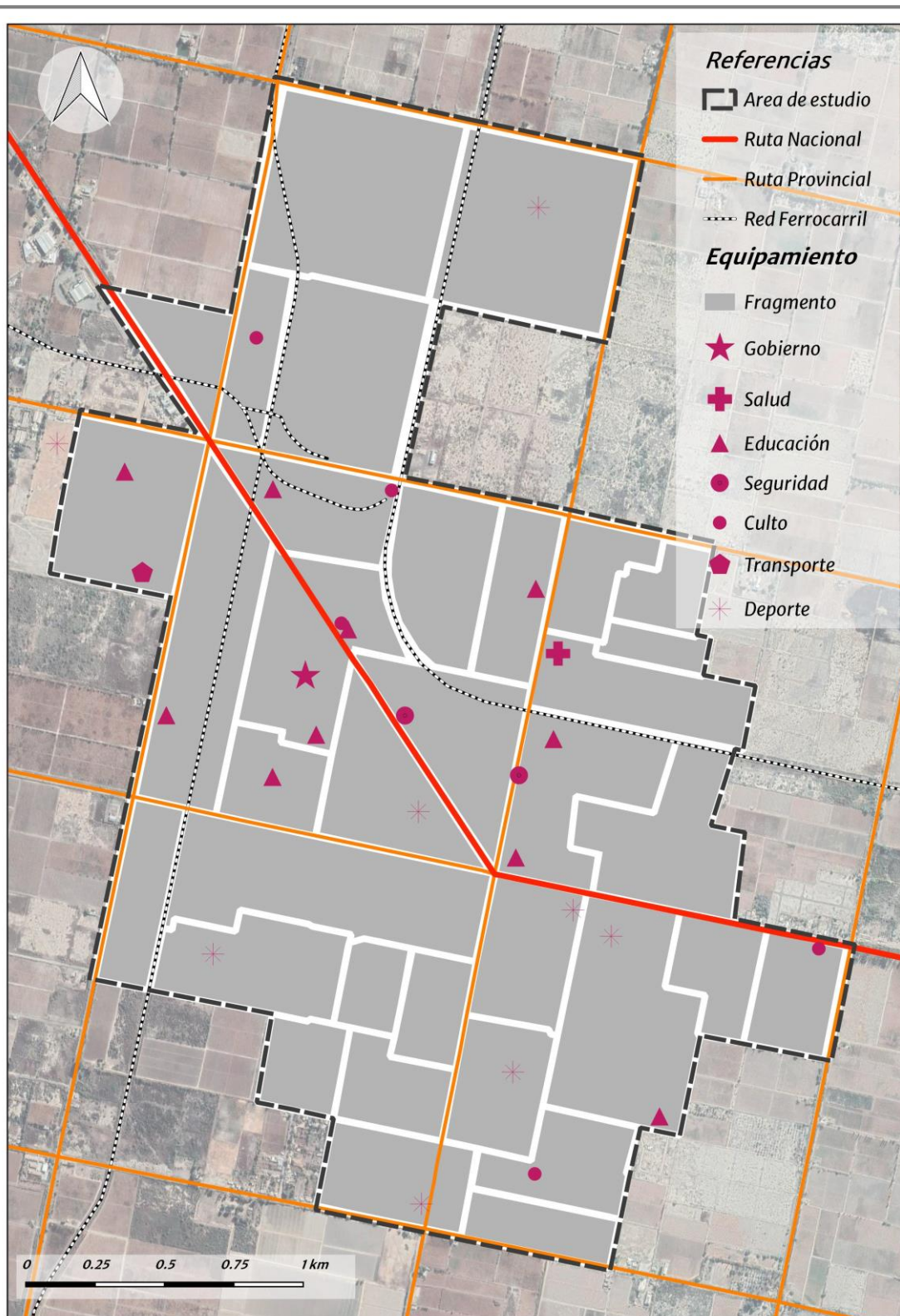
Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN









