



TESIS DE DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

**ANÁLISIS SOCIOESPACIAL Y MODELIZACIÓN PROSPECTIVA DEL CONTEXTO DE
RIESGO POR INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE LUJÁN (PROVINCIA DE BUENOS
AIRES, ARGENTINA), 2010-2030.**

NOELIA PRINCIPI

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2020

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctora en Geografía, de la Universidad Nacional de Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Luján durante el período 13/10/2017 al 18/11/20, bajo la dirección del Dr. Gustavo D. Buzai (UNLu-CONICET) y la co-dirección del Dr. Marcelo Sili (UNS-CONICET).



Mag. Noelia Principi



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el 12/03 /2021, mereciendo la calificación de 10 (diez.)

A mis padres

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta tesis fue posible gracias al apoyo y colaboración de muchas personas e instituciones, a las que quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento.

En primer lugar, a mi director, el Dr. Gustavo Buzai, con quien tengo el privilegio compartir espacios de investigación hace ya más de una década. Por la confianza, la orientación y el seguimiento permanente en los avances de la investigación, por los valiosos aportes teóricos y metodológicos y, sobre todo, por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de toda mi carrera académica.

A mi co-director, el Dr. Marcelo Sili, por los aportes teóricos, y por su colaboración y predisposición en todo lo que he necesitado durante estos años de estudios de doctorado.

A mis compañeros del Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG), especialmente a la Esp. Claudia Baxendale, el Mag. Luis Humacata, la Dra. Sonia Lanzelotti y el Dr. Eloy Montes Galbán, por el apoyo brindado, por los espontáneos y valiosos intercambios teóricos y metodológicos sobre la tesis y la Geografía en general, por el aporte de bibliografía especializada y las bases de datos geográficas.

A la Universidad Nacional de Luján por el otorgamiento de dos becas de investigación, en las categorías perfeccionamiento y formación superior, con lugar de trabajo en el Laboratorio de Análisis Espacial y Sistemas de Información Geográfica (LabSIG) del Departamento de Ciencias Sociales, que permitieron el desarrollo de la investigación doctoral.

Al Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Lujan, que me ha otorgado distintas licencias y apoyo económico para transitar esta etapa de formación.

A la Asociación de Docentes de la Universidad Nacional de Luján (ADUNLu) por el apoyo económico brindado a partir del subsidio para carreras de cuarto nivel.

Al Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica (PICT) 2014-1388, financiado por la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación a través del Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT), titulado “Análisis espacial y evaluación de zonas de potenciales conflictos ambientales, productivos y patrimoniales ante la expansión urbana en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina)” dirigido por el Dr. Buzai y la Dra. Lanzelotti, por el apoyo económico que permitió cubrir diferentes gastos inherentes a la investigación.

A los profesores y compañeros del Doctorado en Geografía, por compartir sus conocimientos y experiencias a lo largo de la carrera. Al Dr. Jorge Gentili, la Dra. Luján Bustos y la Dra. Ana Casado, por sus orientaciones y colaboración desde la Secretaría de Posgrado del Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur.

A la profesora Liliana Pérez, hoy colega y amiga, quien supo transmitirme el interés y valor de la Geografía a muy temprana edad, siendo fundamental en la elección de la carrera de grado que dio inicio a mi recorrido en la ciencia geográfica.

A todos los geógrafos y profesionales afines, con quienes pude compartir diferentes instancias de intercambio en estancias de investigación, cursos de posgrado, jornadas y congresos, quienes directa e indirectamente han contribuido a consolidar los resultados de esta tesis.

Finalmente, un profundo agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres Miriam y Luis, mi compañero de vida Gonzalo, mi hermana Melina, y mis sobrinos Tomás y Valeria, por su paciencia, sus palabras de aliento, y por estar siempre presente brindando amor y contención de forma incondicional. Sin ellos no hubiese sido posible.

A todos, ¡muchísimas gracias!

RESUMEN

Con el cambio de siglo, la temática de riesgos adquirió relevancia en la agenda política internacional y nacional al momento de planificar y gestionar el territorio con miras a mejorar las condiciones de vida de la población. El enfoque geográfico evidencia las desigualdades socioespaciales y presenta herramientas teórico-metodológicas para su abordaje, que permiten comprender los fenómenos de origen natural y antrópico y, al mismo tiempo, presenta utilidad empírica para enfrentar consecuencias adversas.

La investigación se focaliza en el estudio de la dimensión espacial del riesgo a inundaciones en la ciudad de Luján (Buenos Aires, Argentina) en cuanto a su situación actual y perspectivas futuras. Se lo analiza desde un punto de vista sistémico con centralidad en el sistema socioespacial, en donde la relación sociedad-ambiente genera diferenciaciones areales en el ámbito urbano. Las diferentes distribuciones espaciales de base se asocian con la finalidad de descubrir relaciones de causalidad en el marco de una Geografía Aplicada basada en aproximaciones de análisis racionalista y cuantitativo con Sistemas de Información Geográfica (SIG). En este sentido se construye un vínculo entre teoría y praxis para el apoyo a la resolución de problemáticas socioespaciales específicas. Corresponde a una Geografía que toma el lugar de disciplina central en el proceso de ordenamiento territorial.

La modelización de la realidad permitió abordar espacialmente el riesgo a partir de relacionar el subsistema físico-natural representado por la amenaza de inundaciones determinada con procedimientos de simulación de niveles de agua, y el subsistema humano, a partir de la caracterización de la vulnerabilidad socioeconómica de la población considerando variables de índole social, económica, educativa y habitacional integradas con la metodología de análisis multivariado Valor de Índice Medio (VIM). La determinación de diferentes niveles de riesgo a partir del modelado cartográfico permitió generar un panorama global ante un evento de inundación actual y su evolución futura a partir de modelar, mediante la utilización de autómatas celulares y redes neuronales artificiales, la expansión urbana hacia el año 2030.

Los procedimientos metodológicos aplicados permitieron integrar y sintetizar la información geográfica dando como resultado la identificación concreta de cuatro áreas consideradas prioritarias para la planificación urbana, que presentan los niveles de riesgo más elevados y una tendencia a expandirse sobre áreas con amenaza de inundación. Estos resultados se convierten en una herramienta fundamental en apoyo para la toma de decisiones espaciales en sectores específicos del área de estudio.

Finalmente, se destaca que el estudio de una realidad como sistema complejo requiere de un análisis multidimensional al que se puede llegar por medio de estudios específicos que permitan abordar problemáticas que, de forma sucesiva, accedan al sistema total. En este sentido, el enfoque sistémico y el análisis espacial con SIG en el marco de una Geografía Aplicada permitieron obtener bases de datos geográficas, gráficos explicativos y cartografía de riesgo actual y futuro, como herramientas factibles de ser consideradas en prácticas de intervención territorial tendientes a la minimización del riesgo a inundaciones.

ABSTRACT

With the turn of the century, the issue of risks gained relevance on the international and national political agenda when planning and managing the territory with a view to improving the living conditions of the population. The geographic approach shows the socio-spatial inequalities and presents theoretical-methodological tools for their approach, which throws light on the phenomena of natural and anthropic origin and, at the same time, presents empirical utility to face adverse consequences.

The research focuses on the study of the spatial dimension of the risk of flooding in the city of Luján (Buenos Aires, Argentina) in terms of its current situation and future perspectives. It is analyzed from a systemic point of view with focus on the socio-spatial system, where the society-environment relationship generates areal differentiations in the urban environment. The different base spatial distributions are associated with the purpose of discovering causal relationships within the framework of an Applied Geography based on Geographic Information Systems (GIS) rationalistic and quantitative analysis. In this sense, a link is built between theory and praxis to support the resolution of specific socio-spatial problems. Therefore, Geography, as a discipline, gains a central role in the territorial ordering process

The modeling of reality allowed us to spatially address the risk by relating the physical-natural subsystem, represented by floods threat as determined by water level simulation processes, and the human subsystem, from the perspective of socioeconomic vulnerability, considering social, economic, educational and housing variables as determined by the multivariate analysis Average Index Value (AIV) methodology. The determination of different levels of risk from cartographic modeling will allowed for the generation of global prospects in the face of a potential flood event and its future evolution by modelling urban expansions, through the use of cellular automata and artificial neural networks, towards the year 2030.

The methodological procedures applied made it possible to integrate and synthesize the geographic information, resulting in the concrete identification of four areas considered priority for urban planning, which present the highest risk levels and

demonstrate a tendency to expand over areas threatened by flooding. These results thus become a fundamental tool to support spatial decision-making in specific sectors of the area of study.

Finally, it is highlighted that the study of reality as a complex system requires a multidimensional analysis reached through specific studies addressing problems that might successively access the total system. In this sense, the systemic approach and spatial analysis with GIS within the framework of an Applied Geography allowed for the obtention of geographic databases, explanatory graphics and current and future risk mapping as feasible tools to be taken into account in territorial intervention practices aimed at minimizing the risk of flooding.

ÍNDICE GENERAL

PREFACIO.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	XVI

PARTE I

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problemática de estudio y preguntas de investigación.....	2
1.2. Antecedentes y estado actual del conocimiento.....	8
1.3. Hipótesis.....	17
1.4. Objetivos de la investigación.....	17
1.4.1. Objetivos generales.....	17
1.4.2. Objetivos específicos.....	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL DE LA GEOGRAFÍA APLICADA.....	20
2.1. La Teoría de los Sistemas Complejos como marco conceptual-analítico.....	22
2.2. Geografía Aplicada: sus bases teórico-epistemológicas.....	27
2.3. Análisis espacial con Sistemas de Información Geográfica.....	36
2.4. Geografía Aplicada y ordenamiento territorial.....	43
CAPÍTULO III. EL ANÁLISIS DEL RIESGO EN GEOGRAFÍA.....	48
3.1. El riesgo y sus componentes.....	49

3.3. El riesgo vinculado a inundaciones urbanas	56
3.4. Sistemas de Información Geográfica y riesgos.....	59

PARTE II

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Enfoque y alcance de la investigación	63
4.2. Diseño de la investigación	65
4.2.1. Fase 1: Conceptual	66
4.2.2. Fase 2: Conceptual-metodológica	66
4.2.3. Fase 3: Metodológica-técnica.....	67
4.2.4. Fase 4: Validación.....	68
4.2.5. Fase 5: Transferencia	69
4.3. Recolección y sistematización de datos para la base de datos geográfica.....	70
4.4. Hacia el mapa de amenaza.....	75
4.4.1. Simulación de inundaciones.....	75
4.5. Hacia el mapa de vulnerabilidad socioeconómica	77
4.5.1. Valor de Índice medio	77
4.6. Hacia el mapa de riesgos.....	81
4.6.1. Modelado cartográfico	82
4.7. Hacia el mapa de crecimiento urbano 2030.....	82
4.7.1. Modelado de expansión urbana.....	83
4.8. Flujograma de procedimientos metodológicos	91

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DEL CONTEXTO SOCIOESPACIA DE RIESGO A INUNDACIONES EN LUJÁN

5.1. Área de estudio: ciudad de Luján.....	94
5.1.1. Las inundaciones en la ciudad de Luján.....	98
5.2. Simulación de la amenaza a inundaciones en la ciudad de Luján	106
5.2.1. Análisis del mapa de amenaza	112
5.3. La vulnerabilidad socioeconómica en la ciudad de Luján	113
5.3.1. Datos.....	114
5.3.2. Cálculo del VIM.....	125
5.3.3. Análisis del mapa de vulnerabilidad	129

5.4. Síntesis geográfica: el mapa de riesgo	113
5.4.1. Análisis del mapa de riesgo.....	139
5.5. Modelado de crecimiento urbano en la ciudad de Luján al 2030	140
5.5.1. Datos de entrada	140
5.5.2. Evaluación de la correlación	145
5.5.3. Cambios de área	146
5.5.4. Modelo de transición.....	148
5.5.5. Simulación de uso del suelo	149
CAPÍTULO VI. RIESGO Y EXPANSIÓN URBANA: ORIENTACIONES EN EL MARCO DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL	154
6.1. Cartografía de riesgo como apoyo a la planificación territorial	156
6.1.1. Área prioritaria de planificación 1	161
6.1.2. Área prioritaria de planificación 2	166
6.1.3. Área prioritaria de planificación 3	170
6.1.4. Área prioritaria de planificación 4	174
CONCLUSIONES	179
BIBLIOGRAFÍA	184
APÉNDICES	202
Apéndice 1. Datos utilizados para el análisis de vulnerabilidad socioeconómica....	202
Apéndice 2. Plano de zonificación de la ciudad de Luján	206
Apéndice 3. Simulación de crecimiento urbano 2010-2020 con validación	207

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estructura de la tesis.....	19
Figura 2.1. Análisis de la tabla de atributos	38
Figura 2.2. Matriz de datos geográfica	38
Figura 2.3. Componentes del ordenamiento territorial, fases de trabajo y ubicación de la Geografía Aplicable-Aplicada.....	46
Figura 4.1. Alcances de la investigación cuantitativa	64
Figura 4.2. Fases y componentes del proceso de investigación	69
Figura 4.3. Radios censales correspondientes a la ciudad de Luján	71
Figura 4.4. Sector 1.3. del AMBA. Área de cubrimiento del MDE.....	72
Figura 4.5. Extracto del MDE Aerofotogramétrico. Ciudad de Luján	73
Figura 4.6. Curva de distribución normal.....	80
Figura 4.7. Vencindad de Moore con diferentes proximidades (ventanas).....	84
Figura 4.8. Representación de una RNA Perceptrón multicapa.....	85
Figura 4.9. Flujograma de procedimientos	92
Figura 5.1. Imagen satelital de la ciudad de Luján.....	95
Figura 5.2. Cuenca del río Luján: delimitación y extensión.....	97
Figura 5.3. Ciudad de Luján (a) y río Luján en el sector de la cuenca media (b).	98
Figura 5.4. Sector inundable de la ciudad de Luján	99
Figura 5.6 Barrios céntricos de Luján en la inundación de octubre del 2012	103
Figura 5.7. Inundación de agosto 2015: Casco urbano de Luján	105
Figura 5.8. Digitalización del río Luján y sus afluentes en formato polígono	107
Figura 5.9. Simulación de inundación del río Luján y afluentes. Escenario 1	110
Figura 5.10. Simulación de inundación del río Luján y afluentes. Escenario 2.	111
Figura 5.11. Distribución espacial de la población menor a 14 años	115
Figura 5.12. Distribución espacial de la población de 65 años y más	116
Figura 5.13. Distribución espacial de la tasa de analfabetismo.....	117
Figura 5.14. Distribución espacial de la población con primario completo como máximo nivel educativo alcanzado.....	118

Figura 5.15. Distribución espacial de los hogares con al menos un indicador de NBI.	119
Figura 5.16. Distribución espacial del indicador de calidad constructiva de la vivienda insuficiente.....	121
Figura 5.17. Distribución espacial de la población desocupada.....	123
Figura 5.18. Distribución espacial del indicador de relación de dependencia	124
Figura 5.19. Distribución espacial de la vulnerabilidad socioeconómica. Luján	128
Figura 5.20. Mapa social de la ciudad de Luján (2010)	130
Figura 5.21. Diagrama de dispersión con valores estandarizados	133
Figura 5.22. Diagramas de dispersión y cuadrantes asociados.....	134
Figura 5.23. Mapa de riesgo ante inundaciones. Ciudad de Luján (Buenos Aires)	138
Figura 5.24. Área urbana 2010. Ciudad de Luján	141
Figura 5.25. Área urbana 2020. Ciudad de Luján	142
Figura 5.26. Factores utilizados para simular expansión urbana.....	144
Figura 5.27. Mapa de cambios 2010-2020.	147
Figura 5.28. Entrenamiento de la red neuronal artificial.....	149
Figura 5.29. Simulación de expansión urbana al 2030.....	150
Figura 5.30. Simulación de crecimiento urbano al 2030 e inundaciones extremas.....	151
Figura 6.1. Mapa de riesgo y áreas prioritarias de planificación.....	159
Figura 6.2. Área prioritaria de planificación 1	161
Figura 6.3. Nivel de vulnerabilidad socioeconómica muy alta. Barrio San Fermín.....	161
Figura 6.4. Área prioritaria de planificación 2	166
Figura 6.5. Barrio Lanusse y barrio Villa del Parque en 1985 y 2017.....	167
Figura 6.6. Área prioritaria de planificación 3	171
Figura 6.7. Área prioritaria de planificación 4	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Características técnicas del vuelo fotogramétrico del IGN	74
Tabla 4.2. Calificación para estandarizar valores originales del VIM	79
Tabla 4.3. Calificación numérica y cualitativa del VIM	81
Tabla 4.4. Grado de acuerdo del índice Kappa.....	89
Tabla 5.1. Datos históricos de altura del río Luján en la ciudad homónima	106
Tabla 5.2. Fragmento de la matriz de datos originales (MDO).....	125
Tabla 5.3. Fragmento de la Matriz de Datos Índice (MDI).....	125
Tabla 5.4. Fragmento de la Matriz de Datos Estándar (MDZ).....	126
Tabla 5.5. Fragmento del cálculo y promedio del VIM	126
Tabla 5.6. Calificación numérica y cualitativa del VIM	127
Tabla 5.7. Evaluación de correlación entre variables.....	145
Tabla 5.8. Estadísticas básicas de cambios de uso del suelo.....	146
Tabla 5.9. Matriz de transición.....	147
Tabla 5.10. Datos de expansión urbana en la ciudad de Luján	152
Tabla 6.1. Datos básicos del área prioritaria 1	163
Tabla 6.2. Establecimientos expuestos en el área prioritaria 1.....	164
Tabla 6.3. Datos básicos del área prioritaria 2	168
Tabla 6.4. Establecimientos expuestos en el área prioritaria 2.....	164
Tabla 6.5. Datos básicos del área prioritaria 3	172
Tabla 6.6. Establecimientos expuestos en el área prioritaria 3.....	173
Tabla 6.7. Datos básicos del área prioritaria 4	176

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AC	Autómatas Celulares
AMBA	Área Metropolitana de Buenos Aires
ATI	Aglomeración de Tamaño Intermedio
CAPS	Centro de Atención Primaria de la Salud
CELADE	Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía
COU	Código de Ordenamiento Urbano
EMC	Evaluación Multicriterio
ESDA	Exploratory Spatial Data Analysis (Análisis Exploratorio de Datos Espaciales)
GESIG	Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica
GNSS	Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite)
IA	Inteligencia Artificial
IGN	Instituto Geográfico Nacional (República Argentina)
IMU	Inertial Measurement Unit (Unidad de Medición Inercial)
INA	Instituto Nacional del Agua (República Argentina)
INDEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (República Argentina)
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (República Argentina)
LabSIG	Laboratorio de Análisis Espacial y Sistemas de Información Geográfica
MDE	Modelo Digital de Elevaciones
MDI	Matriz de Datos Índice
MDO	Matriz de Datos Originales
MDZ	Matriz de Datos Estandarizados
MOLUSCE	Methods Of Land Use Change Evaluation (Métodos de Evaluación de Cambios de Uso del Suelo)
NBI	Necesidades Básicas Insatisfechas
ODS	Objetivos del Desarrollo Sostenible (Organización de las Naciones

	Unidas)
OEA	Organización de los Estados Americanos
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OSM	Open StreetMap
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
QGIS	Quantum GIS
RMBA	Región Metropolitana de Buenos Aires
RNA	Red Neuronal Artificial
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINAGIR	Sistema Nacional de Gestión del Riesgo (República Argentina)
TGS	Teoría General de Sistemas
TIG	Tecnologías de la Información Geográfica
TSC	Teoría de los Sistemas Complejos
UNDRO	United Nations Disaster Relief Organization (Organización de las Naciones Unidas para el Socorro en caso de Desastres)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)
VIM	Valor de Índice Medio

PARTE I

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

“The relevance and value of applied geographical research has never been more apparent given the plethora of problem situations which confront modern societies - ranging from extreme natural events (such as floods, drought and earthquakes) through environmental concerns (such as deforestation, disease and desertification) to human issues (such as crime, poverty and unemployment).”

Michael Pacione, 2001:7.

La relevancia y el valor de la investigación geográfica aplicada nunca ha sido más evidente dada la gran cantidad de situaciones problemáticas que enfrentan las sociedades modernas, que van desde eventos naturales extremos, (como inundaciones, sequías y terremotos) preocupaciones ambientales (como deforestación, enfermedades y desertificación) hasta problemas humanos (como el crimen, la pobreza y el desempleo).

(Traducción propia)

Con centralidad en la Geografía Aplicada, la motivación de esta investigación consistió en realizar un análisis socioespacial del riesgo con énfasis en la asociación espacial de la vulnerabilidad socioeconómica de la población y las áreas con peligro de inundación en la ciudad de Luján (Buenos Aires, Argentina) a partir de un abordaje focalizado en la identificación concreta, a nivel espacial, de las áreas con diferentes

niveles de riesgo a inundaciones desde un punto de vista actual y prospectivo, como etapa científica y técnica en la fase de diagnóstico del ordenamiento territorial.

En este capítulo se presenta la problemática de estudio, las preguntas que guían la investigación, los antecedentes del tema, su justificación, el planteo de la hipótesis y los objetivos. Finalmente se explicita la estructura de la tesis.

1.1. Problemática de estudio y preguntas de investigación

En general, los trabajos que abordan la temática de riesgos en Geografía, lo hacen poniendo un mayor énfasis en distinguir aspectos perceptuales. Esto se justifica en la noción de riesgo que considera que éste no es el daño en sí sino la situación previa que es posible minimizar, e incluso evitar, si se es consciente de dicho riesgo. En este sentido, se consideran las representaciones sociales, el contexto temporal y cultural de las sociedades a partir de enfoques principalmente sociológicos y psicológicos que en Geografía son propios del paradigma de la Geografía de la Percepción. En este caso estamos frente a una concepción de riesgo de tipo subjetivo, que considera las percepciones individuales o colectivas, y que puede vincularse con el concepto de incertidumbre que se genera al no poder determinar exactamente cuál es el riesgo al que se exponen las personas.

En este trabajo se analizará el riesgo, vinculado a inundaciones, desde un punto de vista sistémico y centrado en la dimensión espacial, utilizando para su caracterización metodologías de análisis espacial cuantitativo que permitirán definir de forma concreta diferentes niveles de riesgo, a partir de vincular la distribución espacial

de la amenaza con la distribución espacial de la vulnerabilidad socioeconómica de la población urbana, lo que permitirá conocer el contexto de riesgo.

La posibilidad de modelización de dinámicas de crecimiento urbano (Buzai y Baxendale, 2006) permitirá no sólo realizar un análisis del contexto socioespacial actual de riesgo por inundaciones sino que brindará la posibilidad de avanzar hacia un análisis de escenarios socioespaciales de riesgo hacia el año 2030.

La incorporación de un modelo de expansión urbana es importante si consideramos que éste es actualmente uno de los temas centrales en los estudios territoriales y que según las consideraciones de Hábitat III se estima que para el 2030 un 60% de la población mundial vivirá en ciudades y el 95% de la expansión urbana se producirán en los países en desarrollo (Naciones Unidas, 2016). Las temáticas de riesgos y expansión urbana están presentes en las medidas adoptadas por la “Agenda 2030” de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) a la que Argentina adhiere en su carácter de Estado miembro. En 2015, se realizó la firma del “Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres”¹. Además, se plantearon 17 “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (ODS) entre los que se encuentra el objetivo de lograr “Ciudades y comunidades sostenibles”², en las que resulta importante la temática de expansión urbana.

Hacia finales del siglo XIX comienza a desarrollarse el enfoque teórico de la vulnerabilidad social (Moser, 1998; Katzman, 1999 y 2000; Rodríguez, 2000), sobre todo en el análisis de los países latinoamericanos. Comienza a pensarse en la vulnerabilidad social como un proceso en el cual puede incurrir cualquier persona o

¹ Resolución 69/283. Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Asamblea General de las Naciones Unidas. 23 de junio del 2015.

² Resolución 70/1. Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Asamblea General de las Naciones Unidas. 21 de octubre del 2015.

grupo social que en un momento determinado se encuentre en una situación desfavorecida o de desventaja con respecto a otras personas o grupos sociales; y las causas y consecuencias de esa desventaja se investigan considerando los riesgos a los que se enfrentan y los activos (físicos y financieros) con los que cuentan para mitigar el efecto de los mismos (Sánchez González *et al*, 2012).

Desde las teorías sociológicas del riesgo (Beck, 1986 y 2010, Giddens, 1991) se considera que el riesgo es la situación previa al daño, que puede minimizarse o evitarse si se lo reconoce y si se tienen medios y voluntad para hacerlo. Beck (1986) define a la sociedad del riesgo como una sociedad en un estadio de modernidad avanzada con un alto grado de desarrollo técnico. El autor hace referencia a un estadio anterior, el de la sociedad industrial, donde el foco de atención estaba puesto en cómo se repartía la riqueza socialmente producida de manera desigual, mientras que en la sociedad del riesgo se trata de cómo se relativizan y reparten los riesgos que se han ido produciendo durante el proceso de modernización. Desde esta perspectiva se considera que las situaciones de peligro son socialmente desiguales y que afectan selectivamente a la sociedad. Se plantea que existen procesos sociales complejos en la definición de los riesgos que suponen la lucha de intereses entre diferentes actores, enfatizando en la dimensión política de los mismos y desestimado la dimensión objetiva vinculada al saber científico, al considerarlo en el mismo nivel que las valoraciones y expectativas sociales. Beck (1986) habla de una pérdida de monopolio de la ciencia en establecer los riesgos y menciona la posibilidad que en un debate político entre diferentes actores los riesgos se minimicen, sobredimensionen o se asocien a diferentes causas en función de los distintos puntos de vista que responden a valores e intereses diversos e incluso contrapuestos. De esta forma, se pone especial atención en la percepción del riesgo, a

nivel individual o grupal, en lo que se denomina como construcción social del riesgo. Existen al respecto algunas apreciaciones que consideran que esta construcción del riesgo muchas veces se encuentra apoyada por intereses de diferentes sectores económicos, políticos e incluso científicos y que terminan influyendo en la percepción de la sociedad (Cardona, 2003). También es de destacarse que los intereses de poder construyen riesgos para legitimar o desacreditar determinadas políticas (Mitjavila, 1999).

Desde la perspectiva de este trabajo se considera que es importante, además de considerar los riesgos desde un punto de vista perceptivo, analizar los riesgos, individuales o sociales, concretos. Se considera la multidimensionalidad del concepto de riesgo entendido como la relación entre las condiciones de peligro y vulnerabilidad, desde un enfoque geográfico, en donde la componente espacial permite realizar una asociación locacional de diversos condicionantes socioespaciales y físico-naturales que dan cuenta de una situación global. Entre ellos, se pueden mencionar las características económicas como el porcentaje de población económicamente activa en situación de desempleo, características sociohabitacionales vinculadas a la calidad de materiales de construcción de las viviendas o a las condiciones de necesidades básicas insatisfechas al interior de los hogares, características de la dimensión educativa como los bajos niveles de instrucción alcanzados por la población o el porcentaje de analfabetismo, entre otras. En la esfera de los condicionantes físico-naturales están las características geomorfológicas del área, la consideración del valle de inundación de un río de llanura y las manchas de inundación históricas en la ciudad como evidencia espacial del evento.

Es importante remarcar que los análisis sobre riesgos desde la Geografía a nivel nacional realizan su abordaje mayoritariamente desde la Teoría Social del Riesgo, que

como ya mencionamos tiene origen en las Ciencias Sociales con centralidad en la Sociología. Sin embargo, en esta investigación donde se pone especialmente de relevancia la dimensión espacial, el abordaje se realizará desde la *Teoría de los Sistemas Complejos* (García 2006), a partir de la cual es posible realizar el análisis desde un nivel focal espacial. De esta forma, el estudio de los riesgos, entendido como el resultado de considerar la amenaza (o peligro) y la vulnerabilidad, puede ser considerado como un sistema complejo a partir de abordar el tema como un recorte de la realidad, entendida como una totalidad organizada, cuyos elementos no pueden ser estudiados aisladamente, sino a partir de las relaciones entre sus componentes.