17- FN – Dotación de equipamiento

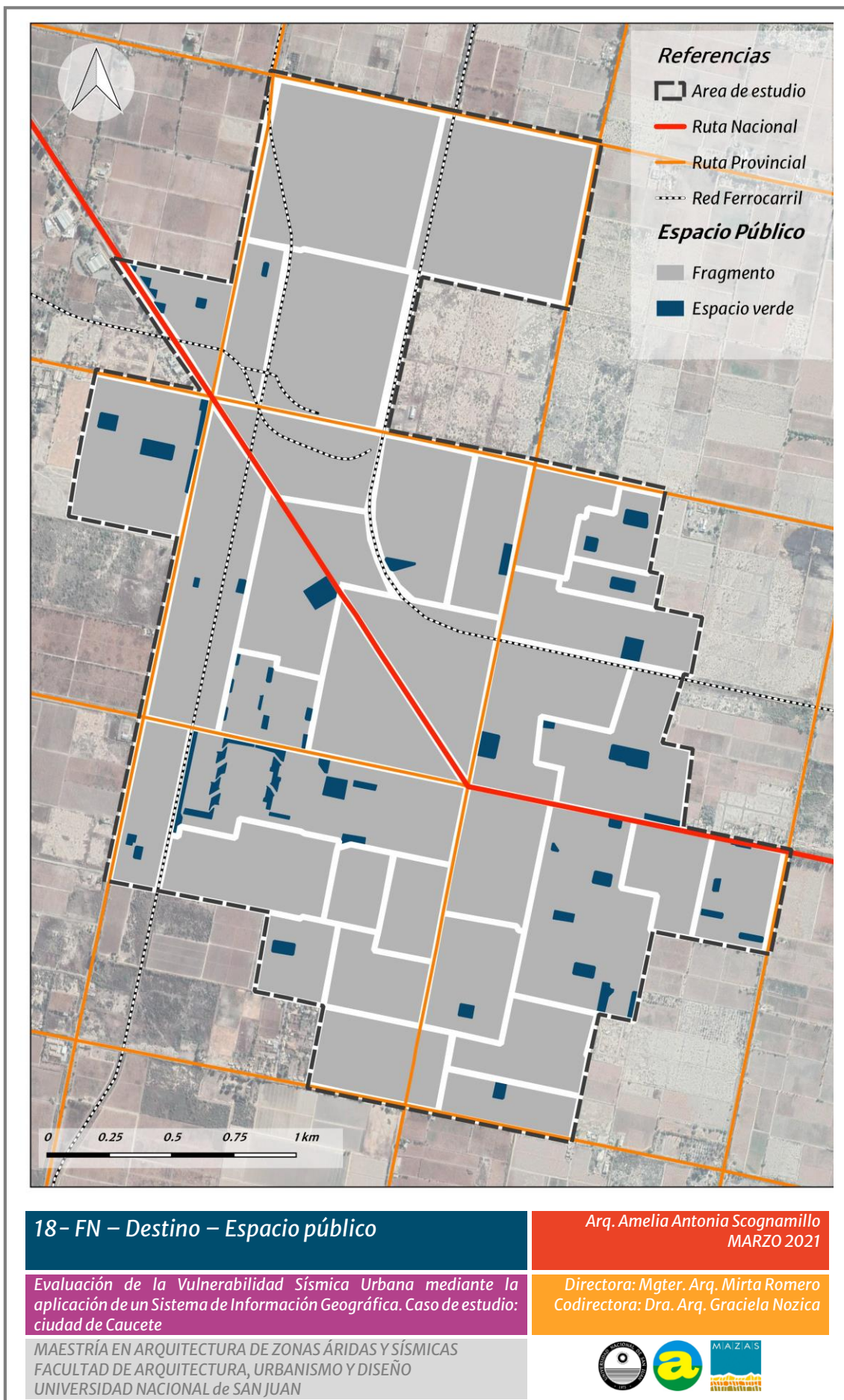
Arq. Amelia Antonia Scognamillo
MARZO 2021