Desde el enfoque de la Geografía Cuantitativa, en su carácter de ciencia aplicada, se realiza el estudio del espacio geográfico y la distribución espacial de sus elementos empleando técnicas cuantitativas y modelos para analizar diferentes problemáticas de índole espacial. En este sentido, se ha realizado un considerable esfuerzo para establecer modelos teóricos que expliquen adecuadamente procesos geográficos. Estos modelos, que son una representación simplificada de la realidad, permiten abstraer y analizar características espaciales centrales (Capel, 2012). El análisis espacial posibilita la realización de predicciones acerca de futuras distribuciones espaciales, y por tanto, se puede hablar de un enfoque prospectivo que tiende al descubrimiento de relaciones de causalidad pudiendo modelar configuraciones espaciales y de esta forma realizar aportes significativos en la planificación territorial, en el marco del ordenamiento territorial.

Como perspectiva de análisis espacial, la Geografía Aplicada pone su atención en las manifestaciones espaciales que están vinculadas a los procesos sociales. Incorpora el análisis espacial cuantitativo con Sistemas de Información Geográfica

(SIG), considerando los conceptos centrales del análisis espacial (Buzai y Baxendale, 2006; Buzai, 2010) de localización, distribución, asociación, interacción y evolución espacial. La focalización de esta perspectiva es empírica, lo que permite una gran variedad de posibilidades aplicativas, a partir de considerar que la realidad existe y puede ser estudiada a partir de sus elementos materiales y, a su vez, estos elementos se relacionan ampliamente en la conformación de sistemas, desde un enfoque sistémico y que la forma más eficiente de acceder a ello es a través de la ciencia, es lo que Bunge (2012) considera como el materialismo sistémico.

En este contexto, desde la Geografía Aplicada, se revalorizan los aspectos conceptuales y metodológicos de la Geografía Racionalista y la Geografía Cuantitativa, reconociendo un claro enfoque espacial, al proveer de conceptos y metodologías que le dan sustento a las aplicaciones geotecnológicas (Buzai, 2010). Es así, que los conocimientos geográficos son aplicados a la resolución de problemáticas socioespaciales vinculadas al ordenamiento territorial, donde el geógrafo tiene posibilidades de realizar aportes significativos (Tapiador, 2001), ya que se presenta un ámbito muy amplio de aplicaciones geográficas donde puede manifestar su sentido de síntesis y de espacio (Phlipponneau, 2001).

En relación al ordenamiento territorial y la vinculación con la Geografía, Buzai y Baxendale (2010) destacan la instancia del diagnóstico socioterritorial, desde el enfoque del análisis espacial donde se realiza el estudio del sistema socioespacial en el pasado, en el presente y también sus posibilidades de evolución futura a partir de procedimientos de modelación, y por otro lado, la instancia de la propuesta, que apunta a la búsqueda de escenarios alternativos con el objetivo de apoyar la toma de decisiones espaciales y lograr la equidad y eficiencia espacial.

La incorporación de la tecnología de los SIG en el análisis espacial puede considerarse como una revolución tecnológica y también intelectual (Buzai y Baxendale, 2006). Mientras que la revolución tecnológica está relacionada con procedimientos metodológicos y técnicos en el tratamiento de datos espaciales, la revolución intelectual se relaciona con un cambio en la forma de pensar la realidad ya que diferentes disciplinas comienzan a incorporar la dimensión espacial. En estos momentos, la Geografía como ciencia está en el centro de todos estos procesos convirtiéndose en la disciplina central pues ha contribuido a la formación de la actual Geografía Automatizada, basada en la Geotecnología.

En síntesis, el interés principal de esta investigación es identificar la distribución espacial de la vulnerabilidad socioeconómica de la población de la ciudad de Lujan y asociarla espacialmente con las áreas que presentan amenaza de inundaciones para poder determinar diferentes niveles de riesgo ante el evento de inundación actual y su tendencia futura a partir del modelado de expansión urbana al 2030.

De este modo se plantean las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuál es el contexto socioespacial actual de riesgo por inundaciones en la ciudad de Luján? ¿Cuál es el grado, distribución y asociación espacial de la vulnerabilidad socioeconómica de la población con la amenaza de inundaciones? ¿Cuál será el contexto socioespacial de riesgo por inundación si se considera el crecimiento urbano futuro? ¿Cuáles son las configuraciones socioespaciales del riesgo que deben considerarse para un ordenamiento territorial que considere la gestión del riesgo?

1.2. Antecedentes y estado actual del conocimiento

El análisis de los riesgos y la vulnerabilidad, tanto a nivel general como en lo que respecta a inundaciones en particular, presenta un desarrollo amplio y con diversidad de enfoques teóricos y metodológicos. A continuación se mencionan algunos de los aportes analizados en relación a la temática de estudio en general, al área de estudio en particular y los aspectos metodológicos vinculados.

En un trabajo coordinado por Aneas (2012) se realiza un recorrido teórico y metodológico sobre el análisis de riesgo y la vulnerabilidad y se presentan estudios de caso en Argentina. Los autores consideran diferentes dimensiones de la vulnerabilidad (física, económica, social, política, técnica, ideológica, cultural, educativa, ecológica e institucional) siguiendo lo que Wilches-Chaux (1993) denomina como vulnerabilidad global, entendida como las características socioculturales que causan incapacidad en las personas para enfrentar impactos negativos de cualquier peligro a los que estén expuestos. En esta línea, presentan un análisis de riesgos ambientales en el Departamento de Rawson (San Juan, Argentina), a nivel de fracción censal, con el objetivo de determinar áreas diferenciales de vulnerabilidad global, a partir de considerar individualmente variables censales vinculadas a algunas de las dimensiones de la vulnerabilidad, como la estructura demográfica, la pobreza o la delincuencia, que luego integran en un índice global, ponderando las variables por peso poblacional y lo representan en un mapa de diferentes niveles de vulnerabilidad. De manera similar, Foschiatti (2007) analiza la vulnerabilidad global en diferentes escalas en la región del nordeste argentino, poniendo especial énfasis en el análisis de la pobreza y la percepción de la población sobre los riesgos sociales y ambientales.

Los trabajos realizados por Natenzon (1995, 2005) y Andrade et al. (2008) abordan el estudio de la vulnerabilidad social desde la Teoría Social del Riesgo,

considerando cuatro dimensiones para el análisis del riesgo: peligrosidad, vulnerabilidad, exposición e incertidumbre. En sus trabajos aparecen resaltados aspectos cualitativos (vinculados a factores políticos, ideológicos, culturales) que deben considerarse para el análisis de riesgos. Aunque cuando se realiza el análisis de casos, como inundaciones y accidentes tecnológicos en el litoral fluvial argentino en la baja cuenca del Plata, se consideran indicadores cuantitativos, principalmente demográficos, de condiciones de vida y laborales, que representan mediante cartografía temática brindando una caracterización general de la vulnerabilidad social. Las autoras hablan de peligrosidad, en vez de peligro, porque consideran que este concepto contempla la cualidad peligrosa de los fenómenos, o procesos, que están mediados socialmente por un sujeto que lo percibe como tal. El enfoque de este trabajo disiente con la concepción de peligrosidad mencionada, ya que desde el materialismo sistémico, se considera que el peligro, o amenaza, existe con independencia de la percepción.

En la misma línea, un trabajo reciente de Mastrandrea y Ángeles (2020) abordan la temática de la vulnerabilidad social asociada al riesgo hídrico en la ciudad de Bahía Blanca desde la Teoría Social del Riesgo. Los autores generaron un Índice de Vulnerabilidad Social (IVS), que espacializaron a través de un SIG, y caracterizaron la vulnerabilidad a partir de las dimensiones educativa, laboral, habitacional y de salud, considerando datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas de la República Argentina del año 2010 a nivel de radio censal.

Por su parte, la compilación realizada por Egea Giménez, Sánchez González y Suercún (2012) presenta estudios sobre vulnerabilidad social en España y en América Latina desde diferentes enfoques. Se expone un caso presentado por Gauto de Paz donde se analiza la vulnerabilidad social en Resistencia (Chaco, Argentina) desde

técnicas cualitativas, con el estudio de historias de vida de familias para superar situaciones adversas. Se consideran aspectos personales, como independencia, capacidad de relacionarse y también aspectos sociales como relaciones y apoyo familiar y se realiza un estudio comparativo de las familias consideradas. En el mismo material autores argentinos, mexicanos y cubanos analizan la vulnerabilidad social centrándose en diferentes grupos de personas que consideran con mayor riesgo social. Se analizan casos de migrantes, personas de la tercera edad, pobres y adolescentes.

En la Universidad Nacional de Cuyo se ha trabajado durante décadas sobre la reducción y gestión del riesgo a desastres siendo los pioneros en nuestro país y quienes, además, lo hicieron con proyección internacional a partir del trabajo en conjunto con organismos de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Gray de Cerdán (2013) presenta una síntesis del largo camino recorrido en la temática, y resalta la importancia de la vinculación entre docencia, investigación y transferencia. La autora focaliza en la importancia de la labor del geógrafo en los procesos de ordenamiento territorial y desarrolla una línea de acción para incorporar el análisis de riesgo a desastres en la planificación del territorio.

En la Universidad Nacional del Sur el grupo de Geografía Física Aplicada, dirigido por la doctora Alicia Campo, realiza desde hace más de dos décadas estudios vinculados a la interacción sociedad-naturaleza y las problemáticas asociadas, en diferentes escalas temporales y espaciales, con fuerte énfasis en el análisis de los aspectos del medio físico y la incorporación de Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) en sus estudios. En una obra coordinada por Campo (2015) se sistematizan gran cantidad de trabajos realizados por el grupo de investigación, entre los

que se encuentran análisis de inundaciones y anegamientos en áreas urbanas desde la perspectiva de gestión del riesgo.

En España, Ruiz (2011) plantea que las consecuencias de los desastres naturales están relacionadas directamente con la vulnerabilidad social de las poblaciones damnificadas. Considera que son muchos los factores relacionados con la vulnerabilidad social y los desastres, mencionando los demográficos, económicos, territoriales, de cohesión, de participación, formativos, entre otros. Este autor desarrolló un método de evaluación de la vulnerabilidad social a los desastres a nivel municipal, en base al desarrollo de un modelo de Evaluación Multicriterio (EMC) para la ponderación de la importancia de los diferentes factores analizados. La metodología ha sido aplicada en la isla de Mallorca (España) y se ha logrado la clasificación del nivel de vulnerabilidad de los municipios frente a un potencial evento catastrófico.

La ONU, a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), fue pionera en trabajar el tema de la vulnerabilidad social y riesgos en los países latinoamericanos y caribeños. El CELADE (2002) realizó un detallado desarrollo conceptual sobre vulnerabilidad social, donde se explicita que la investigación sistemática sobre vulnerabilidad en América Latina y el Caribe se desarrolló a partir de la década del '90, vinculada principalmente al estudio de las consecuencias de las crisis económicas y la pobreza. En el trabajo se presentan propuestas de medición de la vulnerabilidad social a partir de ejemplos en diferentes países. En el caso del PNUD, existe un trabajo reciente realizado junto Ministerio de Seguridad de la Nación y la Secretaría de Protección Civil y Abordaje Integral de Emergencia y Catástrofes de la República Argentina (2017) donde se presenta una propuesta metodológica para la

elaboración de mapas de riesgo, a partir de cartografía de amenaza y vulnerabilidad, como herramienta para la prevención y mitigación de desastres. El trabajo que surge en el marco del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo (SINAGIR), aprobado por Ley Nacional 27287/16 y que tiene como principal objetivo integrar acciones y articular el funcionamiento de los diferentes niveles de gobierno (desde la escala nacional hasta la local o municipal), las organizaciones no gubernamentales y la sociedad civil en lo que respecta a la reducción de riesgos, manejo de la crisis y recuperación.

En relación la temática de las inundaciones también existe una gran cantidad de aportes desde diferentes perspectivas. Se destaca el aporte de Perles Roselló (2010) quien realiza un análisis de la vulnerabilidad social y el riesgo de inundación en España a partir de una revisión teórica, metodológica y normativa donde explicita la infravalorización que históricamente se le ha otorgado al análisis de la vulnerabilidad social en relación con el análisis de las inundaciones como eventos naturales extremos vinculados a cuestiones exclusivamente de índole natural. El trabajo finaliza con una propuesta metodológica general para el tratamiento de la vulnerabilidad social. Incorpora el análisis indicadores generales sobre exposición (volumen de población afectable) y vulnerabilidad de los elementos expuestos (considera personas, bienes y actividades). Por su parte, los geógrafos argentinos Meza, Ramírez y Contreras (2018) realizan un análisis de inundaciones y anegamientos a partir de la elaboración de cartografía de riesgo con apoyo en Modelos Digitales de Elevación (MDE) en la provincia de Chaco.

Orientado al área de estudio de la presente investigación se destacan los estudios de riesgo de inundaciones en la cuenca del Río Luján realizados por Reyna, Spalletti y Brea (2007), Haas (1995) y Sánchez Caro y Bianchi (2014). El primero, fue realizado

por especialistas en hidráulica y se considera el riesgo hídrico a partir de la implementación un modelo hidrodinámico que les permite identificar zonas con peligro de inundación en la cuenca con diferentes períodos de recurrencia. El segundo, realiza un trabajo histórico-descriptivo sobre el fenómeno de inundación en la ciudad de Luján que resulta de interés para el análisis de la evolución espacial de la problemática de inundaciones en el área de estudio de esta investigación. El tercer estudio, presenta una modelación hidrológica a paso diario de la cuenca del río Luján, generando una serie de caudales simulados en la sección del Puente Jáuregui de la cuenca para el periodo 1988-2013. Además, resulta importante mencionar que Carballo (2010) y Carballo y Goldberg (2014), docentes-investigadoras de la Universidad Nacional de Luján, publicaron dos libros con información ambiental de la cuenca del río Luján, donde abordan aspecto físico-naturales y socioespaciales desde un enfoque interdisciplinario.

En relación al análisis espacial con SIG, el Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG) tiene una amplia trayectoria en esta línea de investigación. Por la afinidad temática se resalta el *Proyecto ATLAS* (2000-2002), a partir del cual se publicó el Atlas digital de la cuenca del río Luján, desarrollado en el Laboratorio de Análisis Espacial y Sistemas de Información Geográfica (LabSIG) del Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Luján (Buzai, 2002). Este material brinda información relevante de base para el desarrollo de la presente investigación. Recientemente finalizó el Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica (PICT) de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) “*Análisis espacial y evaluación de zonas de potenciales conflictos ambientales, productivos y patrimoniales ante la expansión urbana en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina)*” (2015-

2019), bajo la dirección de Gustavo Buzai a partir del cual se publicó el Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján (Buzai, et. al, 2019) con datos actualizados de la cuenca.

Siguiendo esta línea, Buzai y Baxendale (2011) y Buzai y Principi (2017), realizaron estudios para determinar las zonas de potencial conflicto entre usos del suelo en el partido de Luján y en la cuenca del río Luján, donde se obtuvieron diferentes mapas de aptitudes (urbana, agrícola, conservación), a partir de la implementación de modelado cartográfico, técnicas de EMC y el método LUCIS (*Land Use Conflict Identification Strategy*), lo que permitió determinar las zonas que son factibles de tener conflictos entre usos del suelo desde una mirada prospectiva.

Además, Buzai (2018) realizó un análisis del crecimiento urbano al 2030 y de potenciales conflictos entre usos del suelo en el partido de Luján, a partir de mapas de direccionamiento que permitieron modelar el potencial cambio de usos del suelo, y de la aplicación de EMC para caracterizar las aptitudes de usos del suelo y analizar sobre qué usos avanzarían las áreas urbanas en expansión. Este trabajo resulta un antecedente significativo para la línea de investigación de modelado de crecimiento urbano al 2030 que se propone en esta investigación. Como avance, se trabajará con una escala de mayor detalle pasando del nivel municipal al nivel urbano y se complejizará la metodología a partir de la utilización de una Red Neuronal Artificial (RNA) en el marco de la inteligencia artificial para el modelado de expansión urbana.

El tratamiento de la dinámica espacial a través de la dimensión temporal se constituye en una tarea de gran importancia en la investigación geográfica, desde el punto de vista del análisis espacial cuantitativo. Buzai (2010) plantea que el estudio de la evolución temporal de configuraciones espaciales, puede ser considerado un eje de

cuarta dimensión en la matriz de datos geográfica formada por filas (variables) x columnas (unidades espaciales).

A nivel nacional existe una predominancia de estudios cualitativos con énfasis en los aspectos perceptivos del riesgo. Pero, es importante destacar que en la actualidad los estudios sistémicos amplían su participación y son valorados en diferentes partes del mundo, principalmente en los países anglosajones que, además, han sido los pioneros en el análisis de riesgos en Geografía con un enfoque marcadamente aplicado y en relación con diversos aspectos del ordenamiento territorial (Calvo, 1984).

Martínez (2009) realizó un recorrido histórico sobre los estudios de riesgos en Geografía identificando tres principales tendencias: estudios físicos, sociales y sistémicos. Los primeros, basados en experiencia, análisis y explicaciones se han centrado en desarrollar principalmente aspectos técnicos que permiten explicar los fenómenos de origen natural. Los estudios sociales que buscan la comprensión del espacio, considerado un constructo social, a partir de analizar las condiciones socioculturales de la población, su conocimiento y comportamiento ante situaciones de riesgo. Y finalmente, se resalta que en las últimas décadas han comenzado a proliferar en Geografía los estudios sistémicos que focalizan en la explicación y comprensión de los sistemas naturales y sistemas sociales integrando diversas variables físicas y sociales. Este enfoque brinda la posibilidad de proyectar diferentes escenarios de riesgos lo que permite realizar análisis prospectivos.

Los aportes mencionados anteriormente sirvieron de referencia para esta investigación, que se basará en los aspectos teóricos y metodológicos del análisis espacial con SIG con la finalidad de realizar un diagnóstico socioespacial y brindar orientaciones para elaboración de propuestas que contemplen el abordaje del riesgo por

inundaciones desde un enfoque sistémico, en una perspectiva actual y futura, en la ciudad de Luján, constituyéndose como un aporte de la Geografía Aplicada en el marco del ordenamiento territorial.

1.3. Hipótesis

-La distribución espacial del riesgo en la ciudad de Luján (asociación espacial entre la distribución de áreas con peligro de inundación y la distribución de diferentes niveles de vulnerabilidad socioeconómica) presenta condiciones de heterogeneidad dependiendo de las características socioespaciales estructurales de la población. Dentro de este contexto, las tendencias de crecimiento urbano para el año 2030 permiten prever un aumento de los riesgos vinculados a inundaciones. Frente a esto, los conocimientos adquiridos en el marco de la Geografía Aplicada brindan la posibilidad de realizar aportes al ordenamiento territorial, considerando la gestión del riesgo, y constituyéndose como una herramienta de ayuda a las decisiones espaciales en el área de estudio.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivos generales

- Caracterizar y analizar el contexto socioespacial de riesgo por inundaciones en la ciudad Luján considerando su dinámica de expansión urbana al año 2030.
- Generar bases de datos geográficas y cartografía de riesgo a inundaciones como herramientas de transferencia para la planificación territorial.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar áreas con peligro de inundación para su representación mediante cartografía temática.
- Determinar áreas y niveles de vulnerabilidad socioeconómica para su representación mediante cartografía temática.
- Analizar la asociación espacial del peligro de inundación y las áreas con diferentes niveles de vulnerabilidad socioeconómica para obtener cartografía temática de riesgo.
- Analizar las configuraciones espaciales futuras mediante modelos de simulación del crecimiento urbano al 2030 basados en inteligencia artificial y autómatas celulares.

1.5. Estructura de la tesis

La tesis se encuentra estructurada en dos partes, que a su vez se dividen en capítulos (Figura 1.1).

La primera parte está compuesta por los capítulos I, II y III. El capítulo I incluye la introducción al trabajo de investigación, donde se presenta justificación del tema, se establecen las hipótesis y se definen los objetivos. En los capítulos II y III se define el marco teórico-conceptual que le da sustento a la investigación.

La segunda parte incluye los capítulos IV, V y VI. En el capítulo IV se define el área de estudio, se explicita el marco metodológico y se explican los procedimientos que se realizarán para cumplir con los objetivos propuestos. El capítulo V incluye la aplicación de las metodologías y los resultados correspondientes: mapa de amenaza, mapa de vulnerabilidad, mapa de riesgo y mapa de expansión urbana al 2030. El capítulo VI contiene orientaciones para la gestión del riesgo a inundaciones a partir del

análisis de resultado cartográfico síntesis que se presenta como una herramienta importante de planificación territorial.

Por último se presentan las conclusiones del trabajo asociadas a la comprobación de la hipótesis de investigación y el cumplimiento de los objetivos propuestos, la bibliografía y los apéndices.

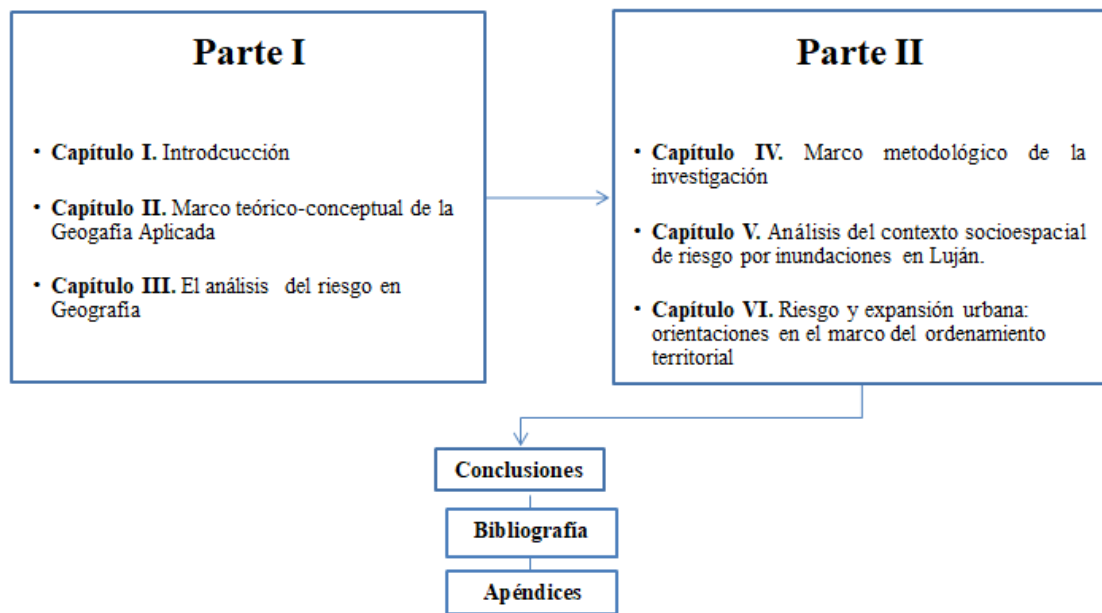


Figura 1.1. Estructura de la tesis.

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL DE LA GEOGRAFÍA APLICADA

“Toda investigación científica es empírica, porque la ciencia es empírica al tratar cuestiones del mundo real. El análisis geográfico realizado con SIG es empírico y su práctica se hace operativa a través de la apelación a aspectos teóricos (Teoría de la Geografía), aspectos metodológicos (Análisis Geográfico) y las principales posibilidades de aplicación (Planificación territorial).”

Gustavo Buzai y Claudia Baxendale, 2013:123.

El presente capítulo aborda las ideas, conceptos y teorías que sustentan la investigación. En principio, es importante resaltar que se considera a la Geografía como una ciencia pura y aplicada. De acuerdo a Bunge (2014) podría definirse a la ciencia aplicada como una intersección entre la ciencia básica y la técnica, donde se busca el conocimiento científico procurando que este tenga una posible utilidad práctica. En este sentido, la Geografía como ciencia aplicada busca generar conocimientos que sean útiles, y de apoyo, para la resolución de problemáticas socioespaciales concretas, mediante el uso de Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) y, especialmente, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que se presentan como un avance tecnológico pero principalmente constituyen un importante avance intelectual para la

disciplina, al permitir integrar los conceptos centrales del análisis espacial, que son los que forman el núcleo disciplinario (Buzai y Baxendale, 2006).

Esta concepción de la Geografía la posiciona como una disciplina central en el proceso de ordenamiento territorial, actividad de carácter claramente aplicado, donde la Geografía realiza aportes significativos principalmente en el componente científico y técnico, en la etapa del diagnóstico territorial a partir del análisis de la realidad territorial y también con aportes teóricos para la toma de decisiones espaciales.

Gómez Orea (2008) plantea que en los procesos de ordenamiento territorial lo que se analiza es un sistema territorial que es complejo, y por lo tanto, es necesario recurrir a modelos para describirlo e interpretarlo. El modelo, en tanto imagen simplificada del sistema territorial, debe tener la capacidad de ayudar en la interpretación de la estructura y el funcionamiento del sistema, esto permite incluso avanzar en estudios prospectivos.

Los fundamentos teóricos de la Geografía Aplicada se encuentran en la Geografía Cuantitativa con base en el racionalismo que considera la formulación de enunciados teóricos o teorías tienen validez hasta tanto aparezcan nuevas teorías alternativas que refuten las anteriores; y se sustenta en la corriente filosófica del positivismo, que remarca la importancia de la experiencia y de los datos empíricos en el proceso de construcción de conocimiento. En esta investigación se asume, dentro del marco general positivista, el enfoque del materialismo sistémico, propuesto y desarrollado por Bunge (2014), mencionado como “sistematerialismo”, que se basa en el *materialismo* al considerar la materialidad concreta del mundo, otorgando prioridad al mundo material por sobre el mundo subjetivo, en el *realismo* que asume que la realidad existe independientemente del observador, y el *sistemismo* que considera que la realidad

está organizada de forma relacional (el materialismo reconoce las “cosas” en el mundo y el sistemismo las analiza de forma conjunta, como un sistema, no aisladas) y la forma más eficiente para su estudio es la ciencia, es decir, se avala el *cientificismo*. Desde este enfoque se considera el espacio-tiempo y se distinguen varios niveles de la realidad, el nivel espacial, del espacio geográfico, es en el que se centra este trabajo.

El enfoque sistémico de la ciencia considera el estudio de la realidad como totalidad organizada, con principios de interacción entre múltiples variables y una organización dinámica de los procesos. Es una visión científica del mundo donde no se reduce solamente a la causalidad o linealidad de los procesos sino que se abordan los análisis de manera relacional. El marco conceptual-analítico que incorpora esta perspectiva y que se adopta en esta investigación es el de la Teoría de Sistemas Complejos (TSC) propuesta por García (2006). Todos estos aspectos se desarrollarán a continuación.

2.1. La Teoría de los Sistemas Complejos como marco conceptual-analítico

El enfoque tradicional de la ciencia se basa en descubrir cadenas causales y lineales entre variables, de forma reduccionista, para entender procesos principalmente biológicos. Desde este enfoque la principal forma de llegar al conocimiento consiste en aislar los elementos bajo estudio, lo que podría considerarse como una fragmentación y luego unirlos conceptual o experimentalmente para comprender el objeto de estudio. En cambio, el enfoque sistémico considera el análisis de la totalidad con sus aspectos centrales y claramente delimitados del contexto, con principios de interacción entre

múltiples variables y una organización dinámica de los procesos. En este enfoque el uso de modelos, simulaciones y construcciones representativas del objeto de análisis constituye el método general de la ciencia. Esto forma parte de una nueva formulación de la visión científica del mundo donde se pone de manifiesto la importancia del análisis de sistemas en diferentes campos de conocimientos.

El marco conceptual-analítico que incorpora esta última perspectiva es la Teoría de Sistemas Complejos (TSC) propuesta por García (2006), como un avance desde Teoría de los Sistemas (TGS) desarrollada por Bertalanffy (1968). Desde esta teoría se sostiene que no existe una disciplina única con la capacidad de considerar todos los aspectos particulares de un objeto de estudio y por esto, se cuestiona la excesiva especialización disciplinar que lleva a la fragmentación del conocimiento pero se valora la solidez disciplinar por considerarse indispensable para avanzar hacia estudios de tipo interdisciplinar. Se busca reducir, en lo posible, la duplicación de esfuerzos teóricos en campos disciplinares distintos y promover la unidad de la ciencia partir de mejorar la comunicación entre los especialistas.

García (2006) plantea que las situaciones y los procesos que suceden en el mundo real no están clasificados para abordarse desde una disciplina particular sino que se desarrollan en una realidad compleja. Los sistemas complejos que existen en la realidad empírica no tienen límites precisos por eso es necesario realizar recortes. Se deben definir límites que reduzcan al mínimo la arbitrariedad y considerar las interacciones del sistema que queden fuera del sistema recortado. En este sentido, es importante tener presente que todo conocimiento supone abstraer algunos elementos de la realidad.

Un sistema complejo siempre está constituido por un conjunto de objetos que están en continua interacción y, como totalidad, tiene propiedades que no son la simple adición de las propiedades de los elementos. Además, dentro del sistema es posible identificar subsistemas que se vinculan entre sí. Esto permite establecer jerarquías de subsistemas dentro de un sistema y definir niveles de análisis correspondientes a los niveles de organización dentro del sistema. Esto facilita el estudio de los sistemas complejos y permite evidenciar que dentro de la complejidad, que no es utilizada aquí como sinónimo de complicación, es posible determinar niveles de análisis, que están en interacción con los otros niveles pero que presentan dinámicas propias que es importante conocer. De esta forma, la Geografía presenta muy buenas posibilidades en los estudios sistémicos al poder realizar un recorte concreto de la realidad a nivel espacial.

Esta organización en diferentes niveles de análisis hace que un mismo sistema pueda analizarse desde diferentes ópticas. Buzai (2015) realizó un análisis en relación a la evolución de diferentes paradigmas en la Geografía y la consideración de un nivel focal espacial como marco que permite estudiar la realidad estratificada por niveles de análisis. En este sentido menciona un nivel suprafocal que puede vincularse a la perspectiva de la Geografía Radical Crítica, que se orienta hacia la transformación de la realidad social en pos de una sociedad más justa. Un nivel intrafocal que se asocia a la perspectiva de la Geografía Humanista, con énfasis en los estudios de percepción individual y la valorización del lugar como espacio vivido. Y el nivel focal, vinculado a la perspectiva racionalista y sistémica con énfasis en la dimensión espacial, buscando regularidades en los patrones espaciales con posibilidades de predicción.

En el nivel focal, que es el que se adopta aquí, se entiende que la Geografía debe avanzar hacia la búsqueda de explicaciones y posibles soluciones a problemáticas socioespaciales concretas, y esto es posible en el marco de una Geografía Aplicada, con posibilidad de prospección y donde el ordenamiento territorial se sitúa como un ámbito con gran potencialidad de aplicación, donde el geógrafo *“puede manifestar plenamente sus dos cualidades esenciales, el sentido de la síntesis y el del espacio”* (Philipponneau, 2001: 10).

Una misma problemática, dentro de la Geografía, puede verse diferente si se consideran diferentes puntos de vista, porque se vincula a la imagen científica del mundo y en ese sentido, podemos decir que tiene validez solo relativa. *“Cada una de estas maneras de ver las cosas es perfectamente legítima y no tiene menos caso pretender enfrentar una a la otra”* (Bertalanffy, 1976:248).

Desde la TSC, cuando se analiza un sistema complejo, se consideran observables y hechos. Los observables se definen como datos de las experiencias ya interpretados. Los hechos como relaciones entre observables. Por eso no se puede ser un observador neutro que toma una realidad objetiva, desde un punto de vista empirista, y registra datos puros. Los registros corresponderán siempre a esquemas interpretativos propios (García, 2006). En este sentido, la TSG tiene base empírica, pero esto no significa que avale el empirismo como enfoque que considera la objetividad y, por ende, la neutralidad del investigador al momento de captar los hechos de la experiencia sino que, como ya se planteó anteriormente, el sistema debe ser definido poniendo de manifiesto una postura constructivista del conocimiento.

En el caso del análisis del riesgo vinculado a inundaciones que es la temática de la presente investigación, hablamos de un sistema socioespacial complejo donde

interactúan el subsistema físico-natural y el subsistema humano, cada uno de ellos con dinámicas propias de funcionamiento que como parte constitutiva del sistema generan cambios que pueden significar aumento de la vulnerabilidad o incluso de la resiliencia del sistema, es decir, niveles de adaptabilidad que hacen que a pesar de sufrirse cambios o alteraciones menores en el sistema, no se pierde la esencia del sistema sino que se reacomoda a las nuevas características.

Pensar de esta forma la temática de riesgos nos permite realizar análisis más integrales y además realizar modelizaciones y simulaciones para analizar el comportamiento del sistema si existen cambios en los subsistemas. Si podemos realizar un estudio prospectivo de crecimiento urbano en una ciudad que presenta riesgo de inundación, podemos predecir cuáles serán las condiciones de riesgo de las áreas urbanas que presentan tendencia a expansión. Lo mismo sucede con las simulaciones de inundación que permiten observar qué sucedería si hay una inundación mayor a las del promedio y vincularse con las áreas más vulnerables del sistema. En los ejemplos se destaca, por un lado, la cuestión espacial asociada a la consideración de la Geografía como una ciencia aplicable y/o aplicada que permitiría brindar información y herramientas para actuar sobre el espacio geográfico. Y por otro lado, la simulación, que tomando como referencia a Wagensberg podemos resaltar “...sirve para explorar qué tipo de interacciones individuales son compatibles con un comportamiento conocido del todo o, inversamente, para conocidas ciertas reglas de actuación de los elementos, aventurar ciertas predicciones sobre el comportamiento del todo” (Wagensberg, 1994:95). Esto es posible porque en los sistemas existe una tendencia a la repetición, o redundancia, de los patrones de funcionamiento.

En el marco del análisis de la complejidad la simulación se considera como una nueva forma de aproximarse a la realidad, que puede nutrirse de la teoría o de la experiencia, indistintamente, y donde las nuevas tecnologías computacionales adquieren una relevancia fundamental. En el ámbito de la Geografía esto puede asociarse a la incorporación de los SIG que permiten abordar la realidad desde un punto de vista espacial, posicionándose como la herramienta conceptual y metodológica apropiada para la incorporación del enfoque sistémico.

2.2. Geografía Aplicada: sus bases teórico-epistemológicas

Considerar a la Geografía como ciencia pura significa entenderla como un cuerpo de conocimiento racional, sistemático, exacto, verificable y, por consiguiente, falible (Bunge, 1960). Para llegar a la explicación de los hechos y fenómenos geográficos, el análisis es parte fundamental; haciendo uso de métodos cuantitativos e hipotético-deductivos, con la finalidad de generalizar y descubrir regularidades vinculadas a los patrones de distribución espacial y la relación de la sociedad con su entorno. Como ya se adelantó, considerarla como ciencia aplicada implica que los conocimientos generados puedan ser útiles a la sociedad, por eso Bunge (1960) expresa que la ciencia pertenece a la vida social en tanto se la aplica con el objetivo de mejorar las condiciones de vida. La Geografía como ciencia aplicada tiene por objetivo realizar aportes tendientes a lograr posibles soluciones a problemáticas socioespaciales apoyadas en una base científico-tecnológica (Buzai, 2014). Los antecedentes teóricos que permiten llegar en la actualidad a la denominada Geografía Aplicada se remontan a diferentes períodos en la evolución paradigmática de la disciplina.

La Geografía en su perspectiva humana, consolidada desde finales del XIX, a partir de la obra “*Antropogeografía*” (1882, 1891) de Friedrich Ratzel, ha posibilitado mantener una cierta unidad disciplinaria en su evolución histórica. La relación sociedad-naturaleza ha tenido diferentes momentos; aquellos en los que la naturaleza prima sobre la sociedad, que han sido estudiados desde enfoques deterministas; aquellos momentos en los que la sociedad tiene la posibilidad de encontrar solución a los condicionamientos del entorno físico-natural, analizados desde un enfoque posibilista y posturas intermedias o probables que se las aborda desde enfoques probabilistas.

La Geografía Regional, la Geografía Racionalista y la Geografía Cuantitativa son, de todas las escuelas de pensamiento geográfico, las de mayor orientación hacia el análisis espacial regional. La primera, enfocada en la necesidad de describir; la segunda y la tercera se encargan de explicar cómo se organizan los hechos sobre el espacio geográfico mediante la construcción regional, desarrollando conceptos, métodos e instrumentos para explicar la localización (Buzai y Baxendale, 2011).

La Geografía Regional de comienzos del siglo XX considera a la región como realidad objetiva cuya existencia es previa al estudio del investigador. En su evolución paradigmática, la Geografía Regional propuesta por Vidal de La Blache (1922) y basada en la filosofía positivista de Comte (1844) define como objeto de estudio a la región geográfica con sus aspectos físicos y humanos que la hacen única e irrepetible. Vidal de La Blache, pensaba a la Geografía como ciencia y no como un memorándum o una nomenclatura de fenómenos físicos o humanos, ya que el objetivo era la búsqueda de encadenamientos en los fenómenos y, a partir de eso, su explicación. Esta concepción ya suponía un gran avance en relación a la simple descripción o enumeración que hasta entonces predominaba en la Geografía.

Por su parte, hacia finales de la década de 1930, a partir del trabajo de Hartshorne (1939) comienza a tomar importancia una propuesta la Geografía Racionalista, que se interesa por los temas teóricos e intenta romper particularmente con el problema del dualismo entre una geografía general y una geografía regional o corológica. Esta Geografía, produjo una renovación conceptual al considerar a la región ya no como una realidad objetiva sino como una construcción producto de procedimientos intelectuales, es decir, es el investigador quien debe definir la región a partir de sus objetivos. Para Hartshorne (1939), la Geografía puede ser entendida como la ciencia que estudia la diferenciación areal entendida como la diferenciación espacial plasmada en la superficie terrestre. La Geografía Regional debe apoyarse en los principios de la Geografía Racionalista para no desaparecer absorbida por las otras ciencias. La construcción regional racionalista se basa en el método de superposición cartográfica que ya había sido propuesto por Max Sorre (1955) entre las décadas del '40 y '50 como un método fundamental para la Geografía. Actualmente, se lo considera el antecedente principal del análisis espacial realizado con SIG a partir de la sistematización de transparencias superpuestas realizada por McHarg (1967) en una aplicación de análisis de paisaje. En Argentina la perspectiva racionalista formulada por Hartshorne (1939) está representada por Rey Balmaceda (1973), aunque la perspectiva regional en nuestro país avanzó hacia el estudio de las tipologías espaciales a través del aporte de Zamorano de Montiel (1994).

A mediados del siglo XX, la Geografía se sumerge en una etapa de cambio paradigmático, una revolución científica que se conoce en la historia de la disciplina como “Revolución Cuantitativa” (Burton, 1963) que dio lugar a la Geografía Cuantitativa también denominada Nueva Geografía.

El período de la segunda guerra mundial y la consecuente etapa de post-guerra dieron un gran impulso al desarrollo científico-tecnológico, en ciertas líneas ligadas principalmente a las ciencias físico-matemáticas las cuales generaron un notable impacto en las ciencias humanas en general y en la Geografía en particular (Johnston, 1987). En Geografía, fue el interés por el desarrollo de aspectos teóricos, abstractos, del enfoque disciplinario, lo que constituyó el rasgo fundamental para la renovación, o mejor dicho, revolución disciplinaria. Burton (1963) reconoció que la revolución se inspiró en una necesidad genuina de hacer una geografía más científica y en un interés por desarrollar un cuerpo teórico centrado en el espacio geográfico. En las raíces de la revolución cuantitativa se encuentra la insatisfacción respecto a la geografía idiográfica aquella que estudia aspectos únicos e irrepetibles considerada a partir de la clasificación de las ciencias formulada por Windelband (1970, citada por Buzai, 1999). Esta cuestión había sido señalada inicialmente por Schaefer (1953), que criticaba la concepción que él llamó excepcionalista, es decir, la posición historicista e ideográfica, lo que el autor planteaba es que se deben tratar de explicar los fenómenos a través de leyes, en el caso de la Geografía las leyes serían las que rigen la distribución espacial de ciertas características en la superficie de la Tierra, de esta forma se sostendría el contenido científico de la disciplina.

Los fundamentos epistemológicos para la construcción teórica de la nueva geografía los brindó el positivismo lógico o neopositivismo. Uno de los postulados básicos del positivismo lógico es el de unidad de la ciencia. Los geógrafos, entonces, deben resolver los problemas geográficos con la misma forma de proceder de todos los campos científicos, a través del método científico. Según Rusell (1985), de una forma esencial de notable sencillez que implica la observación repetitiva de hechos y la

formulación de las leyes que los rigen. Combina aspectos inductivos, cuando de los hechos individuales se formula la ley y deductivos, cuando de la ley surgen explicaciones de nuevos hechos.

La ciencia unificada es un sistema no contradictorio de protocolos y leyes; es una actividad normativa, aunque no rigurosamente determinista, que ni hace demarcaciones entre ciencias naturales y ciencias sociales, ni reconoce la posibilidad de hacer juicios axiológicos o de valor, ratificando así su neutralidad. (Delgado Mahecha, 2003:35)

Así, se obtiene un mayor nivel de objetividad al brindar métodos y procedimientos en la construcción de conocimiento que todo investigador puede repetir para obtener los mismos resultados, y esta característica le da a la Geografía una importante capacidad interdisciplinaria. En esta línea conceptual, la Geografía Cuantitativa genera modelos a partir de la generalización de las pautas de distribución espacial. Fue igualmente una revolución teórica como una revolución cuantitativa.

La Geografía Cuantitativa, en su carácter de ciencia aplicada, pone su focalización en el estudio del espacio geográfico y su ordenamiento empleando técnicas cuantitativas y modelos de localización tendiente a buscar soluciones a diferentes problemáticas de índole locacional (Haggett, 1976). En este sentido, se ha realizado un considerable esfuerzo para establecer modelos teóricos que expliquen adecuadamente procesos geográficos (usos del suelo, localización óptima de las áreas de mercado, riesgos de origen natural o antrópico, otros.). Estos modelos, que son una representación simplificada de la realidad, permiten abstraer y analizar características espaciales.

Cuando el modelo es adecuado se posibilita la realización de predicciones, y por tanto, la planificación espacial (Capel y Urteaga, 1991).

El ámbito de estudio de esta Nueva Geografía es el espacio geográfico, es decir, la superficie de la tierra como espacio concreto, por lo que los problemas que debe formular el geógrafo tienen que ver con la distribución de todo tipo de fenómenos sobre dicho espacio. Ackerman (1963: 15, citado por Capel, 2012) afirmaba que el problema-clave de la Geografía “*es nada menos que la comprensión del enorme sistema de interacción que comprende toda la humanidad y su medio ambiente natural sobre la superficie terrestre*”, donde prevalecía una perspectiva sistémica. Esta conceptualización de la Geografía como *ciencia del espacio* abrió una alternativa muy diferente a la tradición cada vez más desacreditada de la Geografía Regional. La Geografía Cuantitativa rescata trabajos clásicos que consideraban a la Geometría como lenguaje espacial, muchas de ellas sistematizadas en la obra de Bunge (1962). Para este autor, existían leyes simples por descubrir sobre la superficie de la Tierra y, sobre todo, acerca de los patrones de los fenómenos que allí se encuentran, tanto para fenómenos humanos como físicos. La clave para la comprensión de los patrones era la geometría, con énfasis en la precisión y, a través de teoremas, se permitió al investigador razonar acerca del patrón y de allí a la teoría. El autor utilizó ejemplos para focalizar la atención en la temática geométrica, se centró en la elaboración de métodos objetivos y reproducibles para la definición de las regiones, y se concentró en la evidencia estadística en lugar de impresión subjetiva. Bunge consideraba que el trabajo empírico se situaba al final, para comprobar la validez de las hipótesis formuladas en relación con una teoría. Por ello, con referencia a cada problema concreto, el primer objetivo era la elaboración de teorías, como punto de partida para interpretar los hechos observados.

En los finales del siglo XX, la Geografía presenta nuevas perspectivas de análisis de la realidad, entre las que se encuentra la Geografía Automatizada (Dobson, 1983) con notables desarrollos tecnológicos digitales. Sin embargo, como en Geografía un cambio paradigmático nunca pudo desplazar por completo al anterior sino que todos conviven, la Geografía Cuantitativa aumentó sus posibilidades metodológicas poniendo atención a las relaciones socioespaciales y a la interdisciplinariedad (Buzai, 1999).

En los últimos años, el racionalismo y el cuantitativismo aportaron conceptos, métodos e instrumentos para la localización de las actividades humanas sobre el territorio que se incorporaron en la tecnología de los SIG, por lo tanto puede considerarse que los SIG no sólo han apoyado una revolución tecnológica sino que también son responsables de una revolución intelectual. Mientras que la revolución tecnológica está relacionada con procedimientos metodológicos y técnicos en el tratamiento de datos espaciales, la revolución intelectual se relaciona con un cambio en la forma de pensar la realidad ya que diferentes disciplinas comienzan a incorporar la dimensión espacial. En estos momentos, la Geografía como ciencia está en el centro de todos estos procesos convirtiéndose en la disciplina central pues ha contribuido a la formación de la actual Geografía Automatizada, basada en la Geotecnología (Buzai, 1999).

La Geografía Automatizada permite una nueva forma de acceder y conceptualizar la realidad geográfica mediatizada por la informática. El carácter interdisciplinario de esta nueva perspectiva genera nuevos campos del conocimiento transdisciplinarios. La posición de la Geografía es central y de integración entre otras disciplinas manteniendo como hilo conductor el enfoque espacial. Esto da a la Geografía una excelente oportunidad para ocupar un lugar destacado y desde el punto

de vista operativo a través de los sistemas informáticos traslada saberes teóricos y metodológicos al resto de las ciencias (Buzai, 1999). La Geografía Automatizada incluye, entre otros, la cartografía computacional, el procesamiento digital de imágenes de sensores remotos, los modelos digitales de elevación, la fotogrametría, los sistemas de posicionamiento global, los drones y los SIG; la integración de todos ellos se agrupa bajo el concepto de *Geoinformática*.

El desarrollo conceptual de la automatización en Geografía a través de los SIG ha generado un gran impacto en otras ciencias favoreciendo la interdisciplinariedad; así lo demuestran muchos libros publicados en el primer cuarto del siglo XXI en Arqueología (Conolly y Lake, 2006), Antropología (Carrera, 2007), Historia (Schulten, 2012), Biología (MacLeod, 2015), Ecología (Wegmann, Leutner y Dech (2016), Demografía (Thomas, 2018), Economía (Thill, 2020), entre otras.

La Geografía Automatizada revaloriza el cuantitativismo en el estudio del análisis espacial y en la búsqueda de soluciones a problemas de organización espacial y de localización de servicios para la población. Con los conceptos y métodos incorporados al ámbito digital, especialmente en las TIG y en los SIG se genera un Paradigma Geotecnológico que incorpora el espacio geográfico en un ambiente digital. Este paradigma no es de la Geografía sino un paradigma geográfico que nuestra ciencia brinda al resto de las prácticas científicas. Por lo tanto, surge la Geografía Cuantitativa en su reorientación a Geografía Automatizada a través de la automatización de aspectos teórico-metodológicos como Geografía Global al alcance de todas las ciencias (Buzai, 1999).

Como se fue desarrollando a lo largo de las diferentes perspectivas geográficas presentadas precedentemente la dimensión espacial aparece en un lugar central del

análisis y la articulación de las diferentes perspectivas es lo que posibilita el desarrollo actual de la Geografía Aplicada.

La Geografía Aplicada aporta sus conocimientos y destrezas a la resolución de problemas sociales, económicos y ambientales del territorio, de la sociedad, del uso de los recursos, en cuanto que pretende utilizar la teoría y la metodología geográfica para resolver problemas humanos que tienen una dimensión geográfica. (López Trigal, 2015a: 185)

La bibliografía sobre aspectos teóricos de la Geografía Aplicada es limitada, los libros de Stamp (1960) y Phlipponneau (1960) con actualización en Phlipponneau (2001) se consideran los clásicos, y recientemente dos publicaciones iberoamericanas, Garrocho y Buzai (2015) y López Trigal (2015), presentan aportes teóricos actualizados y dan cuenta de la relevancia de esta temática en el siglo XXI principalmente en Iberoamérica. Se presenta a la Geografía Aplicada como una ciencia con gran capacidad para trabajar de forma interdisciplinaria, revalorizando los métodos geográficos por sobre los métodos no-espaciales de las otras ciencias sociales. Además, el avance en lo que respecta a la disponibilidad de bases de datos y desarrollo de las geotecnologías han puesto al geógrafo en un lugar privilegiado para el manejo de grandes volúmenes de información georreferenciada en pos de analizar y brindar soluciones a diferentes problemáticas socioespaciales. Phlipponneau (2001) menciona dos componentes de la Geografía, uno científico que es el que se vincula el análisis de los aspectos complejos en la relación sociedad-naturaleza y su distribución espacial, y otro componente que él denomina utilitario, haciendo referencia a la aplicabilidad de la Geografía y que lo

expresa como poner el conocimiento científico al servicio de la acción. Además, este autor remarca la importancia de los geógrafos en los procesos de ordenamiento territorial, ya que lo considera como un amplio campo de aplicaciones donde se revaloriza la dimensión espacial de la Geografía, dándole a la disciplina mayor utilidad y relevancia social, con énfasis en la utilización del mapa y del plano como herramientas privilegiadas en los análisis, diagnósticos y propuestas realizadas, con un gran apoyo en el desarrollo de las TIG que ofrecen cada mayores posibilidades para el análisis espacial.

La Geografía Aplicada concibe desde sus inicios el objetivo de la aplicación práctica, para la resolución de problemas, o potenciales problemas (visión prospectiva) socioespaciales, esto es lo que la posiciona como una ciencia aplicada, a diferencia de la ciencia pura que aunque pudiera tener dar lugar a aplicaciones no fue concebida con tal objetivo. Esta aclaración no intenta oponer de forma dicotómica la ciencia pura de la aplicada, al contrario, un estudio geográfico aplicado debe utilizar sustentos teóricos y métodos al igual que la ciencia pura, lo único que cambia es la finalidad en cada caso (Phlipponneau, 2001).

2.3. Análisis espacial con Sistemas de Información Geográfica

Cuando se menciona el análisis espacial se está haciendo referencia a un amplio conjunto de procedimientos para el estudio de datos geográficos, en los que se considera específicamente las características espaciales (Unwin, 1981). Es el estudio cuantitativo de aquellos fenómenos que se manifiestan en el espacio geográfico, de allí la importancia de la posición, la superficie, la distancia y la interacción a través del propio espacio, y la georreferencian de los datos (Olaya, 2014). Desde los SIG, el análisis

espacial es su núcleo ya que a diferencia de otras formas de manejo de datos espaciales como puede ser la cartografía automatizada o la Teledetección, aquí el énfasis está puesto en el *análisis* de los datos espaciales, es una definición de SIG por funcionalidad, considerando como fundamental subsistema de tratamiento (Burrough, 1986).

El análisis espacial puede realizarse dentro de una amplia gama de resoluciones e integraciones espaciales porque cubre todos los niveles del espacio. En su interior, podemos definir al análisis geográfico que ocupa los mayores niveles de integración en la escala social. Entre estas dos definiciones se encuentra la definición de análisis socioespacial. Este último se define por el estudio de los patrones de distribución espacial de temas sociales, económicos y demográficos; o por la importancia que ejerce la componente espacial en los patrones de distribución. Todo análisis socioespacial con SIG permite abordar diferentes temáticas con un importante nivel de concreción (Buzai y Baxendale, 2011). En esta definición se basará este trabajo de investigación para determinar el contexto socioespacial de riesgo ante inundación en la ciudad de Luján.

Los SIG utilizan una matriz de datos tradicional como tabla de atributos para el trabajo con datos vectoriales. En esta se pueden sintetizar tres perspectivas geográficas fundamentales. Si se realiza una análisis horizontal (por filas), se puede observar de qué manera las diferentes variables (atributos) se combinan en una única unidad espacial, lo que puede considerarse como una perspectiva de la Geografía Regional. Si el análisis se realiza de forma vertical (por columna), permite observar de qué manera una variable se distribuye a partir de todas las unidades espaciales como perspectiva de la Geografía General. Y finalmente, es posible un análisis en profundidad (eje del tiempo) que permite ver cómo los hechos geográficos, combinaciones regionales y sistemáticas evolucionan en el tiempo, en el marco de una Geografía histórica (Figura 2.1).

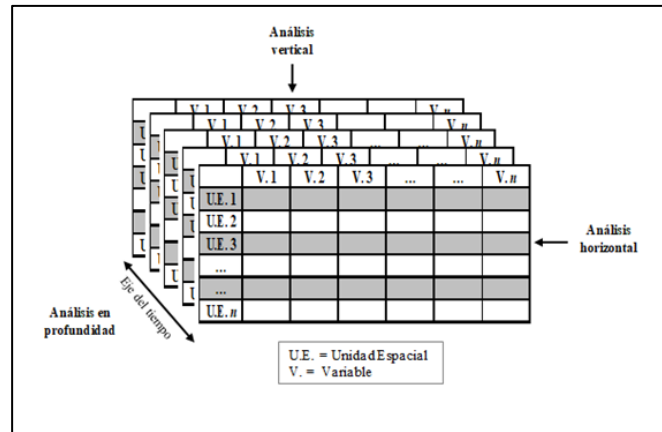


Figura 2.1. Análisis de la tabla de atributos

Fuente: Elaboración propia en base a Buzai, Humacata, Principi (2019: 47)

En el marco del análisis espacial es importante mencionar la matriz de datos geográfica propuesta por Berry (1964) como sistema organizado de datos espaciales cuya estructura considera las variables (*characteristics*) en las filas y las unidades espaciales (*places*) en las columnas. Ésta es una transposición de la matriz de datos originales que permite aplicar procedimientos de análisis multivariado para agrupar unidades espaciales en procesos de clasificación, lo que en Geografía se considera como regionalización. (Figura 2.2).

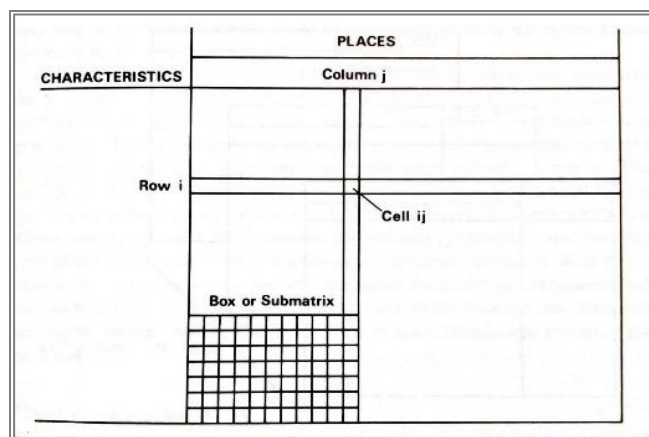


Figura 2.2. Matriz de datos geográfica

Fuente: Berry, B.J.L. (1964: 5)

Se puede decir que los SIG constituyen el último avance de las herramientas para el tratamiento y análisis complejo de la información geográfica, a partir de la incorporación de una gran cantidad de conceptos y métodos geográficos para describir, analizar, modelar, razonar y tomar decisiones en la dimensión espacial, mejorando el análisis y la comprensión de la realidad.