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN





18- FN – Destino – Espacio público

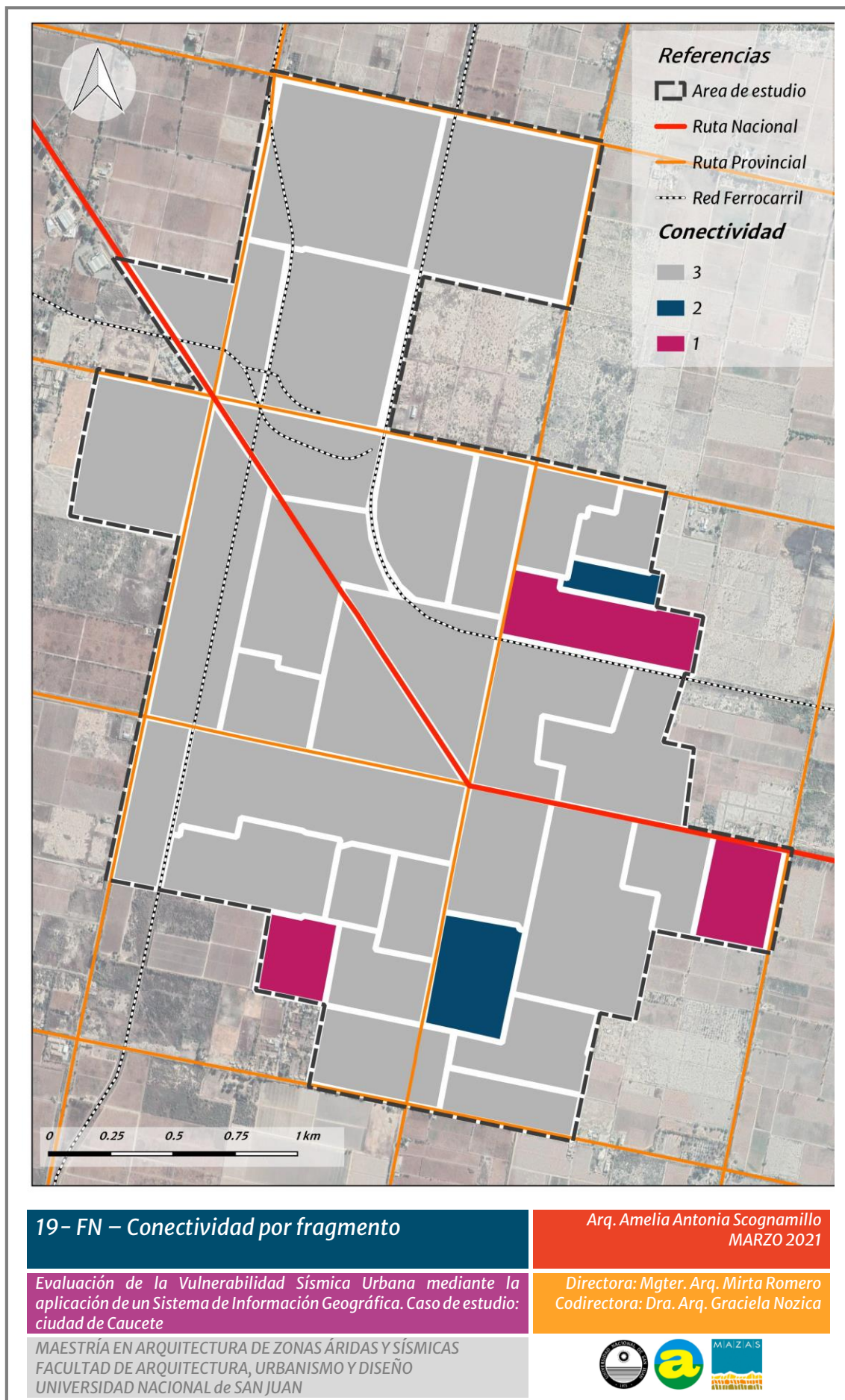
Arq. Amelia Antonia Scognamillo
MARZO 2021