Buzai y Baxendale (2011), presentan conceptos básicos para realizar un análisis socioespacial con SIG. Para ello, consideraron los *Principios Geográficos* de localización, conexión, extensión, complejidad, dinamismo y globalidad territorial, presentados por el geógrafo francés Emmanuel de Martone como intento de delimitar el campo de la Geografía y que fueron presentados y analizados por Vilá Valentí (1983). A partir de esto los autores presentan lo que denominan como los cinco conceptos fundamentales del Análisis Espacial y que pueden considerarse como los conceptos del núcleo geográfico: localización, distribución espacial, asociación espacial, interacción espacial y evolución espacial.

El concepto de *localización* considera que todas las entidades bajo estudio tienen una determinada ubicación sobre la superficie terrestre que puede ser vista como sitio o emplazamiento, o como situación o posición (espacio absoluto y espacio relativo, respectivamente). El concepto de *distribución espacial* considera que las entidades se reparten de forma específica sobre la superficie terrestre asimilándolos a figuras geométricas como puntos, líneas o áreas. La distribución espacial de puntos puede mostrar patrones agrupados, aleatorios o dispersos, la de líneas diferentes características de conectividad en los grafos y las áreas diferencias de densidad o intensidad en las variables de la tabla de atributos. En el marco del concepto de *asociación espacial* se considera el grado de semejanzas y diferencias entre los atributos medidos en las

unidades espaciales. En la superposición de capas temáticas, se puede verificar el nivel de asociación por porcentajes de correspondencia. Desde el punto de vista cuantitativo, un coeficiente de correlación es el medio para medir el nivel de semejanza en la distribución de variables en las unidades espaciales. Por su parte, el concepto de *interacción espacial* contempla las relaciones entre ubicaciones, distancias y flujos horizontales sobre el espacio geográfico. El concepto de accesibilidad es básico en la estructura del espacio geográfico y su funcionalidad. Finalmente, el concepto de *evolución espacial* incorpora la variable temporal y la transición de un estado a otro. Desde el punto de vista cuantitativo, el tiempo es la cuarta dimensión en la matriz de datos geográfica. La matriz puede ser extrapolada al futuro y transformada en un modelo de simulación (Buzai y Baxendale, 2011).

Un aspecto importante, en relación al análisis espacial está vinculado a la medición. La medida se asume como la asignación de valor a las cosas de acuerdo con reglas claras y bien definidas. El geógrafo dispone de varias posibilidades de medición, como por ejemplo: mediciones binarias y nominales, mediciones en escala ordinal, mediciones en escala de intervalo o mediciones en escala de proporción. Además, la Geografía como ciencia espacial, hace énfasis en el estudio de las relaciones geográficas, es decir, de la forma en que un fenómeno varía en el espacio respecto a otro.

Los SIG se han transformado en una herramienta tecnológica, conceptual y metodológica indispensable porque es la principal herramienta de análisis espacial en escala geográfica. Equivalente al microscopio para ver el espacio infinitamente pequeño y el telescopio para ver el espacio infinitamente grande (De Rosnay, 1977; Buzai, 1999). No es adecuado considerar al SIG sólo como una herramienta tecnológica para el

análisis de problemáticas socioespaciales, sino que se hace necesaria la combinación de aspectos teóricos y metodológicos desarrollados en el marco teórico de la Geografía.

Existen diferentes definiciones de SIG, en todas se destaca la información de tipo espacial, ya que esto es lo que diferencia al SIG de otros sistemas de información. La posibilidad de manejo de datos espaciales es fundamental para las aplicaciones SIG, con características de localización (x , y , z).

Se puede considerar a un SIG como *“un conjunto de programas, equipamientos, metodologías, datos y personas, perfectamente integrados, de manera que hace posible la recolección de datos, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos georreferenciados, así como la información derivada de su aplicación”* (Teixeira et al., 1995:24).

Los SIG permiten una focalización estrictamente espacial y de esta forma hacen operativo, teórica y metodológicamente, los cinco conceptos fundamentales de naturaleza espacial que se mencionaron precedentemente. Esto significa que cuando es utilizado un SIG, las aplicaciones estarán apoyadas siempre en diferentes combinaciones de estos conceptos, dependiendo del tipo de análisis que se esté realizando. Los SIG y el análisis espacial entran en contacto en la matriz de datos espaciales.

De forma breve, es importante mencionar que existen dos estructuras fundamentales para representar el espacio geográfico en los SIG: el modelo raster y el modelo vectorial. En esta investigación se utilizan ambos modelos.

En el modelo raster el espacio geográfico está representado por un conjunto de unidades espaciales llamadas celdas o píxeles, está definido por una cuadrícula en que se divide el área de estudio, en la cual cada una de las celdas (localización) es la unidad

mínima de representación espacial a través de la cual serán captados los elementos sobre la superficie terrestre. Es decir, los elementos del mundo real se representan por un conjunto de celdas adyacentes pero en realidad no mantienen relaciones de topología explícitas. El modelo raster tiene mayor aptitud para la representación y estudio de aspectos físicos-naturales, el vectorial tiene mayor aptitud en el campo de la Geografía Humana. Los fenómenos humanos son fácilmente asimilables a pautas geométricas y estas representaciones generan diseños más reales del espacio geográfico.

En cambio, el modelo de representación vectorial, actúa representando el espacio geográfico de manera continua y se basa en las entidades características de todo diseño cartográfico, el punto, la línea y el área. Las bases de datos alfanuméricas o tabla de atributos asociadas a estas entidades geográficas son bases puntuales, lineales y areales o poligonales. Las consultas se harán entonces en dos sentidos: desde la base de datos alfanuméricas hacia la cartografía o a la inversa en lo que se denominan consultas espaciales. El modelo vectorial realiza una separación entre las bases de datos gráficas y alfanuméricas. Las primeras representan la cartografía digital y las segundas son tablas de atributos (matrices de datos espaciales) asignados a ellas.

Como se ha presentado, ambos modelos tienen características propias que los definen y diferencian. Esto no determina que uno sea mejor que el otro, sino que depende el objetivo de la investigación, uno de los dos presentará mejores aptitudes para llevarlo a cabo, o incluso podrían complementarse.

En la actualidad los SIG constituyen una herramienta para el análisis de datos espaciales con el fin de atender las preocupaciones de la sociedad y se hallan en manos de cientos de miles de usuarios, pero muchas de estas personas no han tenido una incursión al análisis teórico en el que se encuentra el análisis de datos espaciales o

análisis geográfico. Como resultado, es fácil encontrar ejemplos de utilizaciones e interpretaciones desacertadas y casos de conflictos entre el empleo de los SIG y los principios de la ciencia geográfica. De aquí la importancia del geógrafo profesional a la hora de resolver problemas de índole espacial con el grado de científicidad que requiere.

2.4. Geografía Aplicada y ordenamiento territorial

Desde un punto de vista operativo podemos definir a la Geografía como una ciencia de la *organización del territorio* y, en este sentido, ya es posible vincularla directamente a la práctica de ordenamiento territorial, llevada a cabo principalmente por organismos de planificación, y cuyo objetivo es mejorar la justicia socioespacial de la población. Philpponneau (2001) en su libro “*Geografía Aplicada*” expresa que ya en la década de 1970 los geógrafos encuentran en el ordenamiento territorial un ámbito de aplicaciones muy amplio. Dos referentes del campo del ordenamiento territorial a nivel iberoamericano, lo definen como:

Función pública que responde a la necesidad de controlar el crecimiento espontáneo de las actividades humanas y los problemas y desequilibrios que este crecimiento provoca, en la búsqueda de una justicia “socioespacial” y una calidad de vida que trascienda el mero crecimiento económico. (*Gómez Orea, 1994:4*)

Un proceso y un instrumento de planificación, de carácter técnico-político-administrativo, con el que se pretende configurar, a largo plazo una organización

del uso y ocupación del territorio, acorde con la potencialidades y limitaciones del mismo, las expectativas y aspiraciones de la población y los objetivos de desarrollo. (*Massiris, 2005:15*).

Al interior del ordenamiento territorial es posible identificar dos componentes. Un *componente científico*, vinculado al uso y generación de conocimientos, herramientas y metodologías para el análisis territorial. Y un *componente profesional* que se materializa en las normativas legales, con una serie de prácticas orientadas a estructurar el espacio geográfico y que se vincula principalmente a directrices políticas, (Tapiador, 2001). La Geografía, como ciencia pura y aplicada, tiene un papel importante en el primer componente, con base tecnológica-científica, al brindar soporte teórico y metodológico, y puede apoyar conceptualmente al segundo componente, con base ejecutiva (Buzai y Baxendale, 2013).

Además, se pueden definir dos etapas complementarias e interactivas dentro del ordenamiento territorial: la planificación territorial y la gestión territorial (Gómez Orea, 2008). La primera corresponde al análisis e interpretación del sistema territorial desde un punto de vista histórico, actual y sus tendencias si no hubiera ninguna intervención (diagnóstico) y además incluye referencia fundamentalmente a la instancia de prospectiva territorial, lo que implica plantearse un modelo de sistema territorial futuro y una serie de medidas, que pueden ser de regulación, intervención o gestión, tendientes a alcanzar ese modelo (propuestas). La segunda se vincula al conjunto de decisiones y acciones que se llevan a cabo para poder aplicar las medidas que conducirán al sistema territorial deseado (implementación y seguimiento).

Buzai y Baxendale (2013) destacan que en la vinculación entre el ordenamiento territorial y la Geografía, la intervención fundamental se da principalmente en la etapa de planificación territorial, específicamente en la instancia del diagnóstico donde se realiza el análisis del sistema territorial, y en la instancia de las propuestas, que apunta a la búsqueda de escenarios alternativos con el objetivo de apoyar la toma de decisiones espaciales y lograr una mayor eficiencia espacial.

La etapa del diagnóstico territorial encuentra sustento científico en la Geografía ya que se basa en la utilización de procedimientos propios del Análisis Espacial tendientes a conocer, analizar e interpretar la estructura del espacio geográfico actual, su evolución histórica y sus tendencias futuras, esto último es posible a través de la simulación o del modelado espacial. Dentro de esta etapa los SIG adquieren una gran relevancia para la conformación de inventarios del componente físico-natural y el componente humano, y también amplias posibilidades de tratamiento en el análisis de localizaciones, distribuciones, asociaciones, interacciones y evoluciones espaciales, en su avance hacia la formulación de propuestas.

Considerando la totalidad del proceso de ordenamiento territorial, Gudiño (2009) resalta la importancia de la incorporación de los SIG en todo el proceso, incluso para la etapa de gestión, ya que según la autora, permiten analizar el sistema territorial y dar respuesta a:

- Qué se tiene, en relación al inventario de recursos naturales y humanos.
- Dónde se encuentran, es decir, considerar la distribución espacial de los diferentes recursos.
- Cuánto significan, lo que implica una forma de medición o evaluación.
- Cuáles son los procesos físico-naturales y socioeconómicos que influyen en el sistema.

Facilitando el monitoreo de cambios vinculados a la población, usos del suelo y condiciones ambientales, la construcción de escenarios futuros y, de esta forma, las evaluaciones de alternativas posibles y el diseño de políticas que contribuyan a un desarrollo sostenible.

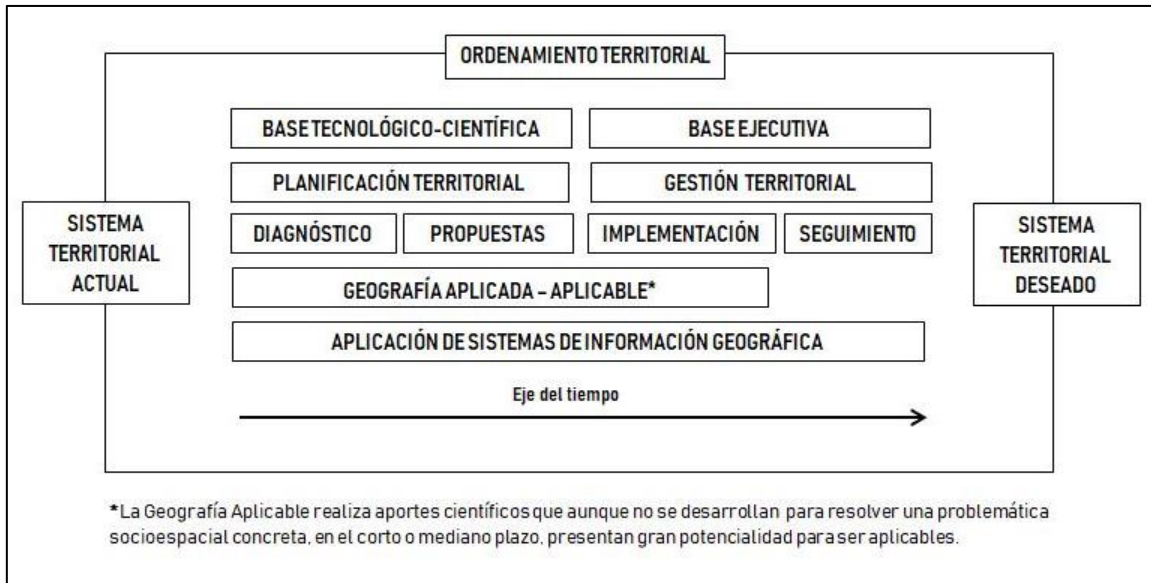


Figura 2.3. Componentes del ordenamiento territorial, fases de trabajo y ubicación de la Geografía Aplicada-Aplicada

Fuente: Buzai y Baxendale 2012: 23 (*adaptación y ampliación*)

Tapiador (2001) manifiesta la importancia de los geógrafos en los procesos de ordenamiento territorial, en lo que respecta a la definición y análisis de metodologías y técnicas apropiadas, la integración y coordinación de los diferentes estudios particulares en la dimensión espacial y en el análisis espacial con SIG.

Los avances tecnológicos de los últimos años han permitido lograr una mejora muy importante lo que respecta a la generación y tratamiento de la información geográfica y mayor exactitud en la representación y resultados obtenidos en el marco de la TIG. La mayor disponibilidad de datos, la posibilidad creciente de actualización de

los mismos en el entorno SIG es lo que permite su utilización a lo largo de todo el proceso de ordenamiento ya que es posible monitorear el sistema territorial en tiempo real.

En el marco del ordenamiento territorial y su vinculación con la Geografía, es importante considerar las *acciones territoriales* que Sili (2018) define como diferentes iniciativas que son capaces de organizar y transformar un territorio, y que pueden ser planificadas, pautadas y organizadas por una sociedad, por diferentes grupos sociales o por individuos, donde se incluyen las acciones cotidianas. Sobre todo en la escala local, como se aborda en este trabajo de investigación, no debemos dejar de tener presentes estas acciones concretas sobre el territorio.

Desde el punto de vista tecnológico-científico para poder describir y analizar qué efectos producen estas acciones en el sistema territorial y desde el punto de vista propositivo para evaluar qué efectos pueden tener las mismas, pensando en el desarrollo territorial³ local, como un escenario deseado de futuro con capacidad de para mejorar la calidad de vida de la población (Sili, 2018).

³ El concepto de *desarrollo territorial*, muy utilizado en la actualidad tanto en el ámbito de las políticas públicas o como categoría de análisis en el ámbito académico, tiene el objetivo de superar el determinismo economicista (asociado al concepto de *desarrollo económico*) y potenciar las capacidades de gestión territorial en las escalas locales, considerando de forma integral la competitividad económica, el bienestar social, la sostenibilidad ambiental, la identidad cultural, la gobernabilidad y participación y el ordenamiento territorial (Cabrales Barajas, 2006).

CAPÍTULO III

EL ANÁLISIS DEL RIESGO EN GEOGRAFÍA

“Desde un punto de vista geográfico, riesgo es la situación concreta en el tiempo de un determinado grupo humano frente a las condiciones de su medio, en cuanto este grupo es capaz de aprovecharlas para su supervivencia, o incapaz de dominarlas a partir de determinados umbrales de variación de estas condiciones.”

Francisco Calvo García-Tornel, 1984:3.

En el ámbito geográfico existe una gran diversidad de abordajes en la temática de riesgos. En varios trabajos se realiza un análisis histórico sobre la evolución de diferentes enfoques (Pérles Roselló, 2004; Martínez Rubiano, 2009; Bocco y Urquijo, 2013), principalmente desde inicios del siglo XX.

Hay aproximaciones con énfasis en conocimientos técnicos relacionados a la dinámica de diferentes eventos geofísicos, con un apoyo importante de disciplinas como la Climatología, Geomorfología, Hidrología, adoptando una mirada naturalista y, en ocasiones reduccionista, que contribuyen a caracterizar amenazas; otras aproximaciones se centran en aspectos sociales, incorporando el análisis de la vulnerabilidad con sus múltiples dimensiones y considerando los significados e identidades de los lugares, con especial importancia en aspectos subjetivos del riesgo a nivel individual o grupal. Se basan en teorías sociológicas del riesgo (Beck; 1986, Giddens; 1991) que lo consideran una construcción social; y finalmente otros aportes incorporan un abordaje sistémico

buscando la comprensión y explicación de las temáticas de riesgos a nivel espacial a partir de un análisis que integre el sistema físico-natural y el sistema humano, como parte de una realidad compleja y donde el análisis espacial con SIG presenta gran potencialidad de aplicación.

Los estudios sobre riesgos han estado generalmente enfocados en el análisis de los peligros o amenazas, principalmente de origen natural. La incorporación de la vulnerabilidad como parte componente del riesgo es más reciente.

En este capítulo se explicita el concepto de riesgo y sus componentes, se realiza un recorrido sobre los principales enfoques de riesgo poniendo énfasis en el primer aporte al estudio de riesgos desde la Geografía en el marco de la llamada Escuela de Ecología Humana de la Universidad de Chicago. Finalmente, se hace referencia a la potencialidad de la utilización del análisis espacial con SIG para el abordaje de esta temática.

3.1. El riesgo y sus componentes

A pesar de ser una temática de mucha trayectoria en Geografía, no existe aún un consenso respecto a la definición de riesgos. Entre los aspectos que se tienen en cuenta para definir y analizar los riesgos están el peligro o la amenaza, la vulnerabilidad, la exposición, la capacidad de respuesta o resiliencia, la prevención, la mitigación, entre otros⁴. Dentro de las diferentes líneas de análisis todas coinciden en considerar dos de

⁴ La tesis doctoral del geógrafo español Mauricio Ruiz Pérez titulada “Vulnerabilidad territorial y evaluación de daños postcatástrofe. Una aproximación desde la geografía del riesgo” realiza un análisis pormenorizado de las diferentes definiciones de riesgo desde la Geografía, a lo largo del tiempo (Ruiz Pérez, 2011).

los aspectos mencionados anteriormente como partes indisolubles del riesgo: la amenaza y la vulnerabilidad.

Por un lado, se considera la amenaza a la que se expone la población a partir de la ocurrencia o peligro de ocurrencia de algún acontecimiento de tipo natural o antropogénico. Es decir, se realiza un análisis donde se especifica qué tipo de amenaza está presente y, principalmente, dónde se encuentra. Y, por otro lado se considera la vulnerabilidad, que al igual que con el concepto de riesgo, existen diferentes acepciones. Se la puede considerar en términos de la capacidad de la sociedad para adaptarse a los cambios del ambiente, desde un punto de vista sistémico (Wilches-Chaux, 1993; Blaikie et al., 2002), también como la predisposición de un individuo o grupo social a sufrir daños (Herzer, 1990, Cardona, 1993, Lavell, 1996) o como un conjunto de condiciones de diversa índole que preceden a una amenaza de origen natural o antropogénica y determinan los impactos a sufrir (Blaikie et al., 2002; CELADE, 2002). En todos los casos se considera que las características principalmente sociales y económicas de la sociedad pueden magnificar o minimizar el impacto de fenómenos amenazantes. Aun cuando existe gran cantidad de bibliografía con aspectos teóricos y aplicaciones sobre la temática, no existe un procedimiento universal para el estudio de la vulnerabilidad, debido a la naturaleza polisémica del concepto (CELADE, 2002). En este trabajo, siguiendo la primera línea mencionada, se define la vulnerabilidad como la capacidad que tiene la población para enfrentar la ocurrencia o probabilidad de ocurrencia de algún peligro, y que se vincula con características propias que posee la población en un determinado lugar y que pueden ser modificables a partir de mejoras en la calidad de vida.

Desde un punto de vista amplio Wilches-Chaux (1993) definió la vulnerabilidad global, compuesta por gran cantidad de dimensiones que la constituyen y que se pueden analizar de forma sistémica: 1) dimensión natural, vinculada a los límites ambientales; 2) dimensión física, con respecto a la localización de la población en zonas de riesgo físico; 3) dimensión económica, en relación a los sectores económicamente más desfavorecidos; 4) dimensión social, vinculada a la organización y cohesión interna de la sociedad; 5) dimensión política, vinculado a la toma de decisiones y la organización gubernamental; 6) dimensión técnica, respecto a la utilización o existencia de técnicas y tecnología adecuadas; 7) dimensión ideológica, vinculada a la concepción que tienen las personas del mundo y del ambiente con el que interactúan 8) dimensión cultural, relacionada con la forma en que las personas se ven a sí mismas, en la sociedad y como un conjunto nacional, y también el papel que juegan los medios de comunicación; 9) dimensión educativa, vinculada al grado de preparación de la sociedad; 10) dimensión ecológica, con énfasis en las consecuencias de la alteración de los ecosistemas; e 11) dimensión institucional, vinculada a la obsolescencia y rigidez de las instituciones.

Ambos componentes del riesgo, tienen una correspondencia espacial que la Geografía, como ciencia analítica y de síntesis, junto a la focalización espacial que brindan los SIG, aborda a partir de un enfoque sistémico que los permita integrar.

White (1974) definió al riesgo como resultado de multiplicar el peligro por la vulnerabilidad. De este modo, se pone énfasis en la vulnerabilidad como el factor de mayor peso en la definición de riesgo:

$$\text{Riesgo} = \text{peligro} * \text{vulnerabilidad}$$

Esta definición contempla que ante un mismo escenario de amenaza, el riesgo será mayor para aquellas personas y/o lugares que presenten una vulnerabilidad más alta.

En 1979, la Organización de las Naciones Unidas para el Socorro en caso de Desastres (UNDRO, por sus siglas inglés) junto con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) realizaron un encuentro de especialistas donde debatieron en torno al concepto de riesgo y definieron que para su abordaje debía considerar el peligro, la vulnerabilidad y la exposición del áreas, según la siguiente formulación (UNDRO, 1979):

$$\text{Riesgo} = \text{peligro} * \text{vulnerabilidad} * \text{exposición}$$

Unos años después, Cardona (1993) propuso eliminar la variable de exposición al considerarla una redundancia, ya que no se es vulnerable si no se está expuesto. Por lo tanto, se vuelve a considerar la formulación original de White (1974), que al día de hoy es la más aceptada en la comunidad científica. De esta forma, desde la Geografía es posible realizar aportes que permitan evidenciar situaciones de vulnerabilidad y de esta forma ayudar en la toma de decisiones espaciales, con el fin de mejorar la calidad de vida de la población, propiciando una mayor justicia espacial. Esta definición, aún vigente, es a la que adhiere este trabajo.

3.2. Enfoques geográficos en los estudios de riesgos

Los primeros estudios sobre riesgos en Geografía se realizaron en el marco de la llamada Escuela de Ecología Humana de la Universidad de Chicago. Si bien los orígenes de esta Escuela son del ámbito de la Sociología, tuvieron influencia en diferentes áreas del conocimiento, y desde el Departamento de Geografía de la Universidad de Chicago a través de Harlan Barrows en la década del 1920 se introdujo la idea de “Geografía como Ecología Humana”, haciendo énfasis en investigaciones que analizaban las relaciones entre los seres humanos y su entorno natural, desde un punto de vista ecológico. Esta idea fue continuada, a partir de los años 40, por su discípulo, el geógrafo Gilbert White, y sus colegas Robert Kates y Ian Burton, quienes incursionaron en estudios de riesgos de desastres, incorporando en el análisis la respuesta de las personas en relación a su entorno y la incertidumbre vinculada a la difícil previsión de los eventos naturales. Es importante remarcar los aportes de White ya que se lo considera el precursor del análisis de riesgos y desastres en Geografía (Martínez Rubiano, 2009).

Un trabajo pionero sobre riesgos en Geografía fue realizado por White (1945) respecto a la problemática de inundaciones en Estados Unidos, vinculadas a la ocupación de llanuras inundables de los ríos por parte de los asentamientos humanos. El autor asocia la problemática a las directrices políticas-administrativas del momento, que consideraban que éste era simplemente un problema de ingeniería, que podía resolverse con la aplicación de tecnología, como la construcción de diques o presas que regularan los caudales de los ríos. La confianza obtenida a partir de las obras de infraestructuras propició que una gran cantidad de personas se establecieran en áreas inundables, que antes se consideraban peligrosas, y contrariamente a lo esperado, la problemática no

sólo persistió sino que se agravó. A raíz de esto, White comienza a cuestionar la forma de abordaje simplista de las inundaciones sólo como un problema tecnológico, planteando que la gestión de áreas inundables tenía que ser analizada como un sistema complejo, donde debía ponerse atención en la relación entre el componente humano y el componente físico-natural. Este aporte fue precursor para la apertura de un nuevo campo de estudio, la Geografía de los riesgos (Murphy, 2018). Desde sus inicios, los estudios de riesgos en Geografía, en el ámbito anglosajón, estuvieron vinculados a la planificación territorial con un enfoque claramente aplicado de la disciplina.

Desde finales de la década de 1940, pero principalmente desde la década de 1950, los estudios geográficos empíricos sobre riesgos han ido aumentando, los numerosos aportes de White, Kates y Burton (White, 1945, 1958, 1960 y 1975; Kates y White, 1961; White, Kates y Burton, 1968 y 1978) propiciaron la expansión de este campo de estudio en Geografía. A partir de estos trabajos se comenzó a pensar en cómo las personas se enfrentan al riesgo y la incertidumbre respecto a los acontecimientos peligrosos, entonces se empieza a hablar de la reducción de los riesgos sin restringirse solamente a la implementación de medidas estructurales sino considerando, además, la relación de la sociedad con su ambiente, teniendo en cuenta aspectos perceptivos y los cambios en el comportamiento humano, estos últimos pudiendo ser propiciados y regulados por normas o leyes, o procesos educativos. Kates (1962, 1963, 1967, 1970, 2007) ha realizado una gran cantidad de aportes vinculados a la percepción de las amenazas, donde plantea que las diferentes formas de enfrentar los riesgos está condicionado por cómo la población percibe o racionaliza una amenaza. Este enfoque de los riesgos en los estudios geográficos se encuentra vinculado a la corriente de pensamiento de la Geografía de la Percepción, para su estudio se implementan

diferentes herramientas metodológicas, como los mapas mentales y, más recientemente, la cartografía social y colaborativa (Martínez, 2009).

En la década de 1970, desde la Geografía Radical se realiza una revisión crítica del enfoque predominante en los estudios de riesgos, se buscan marcos explicativos más amplios, basados en una teoría social, con apoyo en otras disciplinas como Sociología, Historia y Antropología, que explique las desigualdades frente a los desastres. Es así, que los estudios sobre riesgos en Geografía comienzan a orientarse hacia el análisis de la vulnerabilidad, enfatizando más en el estudio del componente social y en medidas preventivas, en vez de paliativas con una declarada vocación aplicada que resulta mucho menos clara que la de los geógrafos vinculados a la Escuela de Chicago (Roselló, 2004).

A partir de la década de 1990 los estudios de riesgos cobran un lugar importante a nivel mundial. La ONU declara el decenio 1990-1999 como el “Decenio Internacional para la Reducción de Riesgos de Desastres Naturales”, enfocado principalmente en mejorar la planificación, preparación y prevención ante desastres en los países menos desarrollados. Desde entonces ha habido un gran desarrollo teórico y práctico de estudios sobre riesgos en Geografía. Aunque es evidente la necesidad de un enfoque integral de los riesgos, como plantean varios autores (Wilches-Chaux, 1993; Blaikie et al., 2002 Cardona, 1993, Lavell, 1996) aún hoy existe una gran diversidad de abordajes en la Geografía y demás campos de conocimiento.

Martínez (2009) remarca la importancia que ha tenido el enfoque de sistemas en estudios teóricos y aplicados en Geografía, que buscan construir un marco teórico integral para el análisis de los riesgos, las amenazas y la vulnerabilidad.

Una de las bases metodológicas más importantes de la geografía para el estudio de los riesgos ambientales es la Teoría General de Sistemas, planteada por Bertalanffy en 1976, para explicar los fenómenos terrestres. [...] Los riesgos ambientales están compuestos por un conjunto de subsistemas como la estructura geológica, las formas e inclinación del terreno, la estructura de la red hídrica, las formaciones de materiales en superficie, la organización de la vegetación y, lo definitivo, la ocupación realizada por los grupos humanos. Estos sistemas están caracterizados por atributos, variables o propiedades, en función de su relación con factores de diverso orden natural y antrópico. (*Perselló, 2009: 258-259.*)

La Geografía Aplicada adquiere, desde este enfoque, una relevancia especial considerando que su objetivo principal es generar conocimientos útiles para la resolución de problemáticas espaciales. Sumado a la fuerte vinculación que tiene esta perspectiva con la práctica del ordenamiento territorial la posiciona favorablemente en los estudios de riesgos.

3.3. El riesgo vinculado a inundaciones urbanas

Argentina es uno de los países de Latinoamérica donde el proceso de urbanización se dio de forma temprana y acelerada (Velázquez, 2008). Según datos del último Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2010, la población argentina se asienta principalmente en áreas urbanas siendo uno de los países más urbanizados del mundo (91%), superando la media de Europa y Estados Unidos

(Linares, Di Nuccci y Velázquez, 2016). El aumento acelerado de la urbanización propició el surgimiento de diferentes problemáticas socioespaciales vinculadas principalmente a la falta de planificación. Entre estas aparece el tema de las inundaciones urbanas por alteración de las dinámicas de cuencas hidrográficas⁵ y deficiencias en los sistemas de drenaje urbano, situación que se agrava aún más si se trata de ciudades que ya se encuentran emplazadas en áreas con amenazas de origen natural vinculadas a las inundaciones, como zonas costeras o ribereñas. Tal es el caso de Luján, ciudad objeto de estudio de esta investigación cuyo origen histórico y expansión se da a orillas del río Luján, típico río de llanura con un amplio valle de inundación que cada vez está más habitado generando recurrentes inundaciones urbanas.

Resulta importante destacar que se encuentran asociados dos conceptos centrales en el estudio: inundación y anegamiento. Ferrando Acuña (2006) define inundación como una masa de agua que sale de su cauce temporalmente y provoca un desequilibrio entre el volumen hídrico a evacuar y la capacidad de evacuación de los sistemas de drenaje. A diferencia del anegamiento, que lo asocia a la acumulación temporal de aguas lluvias en una determinada porción de territorio. Cuando conjugan ambos (situación bastante frecuente en áreas de llanura), el impacto y las consecuencias socioeconómicas son más significativas.

La recurrencia de inundaciones y/o anegamientos en áreas urbanas responde a diferentes factores de origen natural como la topografía del terreno, el régimen de precipitaciones, la presencia de suelos con baja permeabilidad, entre otros; y/o factores antrópogenicos vinculados a la pérdida de capacidad para captar y almacenar agua de lluvia, aumento de la superficie construida (viviendas, vías de comunicación, etc.,) lo

⁵ Una cuenca hidrográfica está definida por la superficie ocupada por un sistema de drenaje cuyos límites son las divisorias de aguas (Strahler, 1989).

que se traduce en una pérdida de permeabilidad o infiltración del agua, apertura de canales que drenan el agua de forma más rápida al cauce principal, etc.

Es claro que ante un período de precipitaciones intensas el nivel de un curso de agua se incrementa y puede ocasionar inundaciones. Aunque estas últimas también se pueden dar por crecidas naturales del río, principalmente en períodos húmedos. Strahler (1989) expresa que no es sencillo definir “crecida” pero que básicamente este fenómeno existe cuando la carga o caudal que lleva un río no puede acomodarse en los márgenes de su cauce normal y entonces se desborda sobre las áreas adyacentes. Por su parte, cuando se trata de ríos de llanura en climas húmedos, como el caso del río Luján, estos tienen un extenso valle de inundación natural, es decir, una franja de tierras bajas y llanas en ambos márgenes que son inundados de forma recurrente ante las crecidas o precipitaciones abundantes. Estos procesos que se dan de forma natural en las cuencas hidrográficas formadas por ríos de llanura se complejizan cuando se trata de áreas con asentamientos poblacionales cada vez más extensos.

Respecto específicamente al tema de las inundaciones en las áreas urbanas, Strahler (1989) hace referencia a dos formas de alteración de las dinámicas de las cuencas hidrográficas vinculados al proceso de urbanización. Por un lado, el aumento de la superficie impermeable a la filtración debido a las diferentes construcciones propias del espacio urbano como las viviendas, veredas, asfalto, etc. A medida que aumenta la proporción de superficie construida se reduce la infiltración y aumenta el agua de escorrentía, es decir, el agua que no logra infiltrarse comienza a circular de forma superficial. Esto a su vez aumenta de forma más acelerada la altura del nivel de agua, ya que toda esa agua llega directa y rápidamente al cauce. Por otro lado, se menciona el tema del alcantarillado urbano que permite que el agua circule de forma subterránea y

desagüe en un canal, afluente o cauce principal. Esto por supuesto acorta el tiempo de escorrentía hasta que a su vez incluye una cantidad de agua mayor debido al proceso de impermeabilización antes mencionado. Otra cuestión a resaltar es la expansión de la población hacia áreas suburbanas o de transición entre lo urbano y lo rural, proceso que se da en la ciudad bajo estudio, en zonas que muchas veces no cuentan con servicios urbanos básicos y que presentan una topografía no apta para el desarrollo urbano. Cuando la densidad de construcción es baja, la situación es manejable pero a medida que esas áreas se empiezan a densificar empiezan a surgir problemas que están directamente asociados a los cambios en los usos del suelo. La limitada planificación territorial e inversión en obras de infraestructura necesarias, se traducen en nuevas áreas urbanizadas expuestas a peligros de inundación por cercanía a cursos de agua o por problemas en el drenaje. Esto, afecta no sólo el nuevo lugar urbanizado sino que puede generar nuevos problemas adicionales aguas abajo, siendo que el funcionamiento de una cuenca hidrográfica es sistémico.

3.4. Sistemas de Información Geográfica y riesgos

Los avances de las TIG, la mayor precisión de los datos georreferenciados y la capacidad de análisis e integración de información geográfica de los SIG a partir del análisis espacial lo posicionan como una herramienta conceptual y metodológica fundamental en análisis de riesgos desde el enfoque sistémico.

Al momento de analizar la complejidad de temáticas de riesgos, los conceptos centrales del análisis geográfico que son los de localización, distribución, asociación, interacción y evolución espacial (Buzai, 2010) y sus combinaciones, integrados en un

SIG, permiten analizar de forma sistémica diferentes características del riesgo. La posibilidad de realizar modelado cartográfico a través de los SIG utilizando diferentes capas temáticas que representan aspectos centrales en el análisis del riesgo es un avance significativo, ya que permite considerar el riesgo desde una perspectiva actual pero también desde una perspectiva prospectiva al permitir la modelización y la simulación de diferentes variables que influyen en el riesgo, tanto desde el componente humano como el físico-natural.

El enfoque sistémico en el análisis de riesgos se convierte en necesario para integrar diversas variables físicas y sociales en permanente interrelación, y de alguna forma esto obliga a romper con las posturas mono-paradigmáticas en pos de realizar un análisis integral que permita abordar este tipo de temáticas complejas.

Desde la perspectiva de la Geografía Cuantitativa, y su avance hacia la denominada Geografía Automatizada (Dobson, 1983) que se vinculó a los adelantos tecnológicos de la computación que se incorporaron a la Geografía, entre ellos los SIG, y que más tarde dio lugar a lo que Buzai denominó Geografía Global (Buzai, 1999) se habla de un paradigma geotecnológico que permite analizar la realidad como sistema complejo. Es aquí donde se encuentra el sustento teórico del análisis de riesgos desde el enfoque planteado en esta investigación, resaltando el carácter aplicado de la Geografía.

Si bien las bases del SIG se encuentran en el racionalismo y el cuantitativismo (Buzai, 2007), los problemas de la realidad como totalidad compleja no pueden ser solamente abordados por éstos, ni por cualquier otro paradigma de forma individual, sino que se debe dar un paso más hacia enfoques multiparadigmáticos para dar explicaciones a diferentes escalas de la realidad. Esto se posiciona como el gran desafío de los geógrafos en la actualidad.

En los apartados anteriores se mencionó la importancia de la Geografía en el marco del ordenamiento territorial como ciencia que brinda apoyo teórico y metodológico. En este sentido, las ventajas de la utilización del SIG para la toma de decisiones espaciales vinculadas al riesgo radican en el uso eficiente y confiable de datos geoespaciales. Estos, permiten realizar múltiples análisis de diferentes niveles de complejidad, utilizando una gran cantidad de variables y pudiendo generar escenarios alternativos para un mismo contexto socioespacial, buscando alternativas de solución a problemáticas de índole espacial a partir de analizar diferentes soluciones.

En el caso específico de riesgo a inundaciones los SIG permiten definir, analizar y modelizar los componentes del riesgo, la amenaza y la vulnerabilidad, a partir de teorías y metodologías geográficas de diferentes grados de complejidad, para luego integrarlas a nivel cartográfico en el marco del análisis espacial. Por ejemplo, las técnicas de Evaluación Multicriterio o los análisis multivariados permiten caracterizar la multidimensionalidad de la vulnerabilidad de la población, mientras que las modelizaciones de eventos de inundación, a partir de métodos geomorfológicos o hidrológicos-hidráulicos integrados en los SIG, permiten generar diferentes escenarios de riesgo según magnitud del evento.

Los mapas de riesgo a inundaciones son una herramienta importante para la toma de decisiones espaciales, ya que permiten analizar las distribuciones y asociaciones de las áreas de amenaza y los niveles de vulnerabilidad. De esta forma, se puede conocer el nivel potencial de afectación ante el evento de inundación e identificar áreas prioritarias de planificación con altos niveles de riesgo, como apoyo científico-técnico para direccionar las medias de gestión de riesgo en la etapa de prevención y/o mitigación.

PARTE II

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

“La utilización de métodos de análisis espacial tiene el doble propósito de apuntalar los conceptos teóricos que se encuentran en el núcleo de la Geografía como ciencia y brindar capacidad concreta para la construcción de conocimientos que permiten comprender la realidad socioespacial.”

Gustavo Buzai, 2017:7.

La presente investigación se enmarca dentro de la línea del análisis espacial con SIG para la determinación de áreas de vulnerabilidad socioeconómica, amenaza de inundaciones y, consecuentemente, análisis del riesgo ante el evento de inundaciones en la ciudad de Luján, en el entorno del ordenamiento territorial, específicamente en la etapa del diagnóstico socioespacial y con un enfoque que permitirá analizar el contexto socioespacial de riesgo actual y su estimación futura.

En este capítulo se presenta el enfoque, alcance y diseño de la investigación, detallando diferentes aspectos metodológicos, que incluyen la obtención y sistematización de datos para la creación de una base de datos geográfica adecuada para trabajar con SIG, además se presentan las diferentes técnicas y metodologías utilizadas

para obtener los mapas de amenaza, de vulnerabilidad socioeconómica, riesgo y expansión urbana al 2030.

4.1. Enfoque y alcance de la investigación

El enfoque de la investigación se sustenta en la Geografía Cuantitativa como nivel epistemológico de focalización espacial que considera la construcción de conocimientos como sistema complejos. Se definió un problema de estudio concreto, se plantearon las hipótesis y preguntas de investigación correspondientes en la parte inicial del proceso de investigación. Desde este enfoque la recolección de datos incluye la medición de diferentes variables y su análisis se realiza a partir de métodos cuantitativos. La investigación cuantitativa busca la mayor objetividad (entendiendo que la objetividad absoluta no existe), para lograr diferentes niveles de generalización a partir de los resultados obtenidos y, de esta forma, poder no sólo describir sino correlacionar, explicar y predecir el fenómeno bajo estudio a partir de la generación de conocimiento científico riguroso, válido y confiable. Por esto, el enfoque cuantitativo utiliza principalmente la lógica o razonamiento deductivo que consiste en partir de la realidad, para luego pasar a la revisión de las teorías y modelos, plantear las hipótesis, para luego definir y medir los hechos, a partir del diseño y construcción de la base de datos geográfica, desde la que se generarán resultados que permitirán verificar o falsar las hipótesis y, finalmente, llegar a los aportes teóricos ligados a la base empírica.

A partir del alcance y propósito de la investigación, siguiendo la clasificación de Hernández Sampieri, *et. al* (2010) se estableció que el alcance de la investigación es descriptivo-correlacional (Figura 4.1).

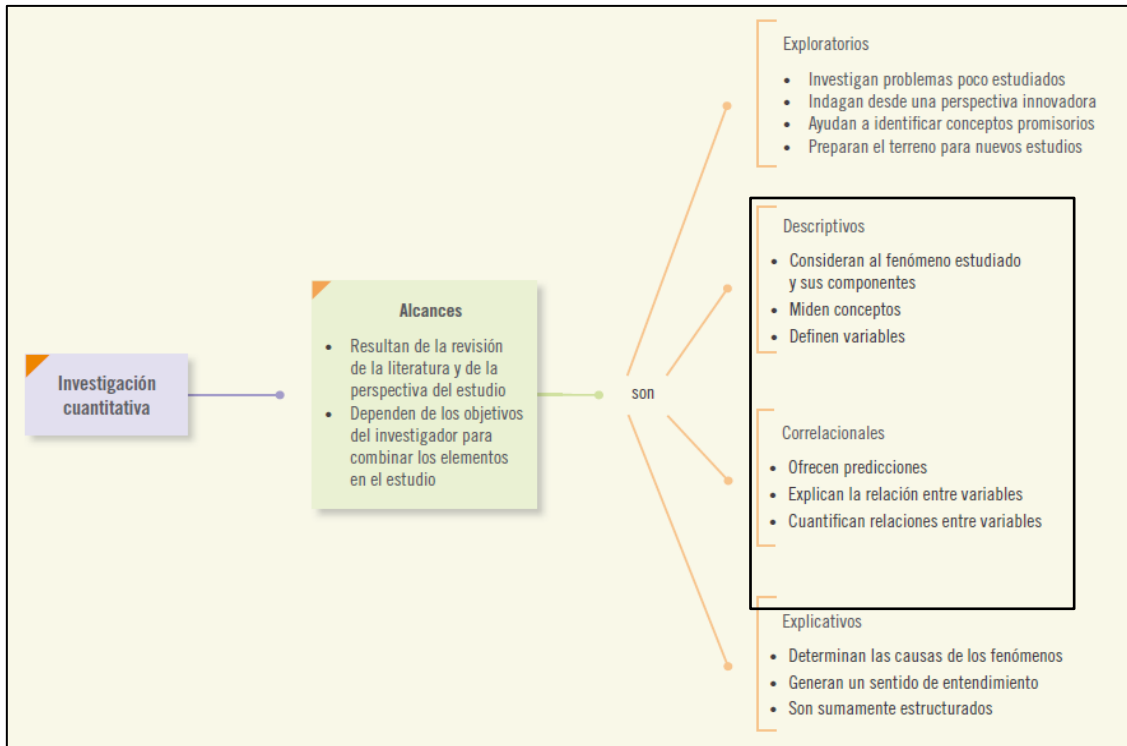


Figura 4.1. Alcances de la investigación cuantitativa

Fuente: Hernández Sampieri, *et. al* (2010:77)

Los estudios descriptivos son útiles para mostrar las diferentes dimensiones del objeto de estudio, teniendo claro qué es lo que se va a medir y sobre qué unidad de análisis se recolectará información. Es decir, sirven para analizar cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno y sus componentes. En este tipo de investigación se valoriza el conocimiento empírico, a partir de técnicas de observación y medición, siendo posible aplicar procesos inductivos para la generación de conocimiento. Por su parte, los estudios de alcance correlacional pretenden determinar cómo se relacionan o vinculan dos a más variables o características del objeto de estudio. Este tipo de investigación es la indicada para el análisis de problemas complejos donde es importante relacionar gran cantidad de variables pero no es posible el control experimental. Según indican Hernández Sampieri, *et. al*, los estudios correlacionales tienen como finalidad:

Conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio relaciones entre tres, cuatro o más variables. Los estudios correlacionales, al evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, miden cada una de ellas (presuntamente relacionadas) y, después, cuantifican y analizan la vinculación. Tales correlaciones se sustentan en hipótesis sometidas a prueba.”
(Hernández Sampieri, et. al, 2010:81)

La importancia de los estudios correlacionales radica en analizar la asociación de variables y conocer su intensidad, se obtienen bases para poder predecir, con diferentes niveles de exactitud, y de esta forma incorporar una visión prospectiva. Considerando la perspectiva racionalista, este tipo de investigación permite descubrir relaciones que no están manifiestas explícitamente sino que son subyacentes y que al descubrirlas permiten generar nuevos conocimiento a través de una camino deductivo. Bunge (1960) expresa que el conocimiento científico es predictivo, y que el mismo se funda en las leyes teóricas y conocimiento empírico, siendo importante la predicción para poner a prueba las hipótesis de una manera eficaz.

4.2. Diseño de la investigación

Para el diseño de la investigación se consideraron las diferentes fases⁶ que plantean Buzai, Baxendale y Cruz (2009) para proceso de investigación en Geografía Aplicada (Figura 4.2) y que se detallan a continuación.

⁶ Utilizan el término “fase” y no “etapa” siguiendo la consideración de Samaja (2005), quien expresa que el término fase proviene de una perspectiva organicista que, al contar con límites evolutivos difusos, tiene mayor correspondencia con la complejidad del proceso de investigación. Mientras que el término

4.2.1. Fase 1: Conceptual

Siguiendo la teoría de los sistemas complejos propuesta por García (2010) en la primera fase de la investigación se consideraron los supuestos ideológicos, sistemas de valores, creencias, aspiraciones e intereses desde donde se realiza el estudio, al tiempo que se reflexionó sobre la pertinencia del tema o problemática planteada y su encuadre dentro del pensamiento científico.

El *marco epistémico* se relaciona con la concepción del mundo o cosmovisión y en este sentido guía las acciones del investigador desde el inicio del proyecto, ya que la problemática a estudiar surge en esta instancia. La *base empírica* es el recorte espacial de la ciudad de Luján y los atributos que serán tenidos en cuenta sistematizados en la base de datos geográficos vectoriales y raster en SIG. Las *prácticas geográficas*, entendidas como tecnologías, radican en tratar unidades espaciales y atributos se basan, como ya se adelantó, en el análisis espacial cuantitativo con Sistemas de Información Geográfica, en el marco de la Geografía Aplicada con la finalidad de resolver problemas de carácter socioespacial.

4.2.2. Fase 2: Conceptual-metodológica

En esta fase se hace explícito el diseño de la investigación. La problemática planteada se ajusta con la finalidad de poder encuadrarse en el interior del pensamiento científico y es donde comienzan los interrogantes respecto a su correcto planteamiento ante la necesidad de su confrontación metodológica con la base empírica. Se avanza en los *antecedentes del tema* a partir de la revisión de diversas fuentes bibliográficas. En

etapa proviene de una perspectiva mecanicista que no es coherente con la concepción de sistema complejo presente en este tipo investigación.

esta instancia es posible, y probable, realizar ajustes en el marco teórico y metodológico de la investigación y es partir de esta fase que se demarca definitivamente la investigación, demostrando aquellos aspectos que no fueron tratados o el avance sobre diferentes temas, en definitiva, el análisis del estado de la cuestión permite determinar los alcances teóricos y metodológicos de la investigación. Se planteó la *hipótesis* que es considerada la guía de la investigación, manteniendo una estrecha relación con los objetivos.

4.2.3. Fase 3: Metodológica-técnica

Es donde se realiza la *definición de tareas y técnicas* que hacen operativas las metodologías elegidas para el desarrollo de la investigación. En esta instancia deben ser definidos los elementos a utilizar para medir y poder corroborar/refutar la hipótesis. El *procesamiento de los datos geográficos* está relacionado con el trabajo concreto que se hará con los datos obtenidos y sistematizados. En investigaciones basadas en el uso de SIG corresponde al uso del subsistema de *tratamiento*, el cual como *toolbox* (caja de herramientas) dispone de una serie de operaciones estandarizadas que permiten obtener diferentes resultados.

Es durante esta etapa que son explicados y aplicados los procedimientos de análisis espacial:

- Elaboración de cartografía temática de amenaza de inundaciones, vulnerabilidad socioeconómica y riesgos.
- Simulación del crecimiento urbano a partir de inteligencia artificial y autómatas celulares.

- Elaboración de cartografía temática de riesgo prospectivo mediante modelado cartográfico.

A partir de la aplicación de estos procedimientos se llega a la *obtención de resultados*, siendo esta última fase el resultado privilegiado de la Geografía Aplicada y de los SIG.

4.2.4. Fase 4: Validación

En esta etapa se avanza en el *análisis e interpretación de los resultados* a partir del marco teórico base de la investigación. En el caso de la Geografía Aplicada estos resultados corresponderán a *relaciones espaciales de los factores sociales y naturales*. Con la finalización del análisis se realiza la *Validación de las Hipótesis* y es posible determinar si los enunciados planteados se corroboran o se refutan. Verificar la veracidad o falsedad de hipótesis es uno de los logros de la investigación y, de esta manera, llegar a una verdad que se considera provisoria.

A partir de los aspectos obtenidos en los dos componentes previos se llega al *Modelo Explicativo de la Realidad*, instancia definida a por García (2006), y que puede definirse como proceso de sucesivas representaciones que busca llegar a un modelo que pueda explicar satisfactoriamente la base empírica de la cual se partió y con la cual fue construido el sistema como totalidad organizada, no solamente con la intención de describirlo, sino que se explicará la estructura y evolución de los principales procesos que dan cuenta de su función.

En este punto es importante remarcar que la Geografía no es solamente una *ciencia del presente* como lo establecen las posturas clásicas, sino que también es una *ciencia del pasado y del futuro* de acuerdo a la tradición sistémica y lo que posiciona al

geógrafo como un investigador-profesional importante para la realización de propuestas de ordenamiento territorial con un visión espacial prospectiva.

4.2.5. Fase 5: Transferencia

En esta fase se contempla la transferencia de resultados específicos a dos ámbitos: hacia la *investigación y docencia* y hacia la *planificación y gestión*. Se entiende como transferencia la divulgación de los resultados de la investigación a través de presentaciones y publicaciones tanto en el ámbito científico como en el de aplicación y gestión territorial para una llegada a la sociedad.

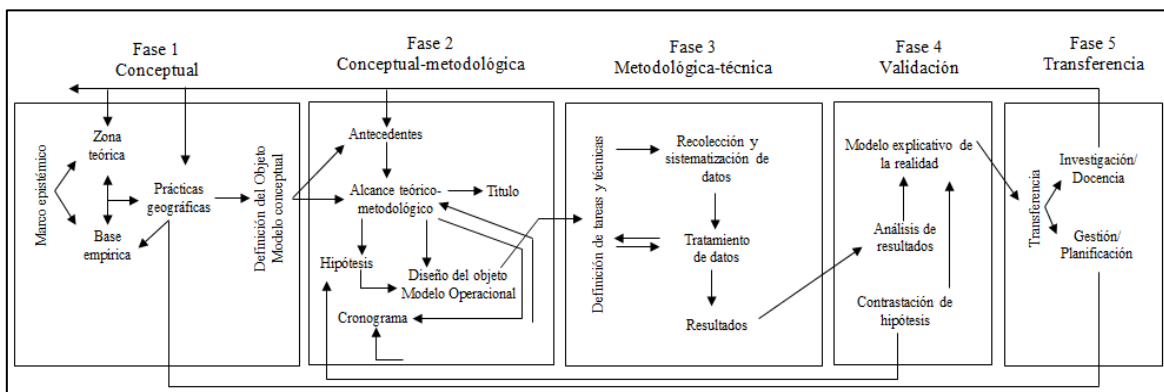


Figura 4.2. Fases y componentes del proceso de investigación

Fuente: Buzai, Baxendale y Cruz (2010: 38)

Las fases 1 y 2 ya fueron explicitadas en los capítulos precedentes. En este capítulo metodológico se desarrollará la primera parte de la fase 3 que incluye la recolección y sistematización de datos y la explicación de las metodología utilizadas. La segunda parte de esta fase (tratamiento de datos y obtención de resultados) será abordada en el capítulo siguiente junto a la fase 4, quedando la fase 5 para una instancia posterior de la investigación.

4.3. Recolección y sistematización de datos para la base de datos geográfica

El inicio del desarrollo metodológico de la investigación llevó a confeccionar la base de datos para el SIG. Se realizó con información cartográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN), del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), datos de la Subdirección de Emergencias y Defensa Civil de la Municipalidad de Lujan, y con información digitalizada a partir de la vinculación del SIG y mapas base de acceso libre de *Open StreetMap* (OSM). La cartografía digital de base, en formato vectorial, y sus datos cuantitativos asociados fueron obtenidos del INDEC considerando como unidad de análisis mínima el nivel de desagregación espacial de radios censales urbanos, que es la unidad espacial de mayor detalle disponible y, por este motivo, la más apropiada para trabajar a nivel urbano. El radio censal está definido por un espacio territorial con límites geográficos y una determinada cantidad de unidades de viviendas a relevar en cada Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. En promedio un radio censal incluye 300 viviendas, aunque hay que considerar que para bordes de las localidades el radio puede descender a 200 viviendas, según el INDEC. Se realizaron ajustes técnicos como correcciones de digitalización y recorte de la capa, dejando solo los radios censales correspondientes al ejido urbano de la ciudad de Luján, que suman 87 radios (Figura 4.3).