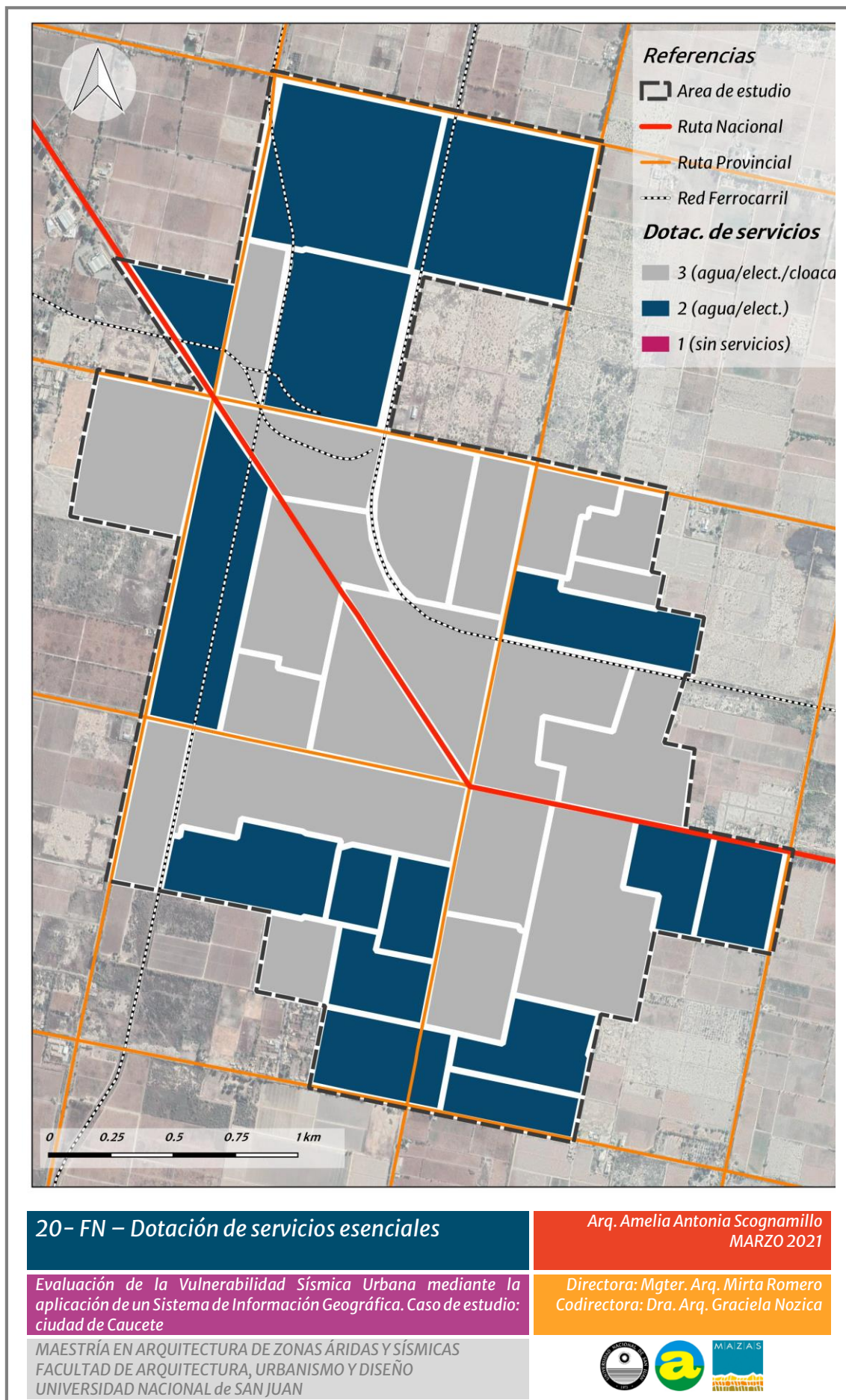
Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

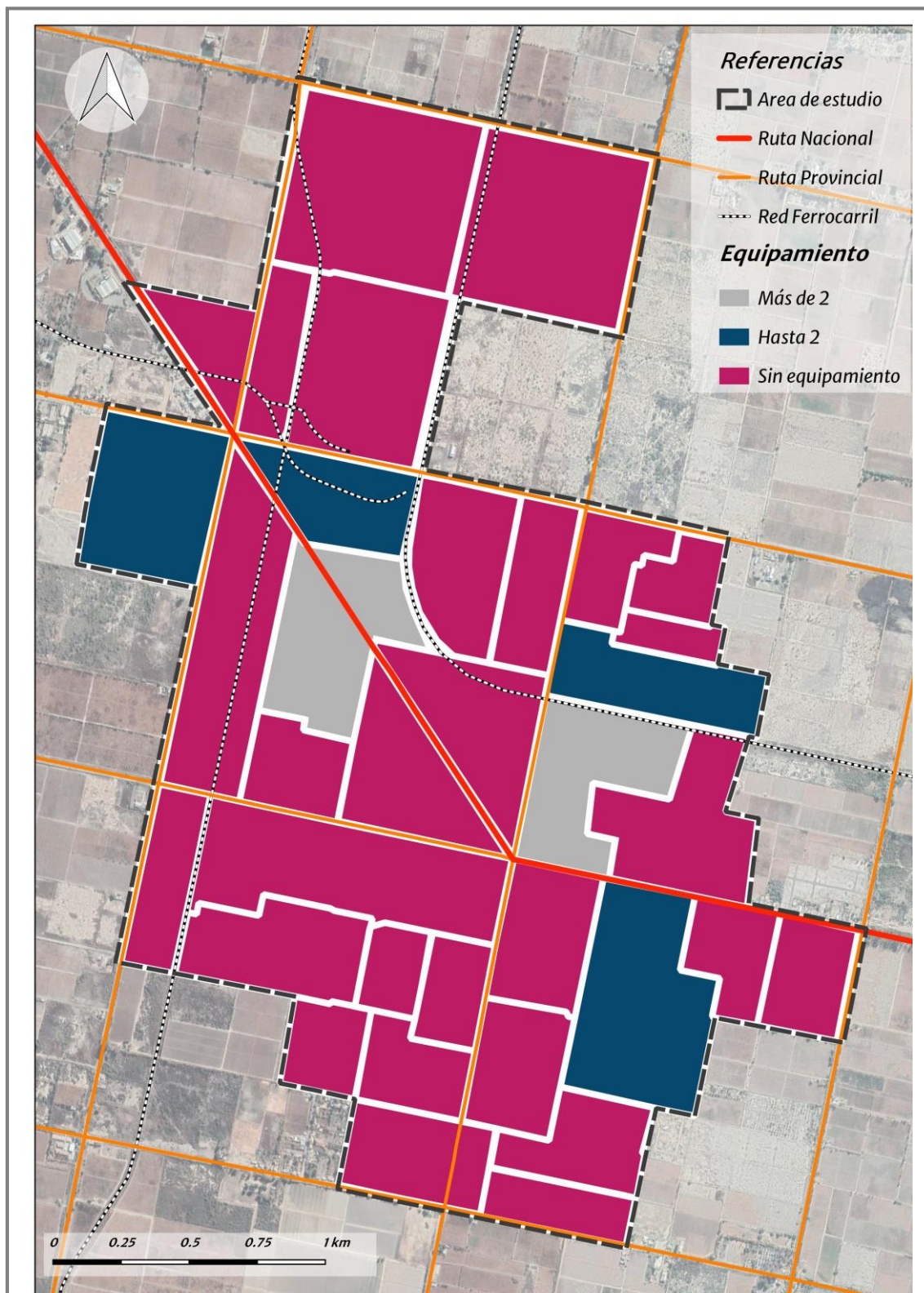
Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN









21-FN – Dotación de equipamiento por fragmento

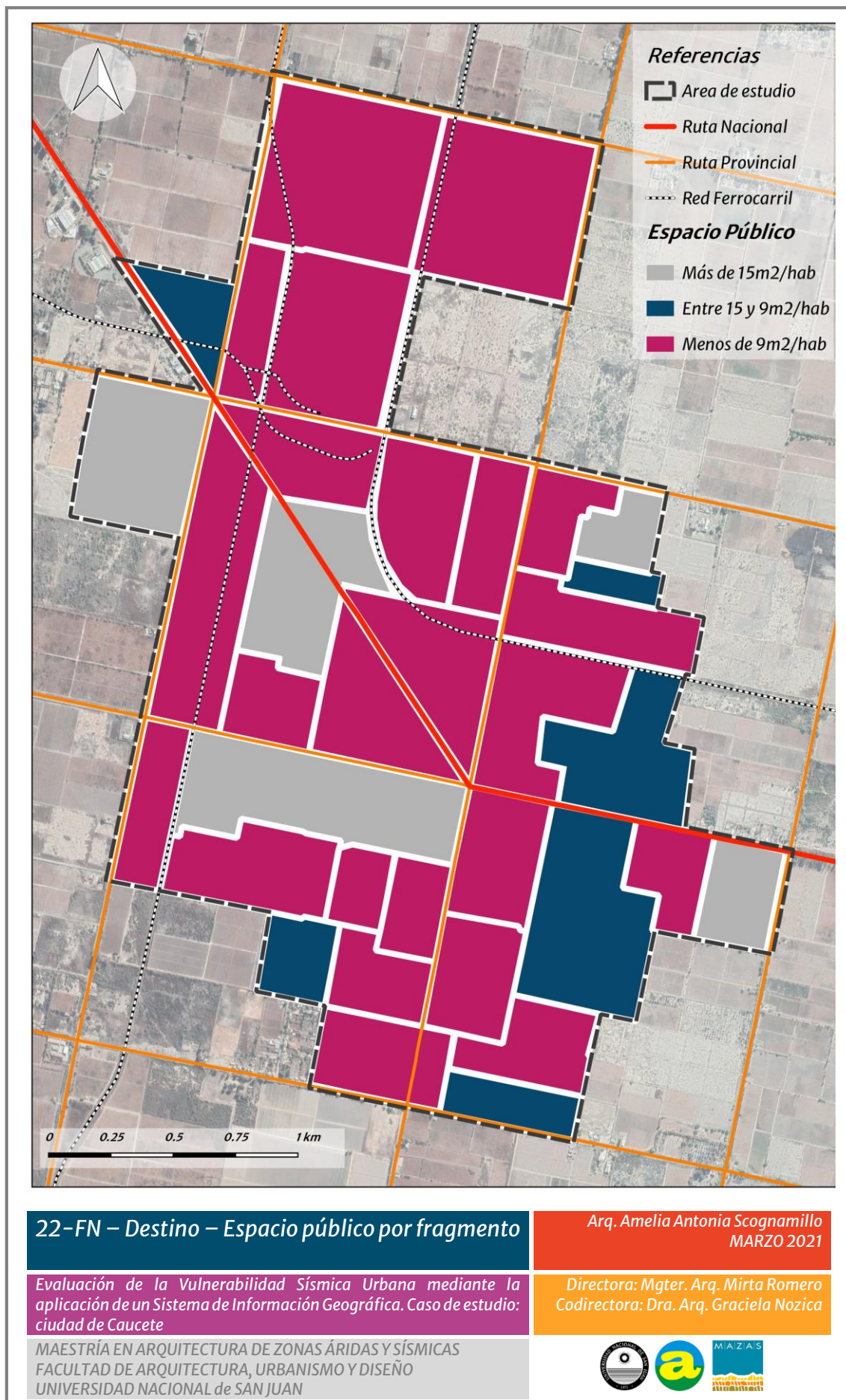
Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