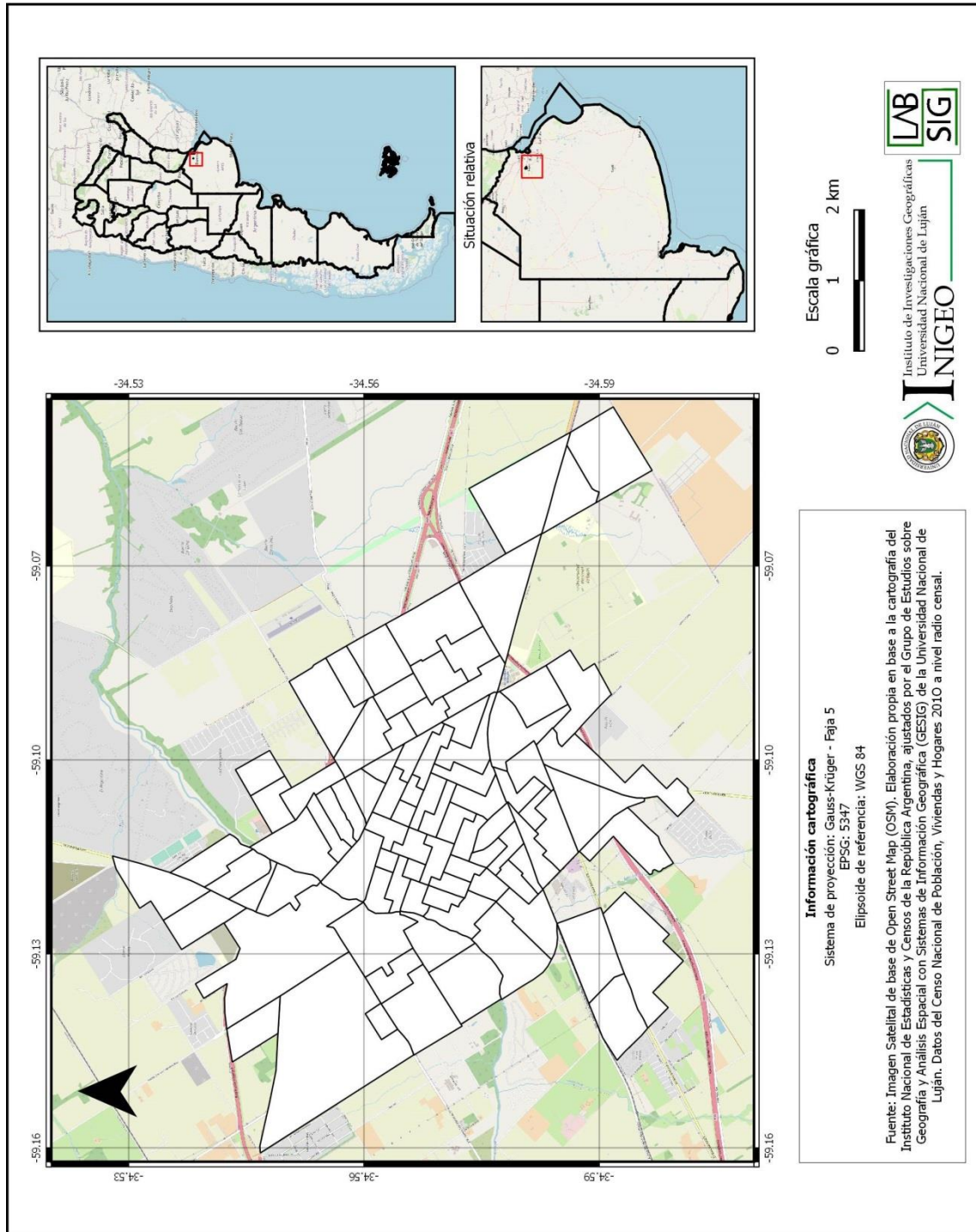


Figura 4.3. Radios censales correspondientes a la ciudad de Luján
 Fuente: Elaboración propia en base al INDEC y OSM

Además se utiliza como insumo para el análisis de la amenaza a inundaciones un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) fotogramétrico de 5 metros de grilla, puesto a disposición por el IGN y que corresponde a un relevamiento de toda el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) en el año 2013, y que para el caso de la ciudad de Luján corresponde al sector AMBA 1.3 (Figura 4.4).



Figura 4.4. Sector 1.3. del AMBA. Área de cubrimiento del MDE
Fuente: IGN (2017)

Para este trabajo se extrajo, a través un mosaico de ortofotos, el área correspondiente a la ciudad de Luján (Figura 4.5). Según las especificaciones técnicas brindadas por el IGN (2017) el MDE fue obtenido a partir de una serie de vuelos fotogramétricos realizados con un sistema aerofotogramétrico digital compuesto por una cámara marca Vexcel modelo UltraCam Xp, una unidad de medición inercial (IMU, por su sigla en inglés), una plataforma giroestabilizadora sobre la cual se monta la cámara

solidariamente, y un equipo GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de doble frecuencia instalado en el fuselaje del avión.

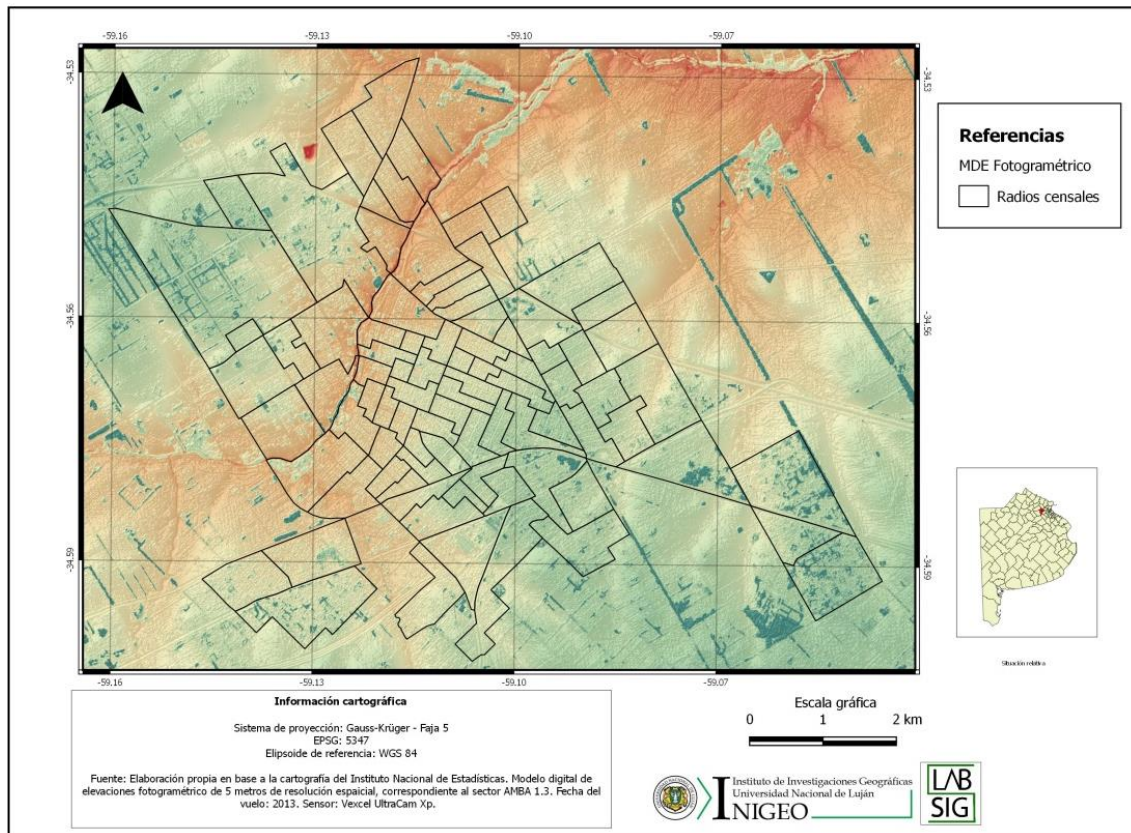


Figura 4.5. Extracto del MDE Aerofotogramétrico. Ciudad de Luján

Fuente: Elaboración propia con datos del IGN (2017)

En el mismo documento técnico del IGN (2017) se explicita que este tipo de sistema aerofotogramétrico permite la determinación precisa de los parámetros de orientación interna y externa de las imágenes capturadas durante el vuelo ya que el avión lleva un receptor GNSS bifrecuencia y un IMU.

El GNSS registra las coordenadas X, Y, Z del centro de proyección de la cámara y el IMU registra los ángulos kappa (κ), phi (ϕ) y omega (ω) de cada imagen en el momento de la captura, registrando directamente las orientaciones externas, la aerotriangulación por haces de rayo, que permite identificar de forma precisa puntos

comunes entre los fotogramas a partir de un proceso de correlación automática de puntos que analiza aproximadamente cien puntos por imagen, y permite determinar una grilla regular sobre el terreno que conforma el MDE, con el marco de referencia geodésico de Posiciones Geodésicas Argentina 2007 (POSGAR 07). El MDE, a diferencia de los Modelos Digitales de Superficies (MDS) incluye, en el dato de altura (Z), la vegetación y todo el medio construido, como casas, vías de comunicación, etc.

A continuación se presentan las características técnicas del MDE realizado por el IGN (Tabla 4.1):

Tabla 4.1

Características técnicas del vuelo fotogramétrico del IGN

<i>Características técnicas del modelo</i>	
Resolución espacial	5 metros
Marco de referencia geodésico	POSGAR 07
Sistema de referencia vertical	Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16)
Unidades verticales	Metro
Formato	IMG (32 bits flotante)

Fuente: IGN (2017)

Respecto a la precisión vertical del modelo, es importante mencionar que se utilizaron 5.888 puntos de control. Las diferencias estadísticas entre las alturas de los puntos de control y las alturas resultantes del MDE son las siguientes: máximo 1,74 m, mínimo -1,01 m; el promedio es de 0,17 m y el desvío estándar de 0,36 m. Es importante contar con esta información de base del IGN porque presenta una escala de detalle muy importante para trabajar a nivel urbano. Aunque la grilla que definió el IGN

para publicar los MDE es de 5 metros, el nivel de detalle en función de las características del vuelo, es de hasta 40 cm. Este modelo de buena precisión es el insumo principal para analizar la amenaza a inundaciones en la ciudad de Luján.

A continuación se explicitan los procedimientos metodológicos que se utilizan en la investigación.

4.4. Hacia el mapa de amenaza

Siguiendo la fórmula de riesgo (amenaza x vulnerabilidad), se avanza en la obtención de la distribución espacial la amenaza de inundaciones en la ciudad de Luján. Como no existe cantidad suficiente de registros espaciales de inundaciones en el área urbana, la metodología empleada para esta fase es la simulación del nivel de agua realizada a través del software *Global Mapper*. Los estudios precedentes sobre inundaciones en Luján, aunque escasos, constituyen una base importante principalmente para validar el resultado obtenido. En el apartado correspondiente a la aplicación se explicitará este punto y se presentarán los mencionados estudios.

4.4.1. Simulación de inundaciones

Se modeliza el aumento del nivel del agua con la finalidad de evaluar la expansión superficial del agua, ante diferentes niveles de crecidas de los cursos de agua, aplicando un procedimiento específico para simulación de aumento nivel del agua en el software *Global Mapper*. Es posible realizar la simulación desde una elevación única y fija (por ejemplo, 0 para el nivel del mar) o puede hacerse desde un cierto valor de altura de un área seleccionada, como el caso de una inundación de un río en un área de

llanura. La información de base necesaria para aplicar el procedimiento es un MDE de detalle, como el presentado en el punto anterior, y un *shapefile* que tenga la digitalización del curso de agua, en este caso el río Luján. A partir del río seleccionado, se toma el valor de altura correspondiente del MDE superpuesto y puede simular el aumento del nivel del agua en cierta cantidad de centímetros o metros y representar espacialmente hasta dónde llegaría el agua, teniendo en cuenta las características del terreno que impiden un flujo del agua normal, como calles, casas, edificios, etc. De esta forma es posible modelizar cómo se expandiría al área de inundación cuando se incrementa en cierta profundidad el nivel del río, específicamente en el nivel focal espacial. Esto permite generar diferentes escenarios de inundación y observar qué sucede con la superficie de inundación cuando el río aumenta su nivel de agua en diferentes medidas, para definir los niveles de aumento de agua se consideran datos reales históricos de inundaciones.

En este caso, se simulará además el crecimiento de los afluentes del río Luján, ya que también se sufren inundaciones y anegamientos en estos cursos de agua menores, aunque de menor envergadura que los desbordes del cauce principal. Se realizarán estas modelizaciones en forma separada, cauce principal por un lado y afluentes por el otro, con diferentes medidas de nivel de agua y luego, a partir del modelado cartográfico, se unirán los resultados en el SIG para obtener la cartografía temática con el área total de amenaza de inundación.

Es necesario realizar definiciones preliminares en el software *Global Mapper* para aplicar el procedimiento de simulación de nivel de agua e inundación. Estas definiciones incluyen indicar la cantidad de nivel del agua a elevar y si ésta debe elevarse desde las áreas seleccionadas (que es lo que se aplicó en este trabajo,

seleccionando el río Luján), desde una elevación fija en el terreno o ambas, además dependiendo del tipo de información de base con la que se cuenta, se pueden aplicar procedimientos de relleno de datos a través de interpolaciones. Una vez explicitadas las definiciones se aplica el modelado que incluye la búsqueda de las celdas que estén por debajo de la elevación especificada (considerando siempre las unidades de medida de MDE de base) y que estén conectadas espacialmente con el mapa correspondiente a la digitalización del curso de agua, desestimando las celdas que presenten valor nulo.

El resultado de este procedimiento es la modelización de diferentes escenarios de áreas inundables que son integrados en el SIG para el análisis posterior de riesgos.

4.5. Hacia el mapa de vulnerabilidad socioeconómica

Para realizar el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica se eligió la metodología del Valor de Índice Medio (VIM) propuesta por García de León (1989, 1997) que se enmarca dentro de las denominadas técnicas de análisis multivariado que permitirá incorporar diferentes dimensiones de la vulnerabilidad en el análisis.

4.5.1. Valor de Índice medio

La metodología del VIM permite agrupar las diferentes unidades espaciales según características de homogeneidad y repetitividad en los indicadores seleccionados.

García de León explicita que *“la metodología del Valor Índice Medio es una alternativa viable en los estudios socioeconómicas que se enfocan al logro de la clasificación, jerarquización y regionalización de un conjunto de unidades territoriales, con base en la evaluación de las semejanzas habidas entre esas unidades, provenientes*

de la información aportada simultáneamente por un sistema de variables o de indicadores” (García de León, 2009: 275).

Si bien, la metodología del VIM fue creada para realizar clasificaciones espaciales de manera general como procesos de regionalización y fue utilizada para la creación de mapas sociales urbanos (Buzai, 2003; Lucero, 2016), en el estudio de la vulnerabilidad socioeconómica podemos mencionar el trabajo García Castro y Villerías Salinas (2018) en el Estado de Guerrero (México) que constituye una aplicación multivariada con gran claridad y facilidad de interpretación de los resultados.

Las etapas procedimentales del VIM son las siguientes: se deben seleccionar las variables o indicadores y formar la Matriz de Datos Originales (MDO) o la Matriz de Datos Índice (MDI). Luego se debe calcular la media aritmética y la desviación típica del conjunto de datos asociado con cada indicador. El siguiente paso es la estandarización de los valores originales de la MDO o MDI a partir de restar el promedio a los valores de los indicadores y dividir el resultado por la desviación típica para obtener la Matriz de Datos Estándar (MDZ)⁷ donde $\sum = 0$, $\bar{X} = 0$, $\sigma = 1$, de esta forma los datos son perfectamente comparables. A continuación se califican los datos de la MDZ con base en los rangos calculados para el conjunto de datos en 5 indicadores (Tabla 4.2).

⁷ Los procedimientos metodológicos sobre la estandarización de variables de la MDO a la MDI y MDZ se detallan en Buzai (2014).

Tabla 4.2

Calificación para estandarizar valores originales del VIM

Valor estandarizado	Condición respecto a la media	Calificación
< - 1	Muy inferior	1
Entre -1 y -0.50	Inferior	2
Entre -0.50 y 0.50	Cercano	3
Entre 0.50 y 1	Superior	4
> 1	Muy superior	5

García de León (2009) expresa que esta calificación se sustenta en el principio probabilístico de que la mayoría de los eventos que ocurren en la naturaleza tienden a presentarse en áreas cercanas a la media, en poblaciones tomadas al azar. Este principio queda representado en la conocida curva de Gauss, también llamada curva de distribución normal o de “campana”, y lo que evidencia es que del conjunto de datos que se va a medir, la mayoría de ellos (el 68,26%) tendrá una probabilidad significativa de ubicarse entre -1 y 1 unidades de desviación estándar (Figura 4.6).

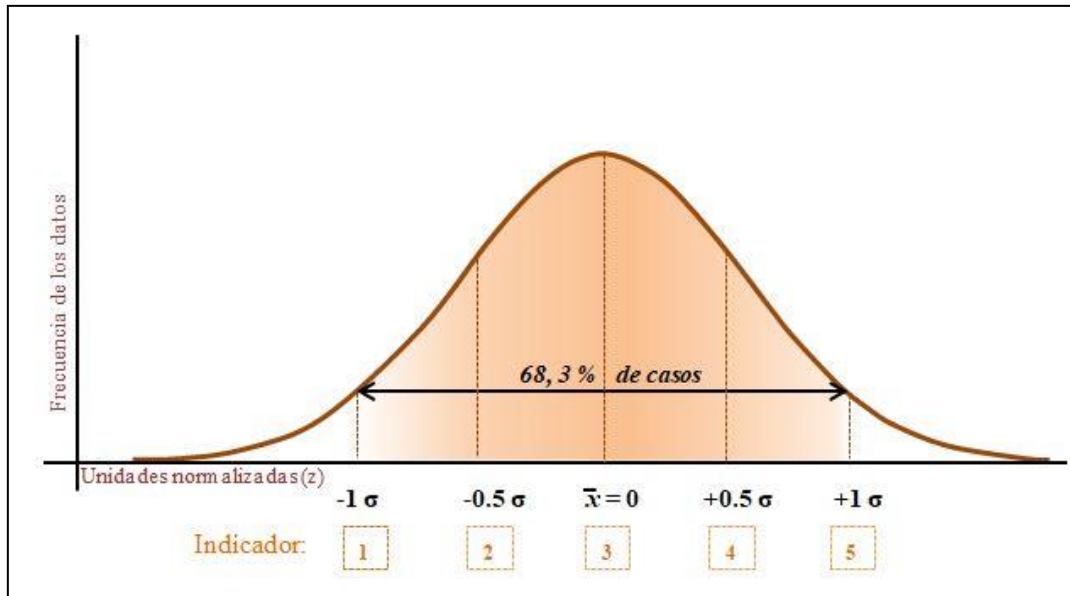


Figura 4.6. Curva de distribución normal.

Elaboración propia en base a García de León (2009) y Buzai (2014)

Luego, se debe calcular el VIM a partir de sumar, en el sentido de las filas, la totalidad de calificaciones (c) obtenidas y dividir el resultado por la cantidad de indicadores utilizados (n):

$$[4.1] VIM = \frac{\sum c}{n}$$

El siguiente paso consiste en ordenar las unidades espaciales de forma descendente según el resultado obtenido en el VIM y finalmente, clasificar las unidades espaciales en q intervalos. Para el caso de la presente aplicación, donde se consideran 8 indicadores, se clasificó en 5 categorías (Tabla 4.3)

Tabla 4.3

Calificación numérica y cualitativa del VIM

Calificación	VIM	Condición
1	Menor a 2.50	Muy inferior a la media
2	Entre 2.50 y 3	Inferior a la media
3	Entre 3 y 3.50	Cercano a la media
4	Entre 3.50 y 4	Superior a la media
5	Mayor a 4	Muy superior a la media

Esta metodología multivariada permitirá agrupar diferentes áreas del espacio urbano de Luján que presenten condiciones de vulnerabilidad socioeconómica semejantes y que serán representadas a partir del valor resumen será cartografiable, con el fin de visualizar las distribuciones espaciales de los diferentes niveles de vulnerabilidad. Luego se integrará este resultado al SIG, al igual que la cartografía temática de amenaza, y a partir del análisis espacial cuantitativo se avanzará hacia el mapa de riesgo vinculado a inundaciones.

4.6. Hacia el mapa de riesgos

Una vez obtenidos los mapas de amenaza y de vulnerabilidad de las fases anteriores se avanza hacia la obtención del mapa de riesgo. Para esto, se realiza la asociación espacial mediante el procedimiento de modelado cartográfico.

4.6.1. Modelado cartográfico

El modelado cartográfico se refiere a la forma de procesar información geográfica estructurada en capas temáticas y realizar superposición cartográfica para la obtención de resultados (Tomlin, 1990). Esta metodología se utiliza para analizar simultáneamente las características tanto espaciales como temáticas de la información geoespacial. Por un lado, la componente temática de la información geoespacial se analiza mediante la realización de operaciones matemáticas sobre los datos, mientras que las características espaciales de la información geoespacial se describen mediante técnicas de análisis espacial (que se basan en coordenadas).

Mediante el modelado cartográfico es posible realizar gran cantidad de operaciones con las capas temáticas raster, a partir del álgebra de mapas, cruzando dos o más mapas para obtener uno nuevo. Ejemplo de estos son las sumas, restas, multiplicaciones o divisiones de mapas realizadas en el marco de diferentes metodologías geográficas. En este sentido la superposición de la cartografía obtenida en el entorno SIG permitirá identificar las diferentes áreas de riesgos en la ciudad de Luján, multiplicando el mapa de amenaza por el de vulnerabilidad ($\text{riesgo} = \text{amenaza} \times \text{vulnerabilidad}$), esto último una vez realizado el proceso de rasterización. A partir esta multiplicación surge como resultado un nuevo mapa, el de riesgos.

4.7. Hacia el mapa de crecimiento urbano 2030

Luego, se utilizará un modelo de crecimiento urbano basado en autómatas celulares e inteligencia artificial que permitirá estimar la expansión urbana de Luján al año 2030 a partir de diferentes parámetros que definirán configuraciones espaciales.

Siguiendo a Aguilera Benavente *et al.* (2009) los modelos para simulación de crecimiento urbano que se basan en autómatas celulares consideran una estructura de base raster donde cada celda contiene un valor específico; un conjunto finito de estados que puede tener cada celda; una definición de vecindad que generará una influencia en el estado; un conjunto de reglas de transición que determinan los cambios de estado de cada celda relacionado a su estado inicial y al estado de sus vecinos; y finalmente una secuencia discreta de tiempos o iteraciones que permiten simular el crecimiento urbano a partir de diferentes parámetros. La combinación del modelado basado en inteligencia artificial y en los autómatas celulares, permitirá la generación de un escenario futuro de crecimiento urbano que podrá asociarse al mapa de riesgo.

4.7.1. Modelado de expansión urbana

El tema de modelado de expansión urbana basado en autómatas celulares, explicado detalladamente por Aguilera Benavente (2006), comienza en la década de 1940 con John Von Neumann que intentaba modelar máquinas trabajando de forma autónoma (autómatas) y que tuvieran la posibilidad de auto-reproducirse. Luego, con los aportes de Stanislaw Ulam quien trabajó para poder enmarcar el trabajo en un ambiente de células, considerando una red infinita como malla cuadrículada con una base espacial discreta (células). La combinación de estos desarrollos dio lugar a la aparición del primer modelo de Autómata Celular de Von Neumann, que es un modelo matemático para un sistema dinámico, que está compuesto por un conjunto de celdas (o células) que adquieren distintos estados o valores, que son alterados de un instante a otro en unidades de tiempo discreto. De esta manera, las celdas logran una evolución,

según una determinada expresión matemática, que es sensible a los estados de las células vecinas a través de una regla de transición local. Existen diferentes tipos de análisis de vecindad. Una posibilidad metodológica es utilizar la vecindad de Moore considera a todas las celdas que rodean a la celda central, con diferentes proximidades desde esa celda (Figura 4.7) y que mostró utilidad en la aplicaciones realizadas por Aguilera Ontiveros (2002) para el análisis de cambios de usos del suelo.

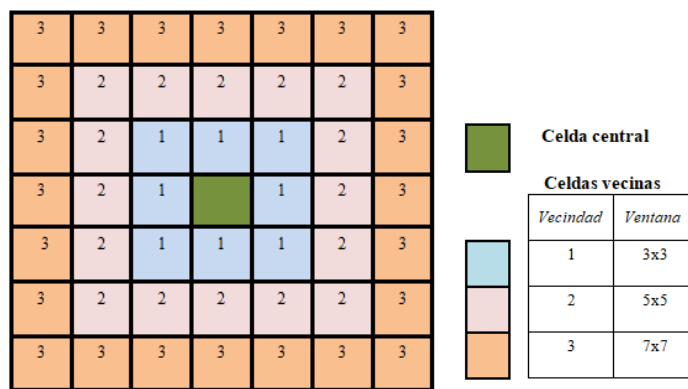


Figura 4.7. Vecindad de Moore con diferentes proximidades (ventanas)

Fuente: Elaboración personal

Por su parte, el método de redes neuronales artificiales empieza también a desarrollarse en la década de 1940 e inicios de la década de 1950 con aportes de varios investigadores entre los que se destacan McCulloch y Pitts, Householder y Landahl, Kleene, Von Neumann y Culbertson, quienes elaboraron los primeros modelos matemáticos de neuronas y redes neuronales. En la década del '50, se combinaron los resultados obtenidos por los matemáticos, biólogos y los psicólogos y se desarrollaron modelos de simulación de neuronas y redes neuronales en computadora, dando lugar a la forma más generalizada de trabajar con estos sistemas en la actualidad, a partir de la simulación en el ámbito computacional (Lara, 2011).

La Red Neuronal Artificial (RNA) denominada perceptrón multicapa (Figura 4.8) utiliza capas de entradas, capas ocultas y capa de salida, compuestas por una serie de neuronas que se encargan de recibir, procesar y enviar datos hacia otras neuronas a partir de un flujo de información unidireccional que se activa al recibir información de la capa anterior, ponderarla, sumarla y luego a partir de una función de activación se producen las salidas de la neurona, es decir, la predicción (Mas, 2017).

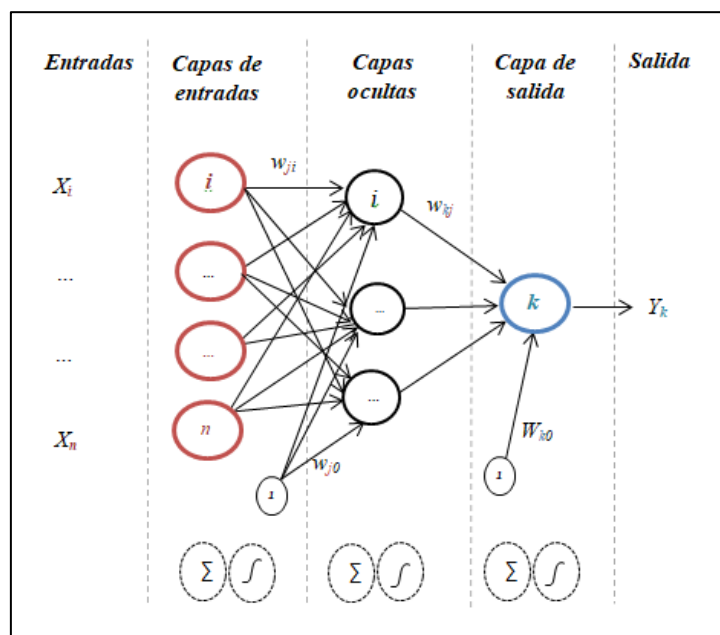


Figura 4.8. Representación de una RNA Perceptrón multicapa

Fuente: Mas, J. 2017:56 (adaptación)

En el esquema representativo de un perceptrón multicapa se observan las X como capas de entrada, que corresponden a las variables explicativas; w_{ji} , que corresponde al peso de conexión entre la capa, o neurona, de entrada i y la capa o neurona oculta j ; w_{kj} , al peso de conexión entre la neurona oculta j y la neurona de salida k ; y el peso w_{j0} se considera como un peso asociado con una neurona ficticia con un valor de salida igual a 1. Debajo aparecen representados el símbolo de sumatoria, que

corresponde a la función de red, y el de la función sigmoidea, que corresponde al procedimiento de activación antes mencionado.

Las conexiones entre las neuronas se modelan mediante pesos numéricos que establecen el grado de correlación, a su vez estos pesos son ajustados durante la etapa de entrenamiento de la red y luego cada neurona envía a las neuronas de la siguiente capa un valor conocido como valor de activación.

Para analizar la expansión urbana al 2030 se eligió la herramienta MOLUSCE (*Methods Of Land Use Change Evaluation*) del software libre QGIS, creada en la Universidad de Clark en Massachusetts, Estados Unidos, y que fue especialmente diseñada para analizar y modelizar cambios de uso del suelo. Esta herramienta tiene mejoras respecto a otros módulos de simulación de cambios en el uso del suelo, como IDRISI, desarrollado también por la Universidad de Clark y que utiliza para la simulación cadenas de Markov y Autómatas Celulares combinado con Evaluación Multicriterio (Reynoso *et al.*, 2016), mientras que en MOLUSCE además de poder aplicar los Autómatas Celulares permite incluir el método Red Neural Artificial que forma parte de los sistemas de Inteligencia Artificial (IA) y que permite realizar de forma automática procesos que antes debían realizarse de forma manual, como por ejemplo la asignación de puntos de control.

El primer procedimiento que se realiza para comenzar con la modelización del uso urbano al 2030 consiste en la normalización de las variables explicativas con el objetivo de lograr un entrenamiento más eficiente y un resultado de predicción más preciso. Para la estandarización se utiliza el puntaje Z:

$$[4.2] Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$$

donde Z es la variable normalizada, X es la variable considerada, \bar{X} media de X y σ es la desviación estándar de X .

A continuación, se realiza el análisis de cambios de usos del suelo en dos momentos o tiempos, denominadas tiempo inicial y tiempo final, con el objetivo de calcular la superficie y localización de los procesos de cambio. Se realiza una matriz de transición que calcula para cantidad de superficie ocupada por cada uso del suelo en el tiempo 1 (T1) y la cantidad de superficie ocupada por los usos en el tiempo 2 (T2), obteniendo valores de superficie y valores porcentuales de cambio. Es fundamental identificar estas tendencias en los cambios de usos del suelo porque es la base sobre la que se realiza la proyección futura, que considera el mismo rango de tiempo. Es decir, si el tiempo 1 es el año 2010 y el tiempo 2 es el año 2020, la proyección será hacia el 2030 (T2-T1= 10 años).

Luego, a partir de variables de entrada consideradas como factores de cambio, se aplica la RNA tal como se presentó en la figura 4.8, utilizando un algoritmo de aprendizaje que tiene la capacidad autónoma para analizar la precisión alcanzada, y realizar su propia validación del modelo, ya que almacena la mejor red neuronal en la memoria. Se utiliza un algoritmo de retropropagación clásico el procedimiento de aprendizaje. La corrección de pesos se realiza como:

$$[4.3] w(n+1) = r * dw(n) + m * dw(n-1)$$

donde w es un vector de pesos de neuronas, dw es un vector de cambios de pesos, n es un número de iteración, r es la tasa de aprendizaje, m es el momento. Se utiliza un

aprendizaje en línea estocástico, lo que significa que se selecciona una muestra aleatoria del conjunto de aprendizaje y los pesos de la red se van actualizando durante el entrenamiento de la red.

El error de ajuste, para una muestra, es el error cuadrático medio de las salidas parciales de la red:

$$[4.4] E = \frac{t_i - o_i}{d}$$

donde E es un error de muestra, t_i es el valor objetivo de una neurona de salida para una muestra determinada, o_i es el valor de salida real de la neurona, d es el recuento de neuronas de salida.

Una vez realizado el entrenamiento de la red se obtiene diferente información sobre el aprendizaje: un gráfico de los errores cuadrados medios, el error general de validación mínima que considera el mejor resultado obtenido por la red y la precisión global delta que es la diferencia entre el error de validación mínimo y el error de validación actual.

Finalizado el análisis de las variables explicativas a través de la RNA perceptrón multicapa, se continúa con la modelización a partir de AC, utilizando los datos de entrada correspondiente al mapa del T2 de donde obtiene la información sobre las categorías actuales de usos del suelo, las variables explicativas normalizadas y el modelo resultado de la RNA. El modelo predictor, basado en AC, considera las probabilidades de cambio según la matriz de transición. Realiza el recuento de celdas que deben cambiarse para cada clase de transición; escanea las celdas vecinas y calcula los potenciales de transición. Para cada clase de transición, el modelo busca en el las transiciones más probables realizando un recuento de celdas con la mayor confianza y cambia la categoría de las mismas según corresponda. En esta investigación se definió una vecindad de Moore de 3x3 y existen dos posibilidades de transición para cada celda

(urbana y no urbana). Al final de cada iteración del modelo, que corresponde a 1 año de crecimiento, las celdas con mayor potencial de transición se transforman en urbanas, dando lugar al mapa final que muestra el modelo urbano futuro.

Como paso final se realiza la validación del modelo. Se verifica la precisión de la simulación a partir de estadísticas Kappa que permiten establecer la correspondencia de los resultados con la siguiente característica:

$$[4.5] -1 \leq k \leq 1$$

Cuando el valor de Kappa es más cercano a 1 indica mayor nivel de correspondencia. La tabla 4.4 presenta la escala de valoración ampliamente utilizada para expresar cualitativamente la fuerza de la concordancia (Landis y Koch, 1977)

Tabla 4.4

Grado de acuerdo del índice Kappa

Valor de Kappa	Grado de acuerdo
< 0,00	Pobre
0 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderado
0,61 – 0,80	Considerable
0,81 - 1	Excelente

La validación computacional del modelo utiliza tres estadísticas de Kappa. El índice Kappa general, el Kappa histograma y el Kappa localización.

El índice Kappa general mide la correspondencia del mapa resultado de la simulación con el mapa de validación y se define como:

$$[4.6] k = \frac{P(A) - P(E)}{1 - P(E)}$$

El índice Kappa localización mide la similitud de la asignación espacial de las categorías en los dos mapas comparados y se define como:

$$[4.7] k_{loc} = \frac{P(A) - P(E)}{P_{max} - P(E)}$$

El índice Kappa histograma se calcula directamente desde los histogramas de los mapas y mide la similitud cuantitativa de los dos mapas comparados. Se define como:

$$[4.8] k_h = \frac{P_{max} - P(E)}{1 - P(E)}$$

donde:

$$P(A) = n \sum_{i=1}^c p_{ii}$$

$$P(E) = n \sum_{i=1}^c p_{iT} p_{Ti}$$

$$P_{max} = n \sum_{i=1}^c \min(p_{iT}, p_{Ti})$$

p_{ii} son los valores de la diagonal principal, P_{iT} el total de las observaciones en la fila i , p_{Ti} el total de observaciones en la columnas i , n el total de píxeles del área de estudio y c la cantidad de filas de la matriz de cruce tabular.

Con la finalización de la validación con estadísticas Kappa culmina el proceso modelización de usos del suelo a partir de AC y RNA, que actualmente se encuentra automatizado en el SIG.

En el capítulo siguiente se explicará en detalle las definiciones y procedimientos realizados a través del complemento MOLUSCE para la modelización de crecimiento urbano en la ciudad de Luján, al año 2030 a partir de la aplicación de AC y RNA.

Los procedimientos metodológicos explicitados tienen relevancia en el marco del diagnóstico territorial ya que a partir de estos se espera generar nuevos conocimientos que permitan avanzar en la generación de propuestas que favorezcan la gestión del riesgo en la ciudad de Luján.

4.8. Flujograma de procedimientos metodológicos

La secuencia lógica de los diferentes procedimientos metodológicos que se realizan en este trabajo se sistematizó en el siguiente esquema (Figura 4.9).

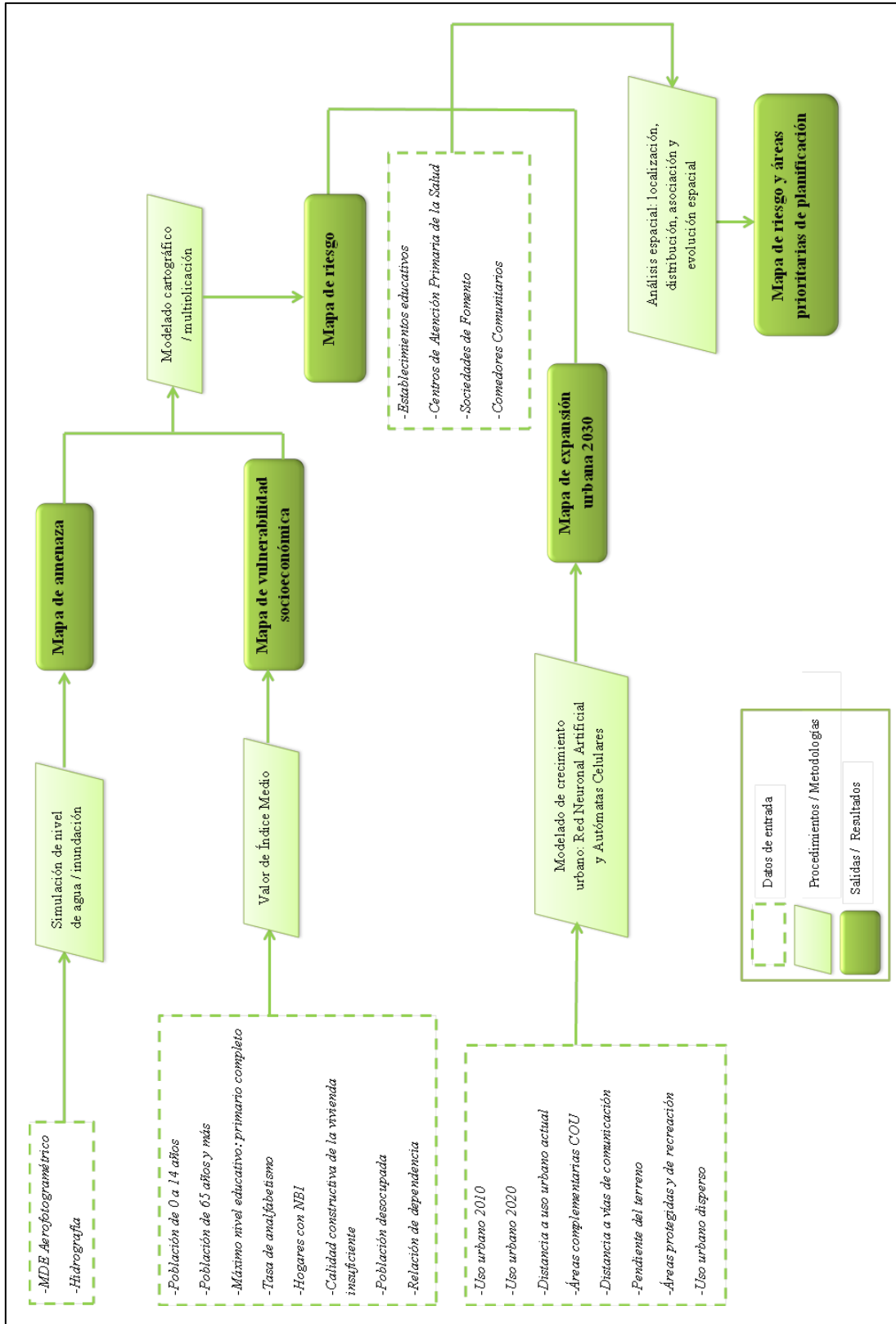


Figura 4.9. Flujo de procedimientos

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DEL CONTEXTO SOCIOESPACIAL DE RIESGO A

INUNDACIONES EN LUJÁN

“The flood problem has four basic elements. These are: (1) the flood hazard, (2) the environmental features of the flood plain, (3) the human occupance of the flood plain, and (4) the adjustment of human occupance to flood hazard. Each of these is present in some degree in every flood problem, whatever its nature.”

Gilbert White, 1945:36.

El problema de las inundaciones tiene cuatro elementos básicos. Estos son: (1) el peligro de inundación, (2) las características ambientales de la llanura de inundación, (3) la ocupación humana de la llanura de inundación y (4) la adaptación de la ocupación humana al peligro de inundación. Cada uno de ellos está presente, en algún grado, en todos los problemas de inundaciones, sea cual sea su naturaleza.

(Traducción propia)

El capítulo incluye la aplicación de los procedimientos metodológicos explicitados en el capítulo IV, para el análisis del contexto socioespacial de riesgo a inundaciones en la ciudad de Luján. Se presenta el área de estudio poniendo énfasis en los antecedentes de eventos de inundación con la información disponible. Luego, se desarrolla la modelización

del nivel de agua para caracterizar la amenaza, a partir del MDE aerofotogramétrico y se realiza el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica de la población utilizando la metodología del VIM. Como resultado, se obtiene cartografía temática de amenaza de inundación y de vulnerabilidad socioeconómica que permite avanzar, a través del modelado cartográfico, hacia el mapa de riesgos. Finalmente, se presenta la modelización del crecimiento urbano al 2030, a través de la aplicación de autómatas celulares y una red neuronal artificial, lo que permite caracterizar el riesgo desde una visión prospectiva.

5.1. Área de estudio: ciudad de Luján

La ciudad de Luján es una aglomeración de tamaño intermedio de la República Argentina (Figura 5.1) que se representa cartográficamente a través de 87 radios censales urbanos y que, de acuerdo a los datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2010, cuenta con 78.346 habitantes. En Argentina, a partir de la clasificación realizada por Vapñarsky y Gorojovsky (1990), se consideran Aglomeraciones de Tamaño Intermedio (ATIs) a aquellas que tienen entre 50.000 y 999.999 habitantes. A su vez esa categoría se subdivide en ATIs mayores (de 400.000 hasta 999.999 habitantes) y ATIs menores (de 50.000 hasta 399.999 habitantes), en esta última subcategoría se encuentra la ciudad bajo estudio.

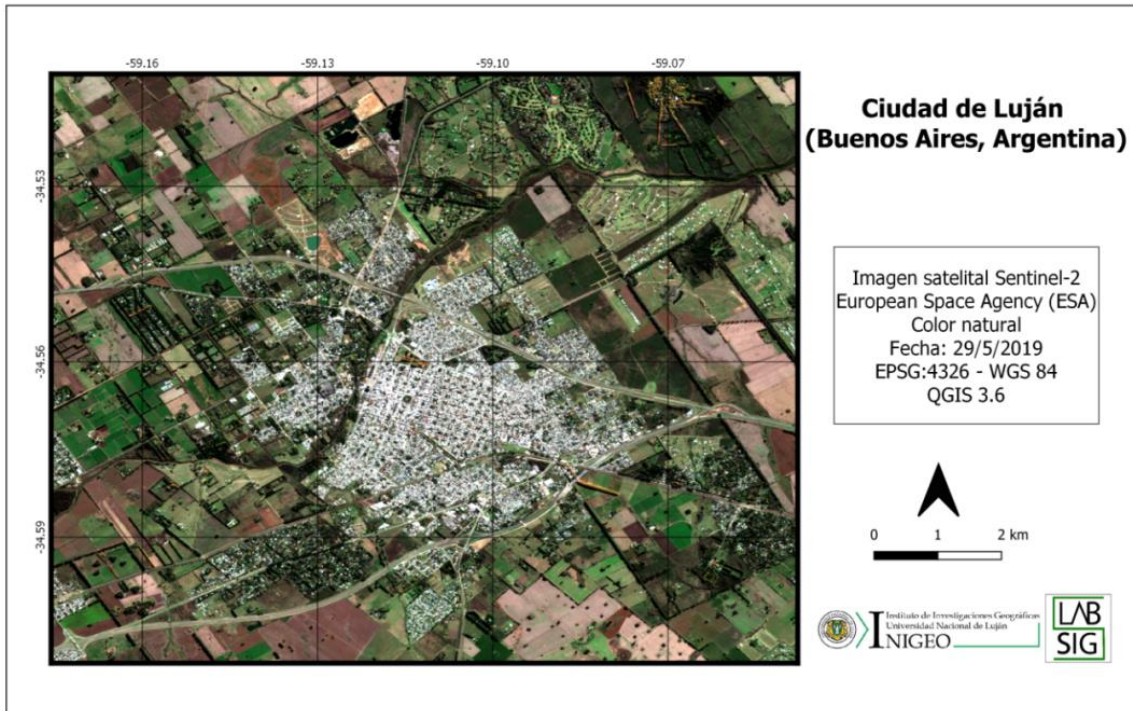


Figura 5.1. Imagen satelital de la ciudad de Luján.

Fuente: Sentinel-2. *European Space Agency* (ESA)

Luján se encuentra a 68 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) pero si consideramos su mancha urbana, es decir, la ciudad desde un punto de vista físico como aglomeración se encuentra separada a sólo 2 km. del extremo del corredor Oeste del Gran Buenos Aires (Humacata, 2015). En un trabajo reciente, realizado por Buzai y Montes Galbán (2020) se mostraron evidencias que indican que Luján forma parte de la Megaciudad Buenos Aires, a partir de considerar la infraestructura gris, teniendo en cuenta conjuntamente el espacio adaptado y el sistema de flujos.

La ciudad se originó, a fines del siglo XVII, a orillas del río Luján, un río de llanura, que realiza su recorrido total por la planicie ondulada de la pampa, nace en de la

confluencia de la Cañada de Castilla, la Cañada de Rivas y el arroyo Los Leones, atravesando territorios de los partidos de Carmen de Areco, Chacabuco y Suipacha. Se extiende por 115 kilómetros hasta su desembocadura en el delta del Paraná, y luego 42 km más en dirección noroeste-sudeste hasta su desagüe en el río de la Plata (Paso Viola, 2016; Buzai, *et al.*, 2018). El río sufre recurrentes desbordes por cuestiones principalmente pluviométricas generando inundaciones urbanas tanto en áreas centrales como periféricas, por tal motivo, evaluar el riesgo a nivel territorial ante estos eventos resulta de suma importancia.

El río le da nombre a la cuenca hidrográfica (Figura 5.2) que tiene 3778 km² (Lanzelotti y Buzai, 2015), y se posiciona como la de mayor superficie en el AMBA. El relieve de la cuenca del río Lujan es marcadamente llano, con una suave pendiente que disminuye de oeste a este. Esto se observa desde lo altimétrico, ya que las cotas de las curvas del nivel o isohipsas del área tienen poca variación, sin superar los 60 metros en el sector de la cuenca superior. Desde lo geomorfológico, la cuenca se encuentra dentro de la llanura pampeana, drenando al occidente la subregión de la pampa ondulada y al oriente la subregión del Delta.

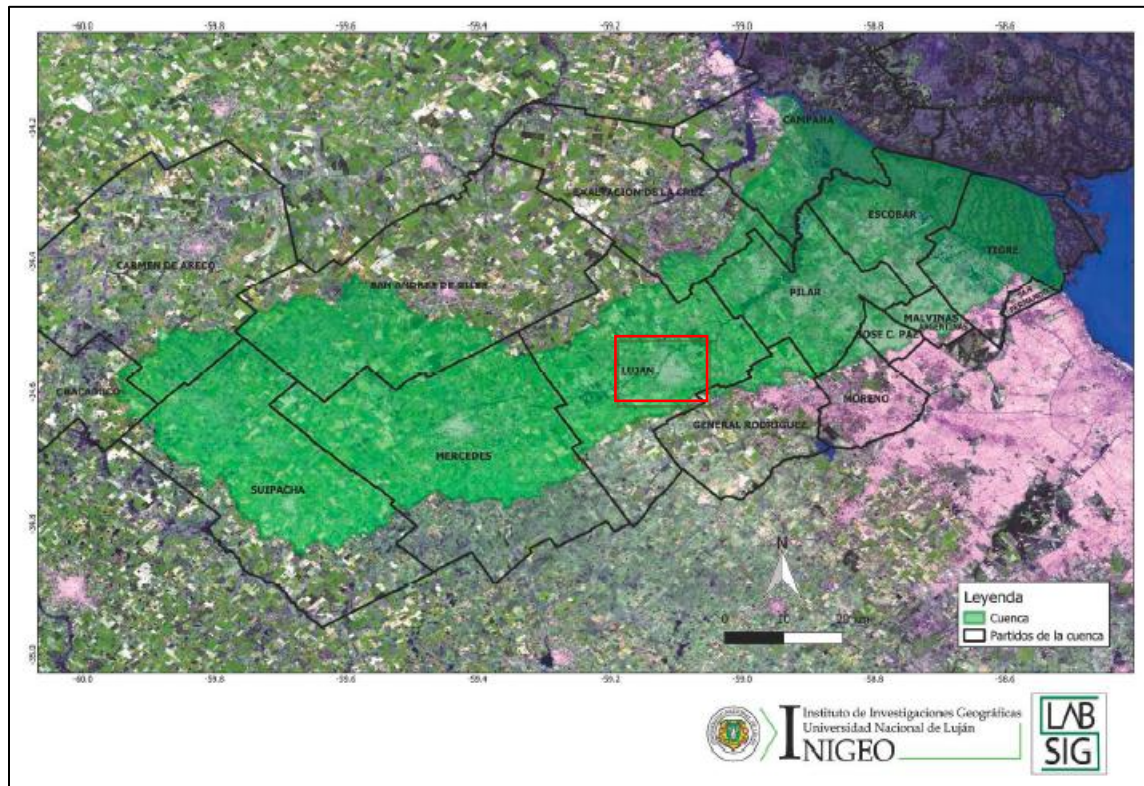


Figura 5.2. Cuenca del río Luján: delimitación y extensión

Fuente: Buzai, G.D., Lanzelotti, S.L (dir.) (2019:39).

La pampa ondulada, denominada así por el geógrafo Federico Daus (Daus, 1959), debido a las ondulaciones topográficas, puede ubicarse en la superficie que se encuentra entre el curso de los ríos Paraná, río de La Plata y río Salado en la Provincia de Buenos Aires, limitando al norte con la Provincia de Santa Fe y al sudoeste con la subregión de la Pampa Arenosa. Esta subregión es la que predomina en la cuenca del río Luján.

La ciudad de Luján se encuentra en la cuenca media, que tiene una red de drenaje bien integrada, presenta gran cantidad de meandros, con mucha sinuosidad (Figura 5.3). Aquí, el río escurre en una amplia planicie de la cuenca que desemboca en el Río de la Plata.



Figura 5.3. Ciudad de Luján (a) y río Luján en el sector de la cuenca media (b).

Fuente: Fotografías propias

5.1.1. Las inundaciones en la ciudad de Luján

La problemática de las inundaciones es de larga data en la ciudad, existen documentos que así lo demuestran. Haas (1995) realizó un análisis de documentos históricos (actas capitulares del Cabildo de la Villa de Luján y documentos del Juzgado de Paz), como así también consulta de información periodística de medios locales y encontró registros desde el siglo XIX que le permitieron evidenciar la recurrencia de las inundaciones. El autor presenta un resultado cartográfico (Figura 5.4) donde identifica sectores inundables de la ciudad y define una clasificación en tres niveles de riesgo, considerando para esto las cotas del IGN. Hasta los 16 metros consideró que son las áreas con mayor riesgo, entre 16 y 17 metros las clasificó como riesgo medio y las áreas ubicadas en cotas mayores a 17 metros las definió como las de menor riesgo. El sector urbano inundable abarcaba una superficie aproximada de 6,1 km² y afectaba a 6300 personas. A pesar de que en la simbología del resultado cartográfico se presentan “niveles de riesgo”, es

importante destacar que en realidad el mapa presenta una caracterización de la amenaza de origen natural, presentando áreas con diferentes niveles de peligro a inundación. El autor en el texto hace un análisis de la vulnerabilidad de la población afectada por inundaciones en la ciudad a partir de encuestas y de datos del Censo de Población, Hogares y Viviendas de 1980 pero no lo asocia al mapa de amenaza.

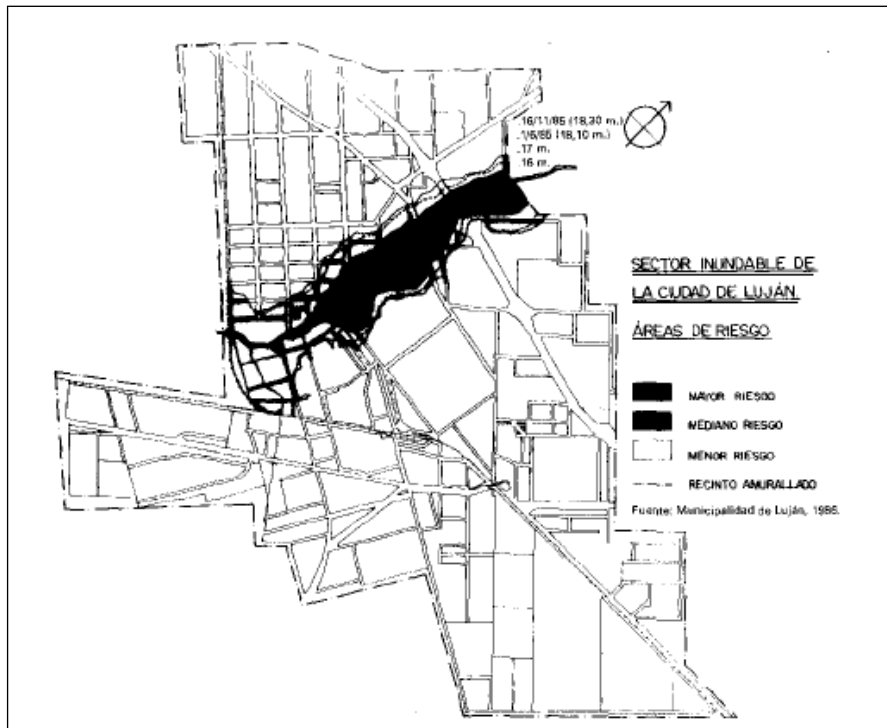


Figura 5.4. Sector inundable de la ciudad de Luján

Fuente: Haas, 1995:397

En el año 2007 el Instituto Nacional del Agua (INA) realizó un diagnóstico del funcionamiento hidrológico-hidráulico de la cuenca del río Luján con el objetivo de delimitar zonas bajo riesgo hídrico. Para esto, utilizaron un modelo hidrológico aplicado en el programa HEC-HMS, desarrollado por el *Hydrologic Engineering Center del US Army*

Corps of Engineers, que permite simular los procesos transformación precipitación-escorrentía mediante la representación de cuencas hidrográficas como un sistema de componentes hidrológicas e hidráulicas interconectadas, considerando una precipitación uniforme caída en toda la cuenca durante un período determinado. El INA utilizó diferentes datos pluviométricos registrados en la cuenca y en la etapa de calibración utilizaron datos medidos en campo y para el estudio contaron con registros de precipitación para una tormenta típica y caudales asociados medidos en un área próxima al balneario de la ciudad de Luján.

Para la simulación utilizaron datos de lluvias hipotéticas máximas asociadas a distintas duraciones y períodos de retorno, que fueron calculados a partir de datos de lluvias de la estación del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Castelar.

Como resultado obtuvieron cartografía peligro a inundaciones a nivel de cuenca⁸, con distintos tiempos de recurrencia (2, 5 y 100 años). Además, a modo de ejemplo, realizaron cartografía de peligro a inundaciones en tres ciudades: Pilar, Mercedes y Luján. En la figura 5.5 se observa la modelización realizada en el área urbana de Luján con los tres períodos de recurrencia indicados en diferentes colores. En color rojo se representa la zona bajo riesgo hídrico considerando un período de recurrencia de dos años, en color amarillo la que corresponde a cinco años de recurrencia y en color verde a cien años. Se observa que la ciudad de Luján no se vería afectada por crecidas con recurrencia de dos años, ya que éstas serían controladas por el sistema hídrico existente. Las siguientes recurrencias consideradas sí tendrían efectos sobre el área urbana, con un cambio significativo respecto a la superficie

⁸ La cartografía de peligro a inundaciones a nivel cuenca realizada por el INA está disponible en: <http://www.delriolujan.com.ar/estudioina2.html>

de inundación en cada una. Para la recurrencia de cinco años se observa una afectación desde el área céntrica de la ciudad hacia el noreste, en zonas ribereñas, mientras que en la modelización de la recurrencia de cien años se puede ver que un gran porcentaje del área urbana está dentro de la zona de amenaza.