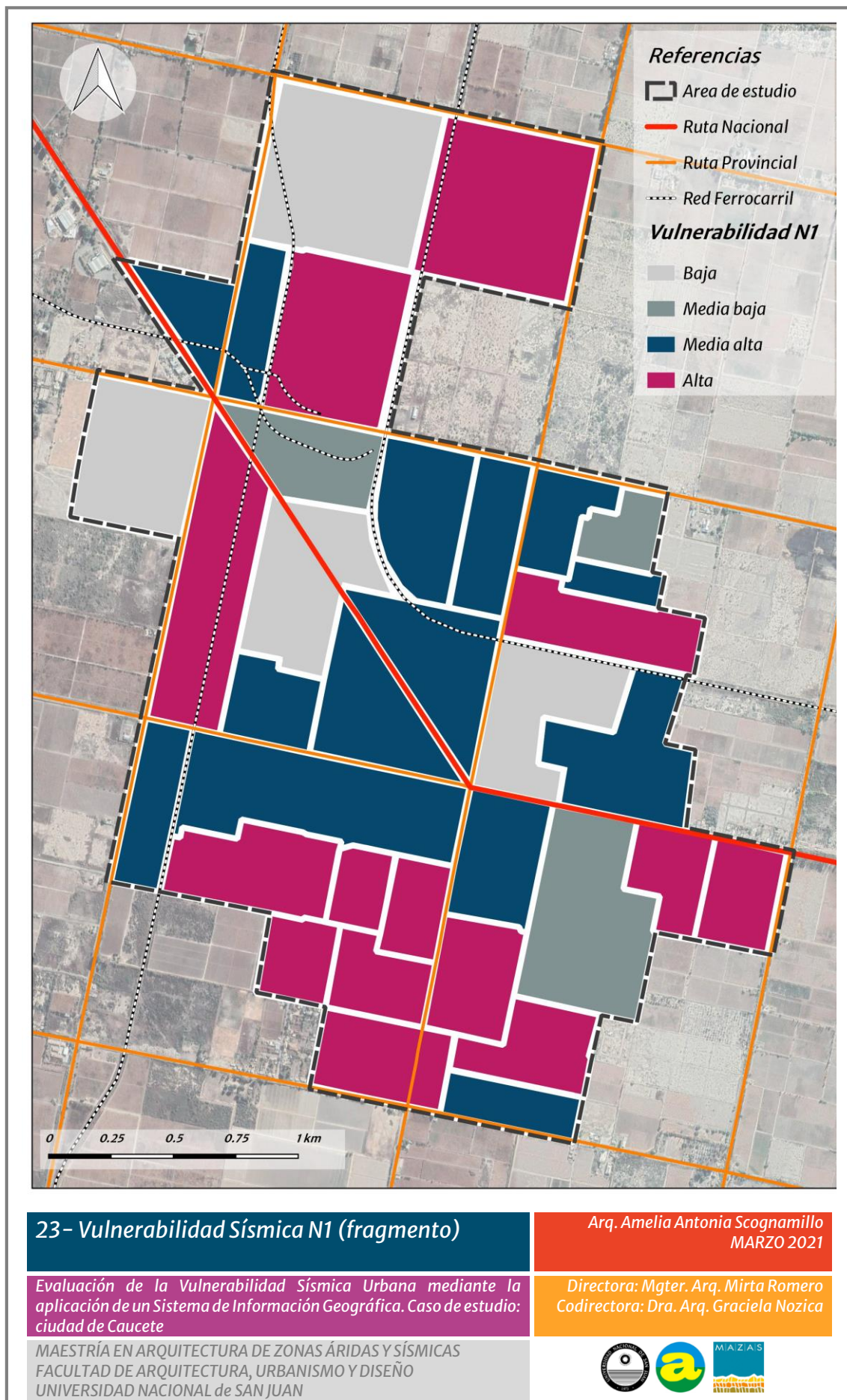
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN

Arq. Amelia Antonia Scognamiglio
MARZO 2021

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica







23- Vulnerabilidad Sísmica N1 (fragmento)

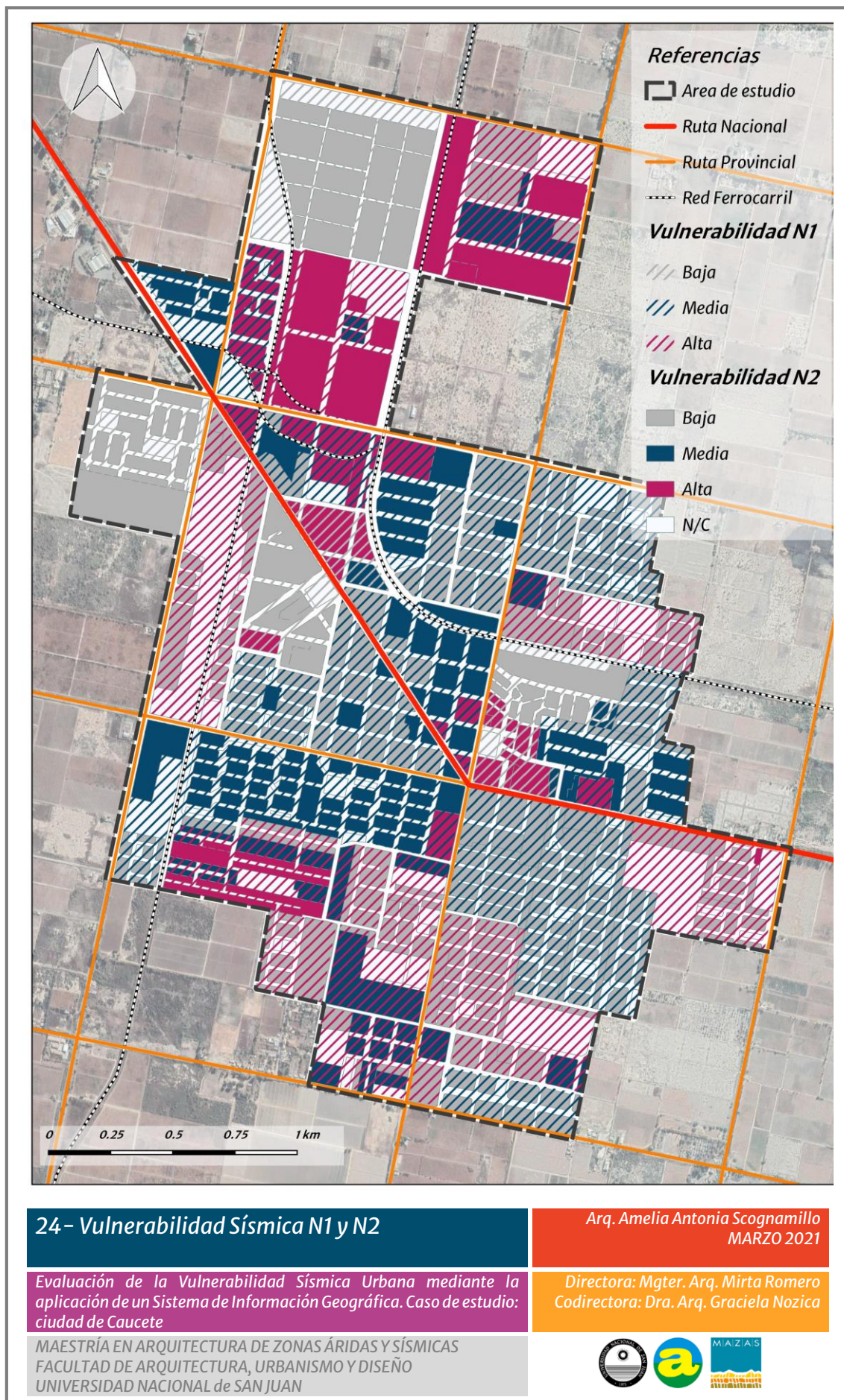
Arq. Amelia Antonia Scognamillo
MARZO 2021

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN





24- Vulnerabilidad Sísmica N1 y N2

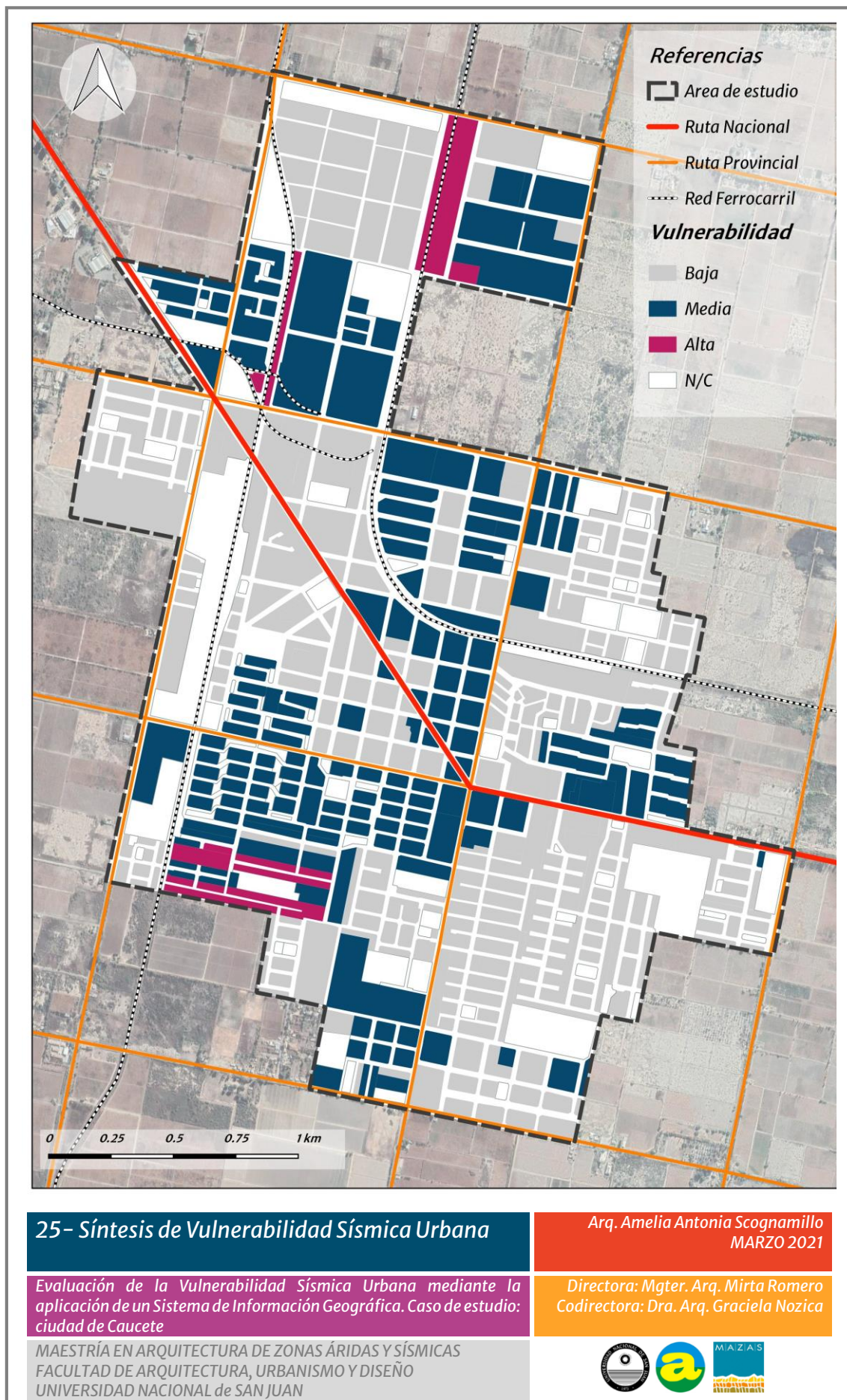
Arq. Amelia Antonia Scognamillo
MARZO 2021

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN





25- Síntesis de Vulnerabilidad Sísmica Urbana

Arq. Amelia Antonia Scognamillo
MARZO 2021

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Caso de estudio: ciudad de Caucete

Directora: Mgter. Arq. Mirta Romero
Codirectora: Dra. Arq. Graciela Nozica

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SÍSMICAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
UNIVERSIDAD NACIONAL de SAN JUAN



"miseritiembla que cordia" repetía la abuela Armentaria mientras giraba asustada alrededor de la mesa. (Terremoto 1944)