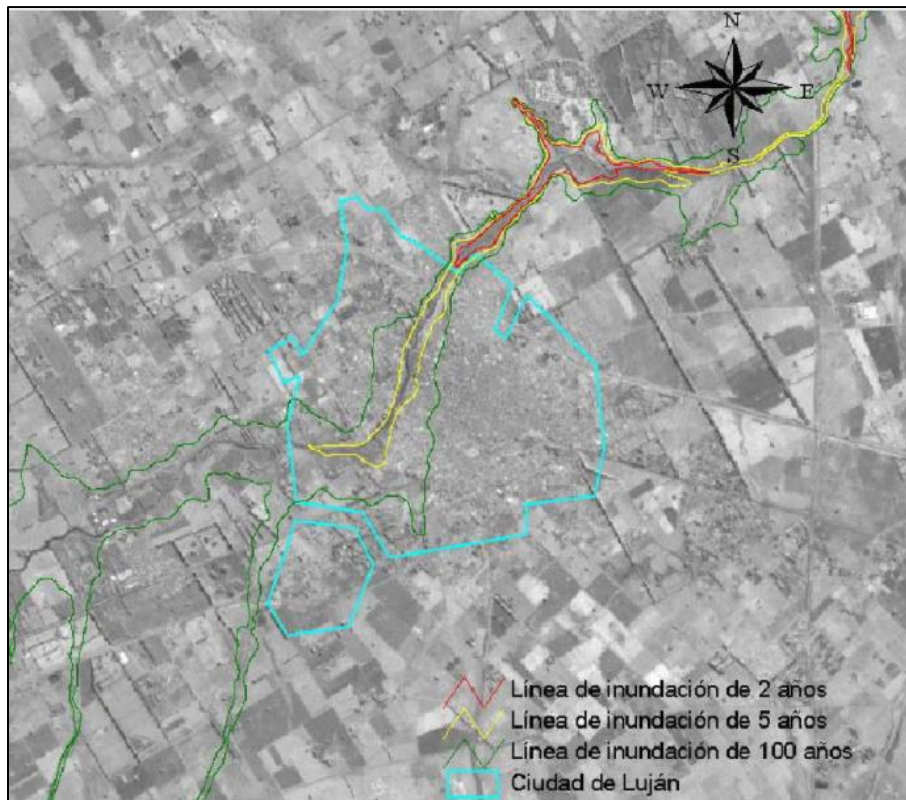


Figura 5.5. Modelación de inundación en la ciudad de Luján en tres períodos de recurrencia

Fuente: INA (2007)

Por su parte, el periódico local “El Civismo” realizó en 2012 una recopilación de datos sobre inundaciones en la ciudad de Luján, a continuación y siguiendo la información del artículo, se explicitan los principales eventos de inundación. Es importante aclarar que

la profundidad normal del río es entre 1,50 metros y 2 metros, cuando la altura supera los 3 metros ya se producen inundaciones urbanas y es necesaria la evacuación de vecinos.

En 1964 la ciudad sufrió una gran inundación que se originó a partir de la caída de 232 milímetros en solo tres días. La altura del río en esa oportunidad alcanzó los 5,80 metros.

En la década de 1980 hubo varios eventos de inundación pero los más importantes fueron en 1985, en mayo y en noviembre. La altura del río fue de 6,25 y 6,40 metros respectivamente. En octubre de 1986 hubo una nueva inundación, el río alcanzó los 4,79 metros como consecuencia de la abundante lluvia; 213 mm de los cuales 108 mm fueron en un día.

La década de 1990 también estuvo colmada de inundaciones urbanas por desbordes del río Luján. En 1991 hubo una inundación menor a la de años anteriores pero en noviembre de 1993 se dio otra gran inundación. El río creció 20 centímetros por hora, alcanzando rápidamente 5,25 metros altura. En abril de 1995, las aguas alcanzaron un nivel máximo de 4,16 metros.

Comenzó el siglo XXI y la tendencia se mantuvo. En el año 2000, hubo una inundación que fue de 3,95 metros, alcanzados a un ritmo de 3 centímetros por hora. En 2001, el río creció hasta los 4,42 metros.

En febrero de 2003, hubo un intenso temporal que provocó una nueva crecida, el río alcanzó los 4,04 metros. En el mes de enero de 2006, hubo una nueva inundación tras la caída de 117 milímetros y con una altura máxima del río de 4,36 metros.

En octubre del 2012 otra inundación urbana importante en la ciudad, el río subió hasta los 5.12 (Figura 5.6). En el 2014, hubo 12 desbordes del río, dos mayores a 5 metros, el más alto llegó a 5.32.



Figura 5.6 Barrios céntricos de Luján en la inundación de octubre del 2012

Fuente: Fotografías propias.

En febrero y abril de 2015, el río volvió a crecer producto de fuertes lluvias, muchos barrios sufrieron anegamientos consecuencia de sistemas de desagües faltos de mantenimientos o directamente inexistentes. En agosto del mismo año se registró una de las mayores inundaciones del río, luego de la 1967 y 1985, el río alcanzó los 5,47 metros luego

de precipitaciones extraordinarias de 400 mm ocurridas entre el 7 y el 11 de agosto. En el 2018 y 2019 hubo desbordes que superaron los 3 metros de altura.

Durante la gran inundación de agosto de 2015, el personal municipal de la Subdirección de Emergencia y Defensa Civil realizó un relevamiento y levantamiento de datos *in situ* sobre las áreas inundadas en el caso urbano para cartografiarlas y contrastarlas con datos de población del Censo 2010 y con la base de datos catastral, ya que el objetivo era determinar qué parcelas habían sido afectadas para obtener información acerca de quienes estarían eximidos del pago del impuesto inmobiliario (Figura 5.7). Esta es la información más actualizada que posee el municipio respecto a las inundaciones en la ciudad y resultará de suma importancia para luego analizar la simulación de inundaciones generada en esta investigación.

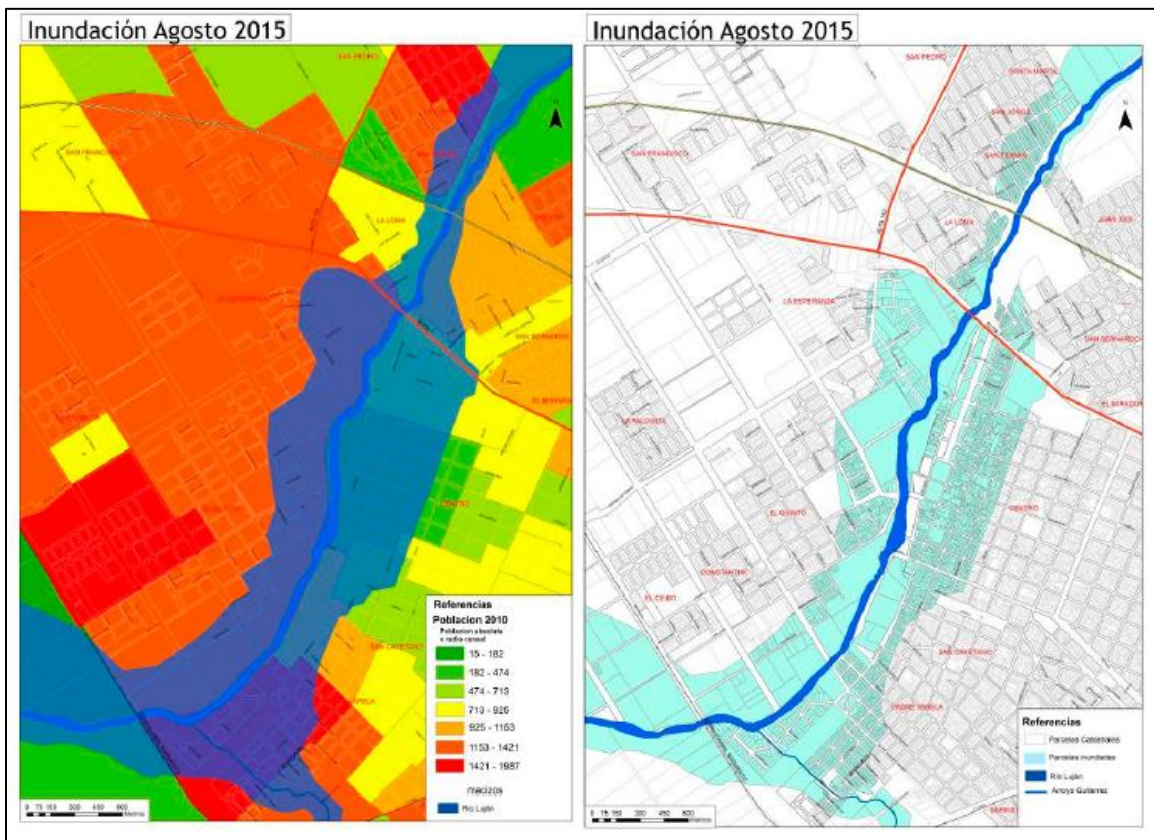


Figura 5.7. Inundación de agosto 2015: Casco urbano de Luján.

Fuente: Subdirección de Emergencia y Defensa Civil (2017)

A continuación se presenta la tabla 5.1 con información histórica de la altura del río Luján en eventos de inundación, se incluye la altura del río y la elevación o cota del IGN. Los datos fueron registrados por los Bomberos Voluntarios de Luján, a través de un hidrómetro ubicado en el puente de la intersección del río y la calle San Martín, en el centro de la ciudad de Luján, y/o expuestos en periódicos locales, se resaltan los eventos de mayor magnitud. Esta información es relevante porque constituyen datos de referencia para realizar posteriormente la modelización de inundaciones.

Tabla 5.1

Datos históricos de altura del río Luján en la ciudad homónima

Fecha	Altura hidrómetro (m)	Altura elevación (m IGN)	Fecha	Altura hidrómetro (m)	Altura elevación (m IGN)
10/1967	5,80	17,4	17/08/2001	3,07	14,67
09/1982	3,90	15,5	17/04/2002	3,45	15,05
03/1984	4,84	16,44	17/05/2002	2,5	14,1
31/10/1984	4,41	16,01	01/02/2003	4,04	15,64
31/05/1985	6,25	17,85	11/02/2003	2,48	14,08
19/10/1985	3,8	15,4	01/03/2007	3,43	15,03
16/11/1985	6,4	18,0	15/08/2012	3,05	14,65
06/10/1986	4,8	16,4	18/08/2012	4	15,6
29/10/1986	2,99	14,59	23/10/2012	3,49	15,09
23/03/1988	5,52	17,12	01/11/2012	5,12	16,72
25/03/1991	3,68	15,28	28/11/2013	2,72	14,32
27/11/1993	5,23	16,83	07/02/2014	4,59	16,19
06/02/1995	2,99	14,59	11/04/2014	4,37	15,97
08/04/1995	4,16	15,76	24/05/2014	3,68	15,28
06/02/1999	3,12	14,72	30/11/2014	5,32	16,92
18/05/2000	3,95	15,55	04/10/2014	5,15	16,75
03/03/2001	4,42	16,02	12/08/2015	5,43	17,03
25/03/2001	3,26	14,86	16/09/2018	3,60	15,2
			14/10/2019	3,34	14,94

Fuente: Asociación de Bomberos Voluntarios de Luján

5.2. Simulación de la amenaza a inundaciones en la ciudad de Luján

La información de base para realizar la simulación de inundaciones es el MDE aerofotogramétrico presentado en la figura 4.4 y dos capas temáticas digitales en formato vectorial, una correspondiente a la digitalización del río Luján y otra que contiene a la digitalización de los afluentes (Figura 5.8), ambos en formato de polígonos, como lo requiere la aplicación del procedimiento de simulación de nivel de agua.

Se digitalizaron de forma separada el curso principal y sus afluentes para modelizar con diferentes niveles de altura cada uno, considerando que el crecimiento de los afluentes es menor al drenar sus aguas hacia el curso principal. En el procedimiento se considera la digitalización de los cursos de agua y, por asociación espacial, se toman como referencia los valores de altura del MDE aerofotogramétrico superpuesto. A partir de esa altura se realiza la modelización aumentando el nivel del agua y representando cuáles serían las áreas inundadas en función de la altura del terreno. Para este análisis se fueron simulando, mediante la utilización del software Global Mapper, diferentes niveles considerando la información de base de la mancha de inundación del 2015 cartografiada por la Subdirección de Emergencia y Defensa Civil de la municipalidad de Luján.

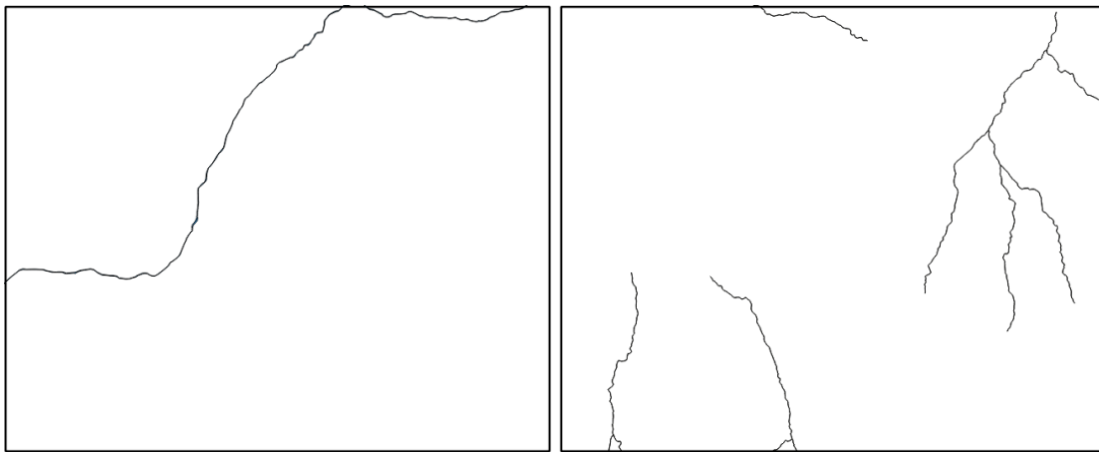


Figura 5.8. Digitalización del río Luján y sus afluentes en formato polígono

Fuente: Elaboración propia

Se modelizó una inundación de características similares a la última gran inundación de agosto del 2015, que alcanzó los 17,03 de elevación según la cota del IGN, en el sector

del río donde se localiza el hidrómetro de los Bomberos Voluntarios de Luján. En el programa esta consideración supuso aumentar en 2 metros el nivel del agua (Figura 5.9), ya que en ese sector del río el MDE arroja una altura aproximada de 15 metros. Además se consideró un escenario 2, de mayor envergadura, con un nivel de agua 50 cm mayor, de 2.50 metros (Figura 5.10). Esta segunda modelización considera como referencia la mayor inundación histórica de la que se tienen datos en Luján, acontecida en noviembre de 1985.

Para el caso de los afluentes se realizó la modelización con un aumento de 50 cm para el escenario 1 y 1 metro para el escenario 2. En estos casos, generalmente, se generan no sólo inundaciones por crecidas sino anegamientos por precipitaciones abundantes en cortos períodos de tiempo, tal es el caso del arroyo Gutiérrez y el arroyo Pereyra según información del municipio.

Finalmente, se obtienen dos escenarios posibles de inundación, el primero con un aumento de nivel de agua de 2 metros en el cauce principal y 50 centímetros de aumento en los afluentes. El segundo escenario modeliza un evento extremo, con un aumento de 2.50 metros de nivel de agua del río Luján y 1 metro en los afluentes. De esta forma, se contempla un escenario que corresponde a dimensión de las últimas inundaciones sufridas en Luján (2012, 2014 y 2015) y un escenario más desfavorable, que podría considerarse como un evento extremo asociado a los registros históricos de inundaciones de mayor gravedad en la ciudad (1967, 1984 y 1988).

Al tratarse de un área de llanura el aumento de apenas unos centímetros en el nivel de agua implica un aumento significativo de la superficie con potencialidad de inundarse,

por eso es muy importante que al momento de analizar este tipo de eventos se contemplen diferentes variables no sólo en el sector de la ciudad de Luján sino en toda la cuenca

El primer escenario junto con el mapa de vulnerabilidad socioeconómica, será utilizado para el analizar el modelo de riesgo actual. El otro escenario servirá de apoyo para analizar el modelo de riesgo futuro, considerando el modelado de expansión urbana que, sin dudas, implica una mayor presión sobre áreas cercanas al río Luján y sus afluentes, al aumentar la cantidad de superficie construida y disminuir de esta forma la capacidad de drenaje natural de las aguas.

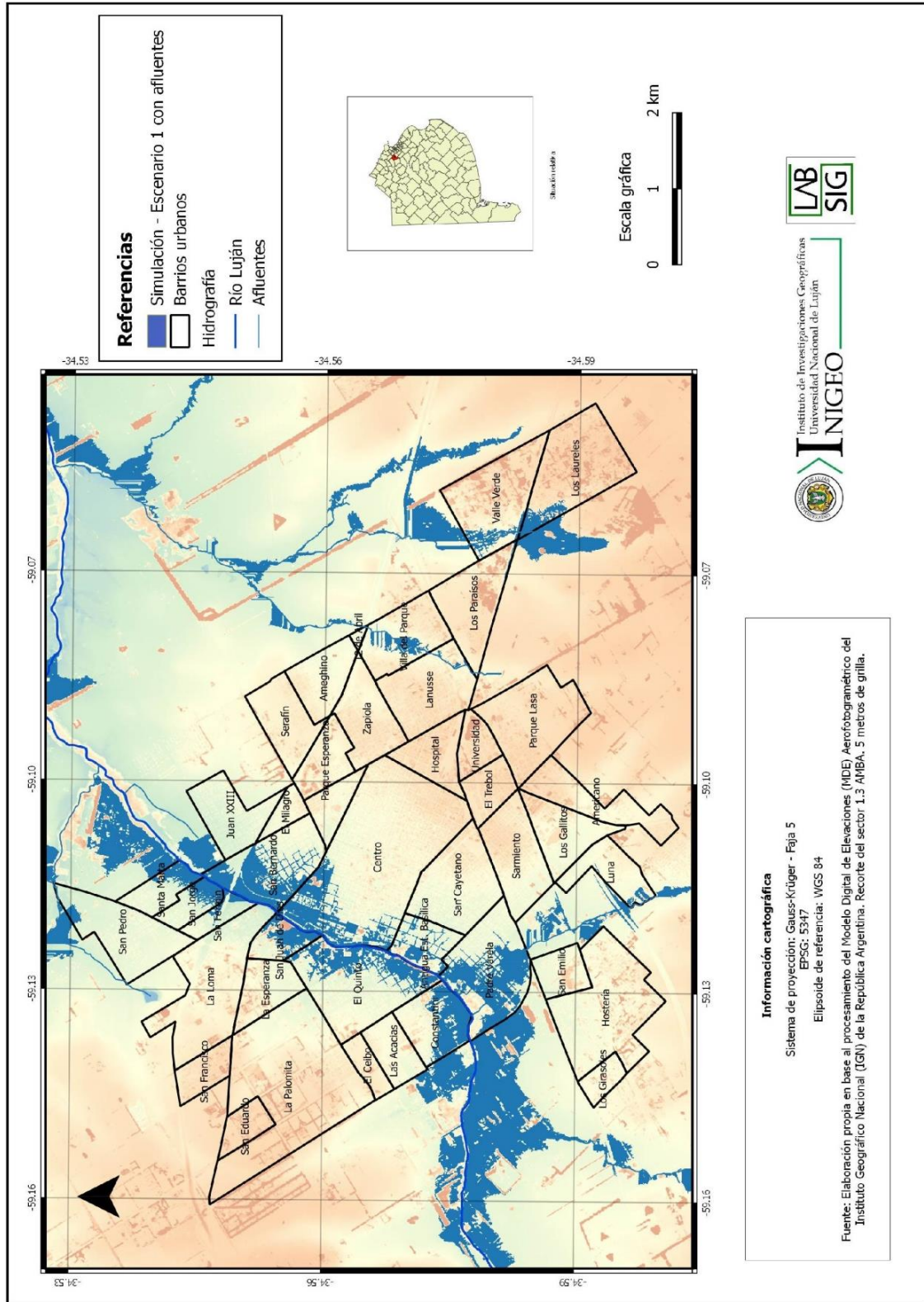


Figura 5.9. Simulación de inundación del río Luján y afluentes. Escenario 1

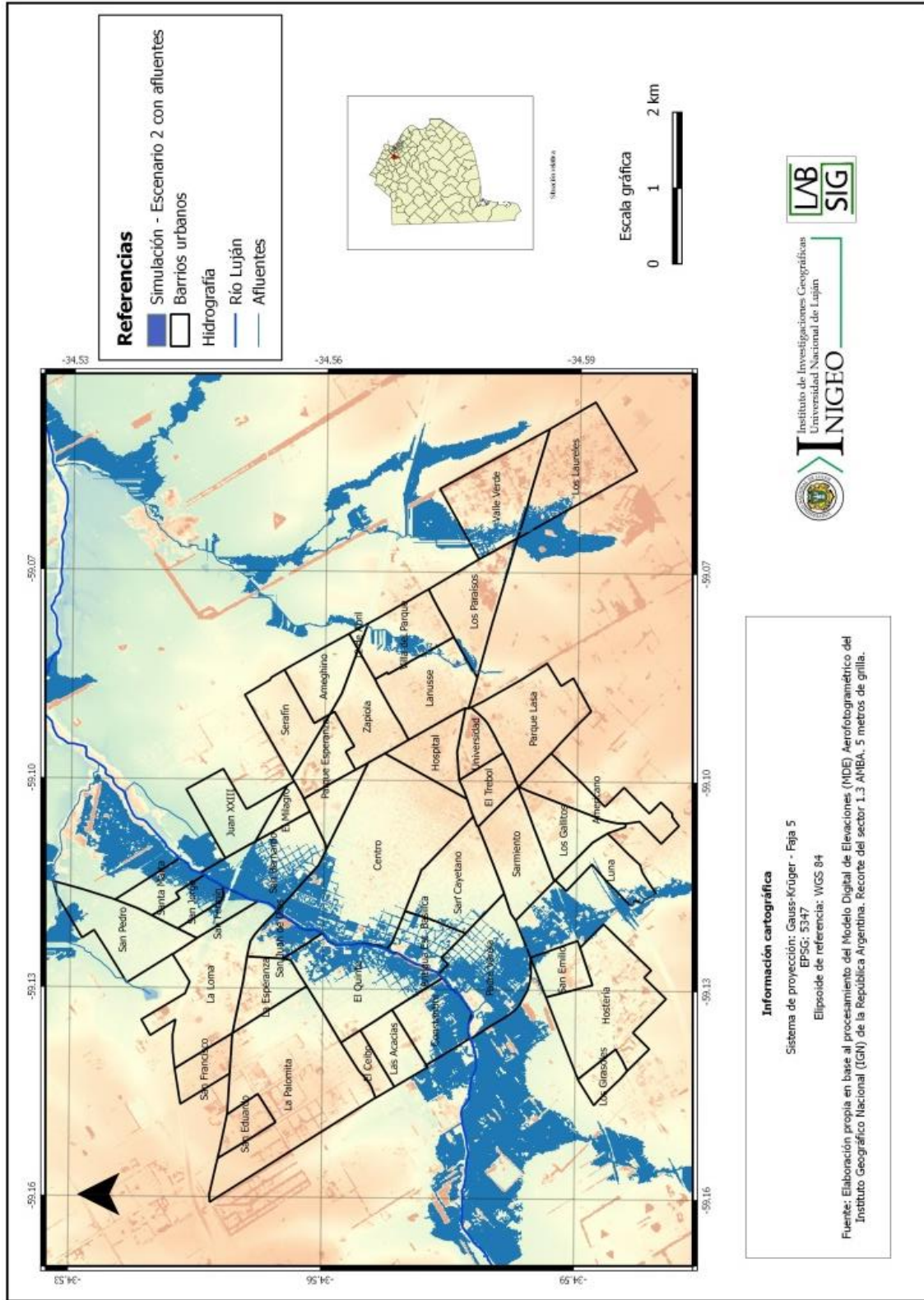


Figura 5.10. Simulación de inundación del río Luján y afluentes. Escenario 2.

5.2.1. Análisis del mapa de amenaza

Las modelizaciones realizadas evidencian que existen varios sectores de la ciudad con amenaza de inundaciones, tanto por el río Luján como por sus afluentes. Como ya se mencionó, al tratarse de un área muy llana, el problema de las inundaciones se extiende por varios días, generando anegamientos ante la demora del agua en bajar.

Si bien se trata de una amenaza de origen natural, vinculada principalmente al régimen pluviométrico y a la dinámica de la cuenca hidrográfica, es importante mencionar que los eventos de inundación se han ido agravando con el paso del tiempo debido a diferentes modificaciones de origen antropogénicas en la cuenca. En el sector de la cuenca media y baja, en las últimas tres décadas aumentaron considerablemente las urbanizaciones privadas que, bajo la concepción de “vivir en la naturaleza”, han ocupado superficies correspondientes al valle de inundación del río, realizando diferentes modificaciones como el levantamiento de los terrenos o la construcción de lagunas artificiales, entre otras intervenciones; generando cambios significativos en la dinámica natural de la cuenca que han agravado la problemática de las inundaciones, incluso en áreas que antes no tenían dificultades. A esto se suma el aumento de asentamientos informales en áreas inundables, no aptas para urbanizar. Por su parte, en la cuenca alta, donde prevalece el área rural, también se evidencian modificaciones antrópicas que producen cambios a la largo de toda la cuenca, como por ejemplo la construcción de canales clandestinos para evacuar el agua de los campos de forma más rápida hacia el río Luján, afectando el caudal del mismo. Existen trabajos geográficos que abordan estos diferentes aspectos de la problemática de inundaciones en la cuenca (Pintos y Narodowski, 2012; Carballo, 2010; Ríos, 2005). En esta investigación, la modelización de las áreas inundables en la ciudad de Luján a partir de un MDE

aerofotogramétrico busca caracterizar la amenaza a nivel espacial, como insumo fundamental para abordar el análisis del riesgo, a partir de asociar espacialmente la amenaza con las características de vulnerabilidad socioespacial de la población.

El escenario de simulación 1 (Figura 5.9) del río Luján fue comparado con el mapa de la mancha de inundación del casco urbano levantada *in situ* en el 2015, por personal de la Subdirección de Emergencia y Defensa Civil el municipio, dando muy buen resultado, con un alto grado de correspondencia entre los mapas. De las áreas inundables vinculadas a los afluentes, las que más dificultades tienen son las cercanas al arroyo Gutiérrez (en el sur-oeste de la ciudad) y el arroyo Lanusse (en sur-este de la ciudad).

La generación de cartografía sobre áreas inundables es importante para detectar áreas y elementos que se encuentran expuestos a la amenaza y de esta forma poder orientar en la toma de decisiones espaciales a partir de reconocer el potencial impacto que podría tener el evento de inundaciones en el área urbana.

5.3. La vulnerabilidad socioeconómica en la ciudad de Luján

Como se adelantó en el capítulo metodológico, para analizar espacialmente la vulnerabilidad socioeconómica se utilizó la metodología del Valor de Índice Medio. Inicialmente fue necesario seleccionar aquellos indicadores representativos que permitan medir diferentes dimensiones de la vulnerabilidad. Los indicadores que se consideran para este trabajo contemplan datos de educación, hogares, viviendas y empleo extraídos de la base de datos del último Censo Nacional de Población, Hogares

y Viviendas del 2010, realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC), a nivel de radio censal y luego se analizan los resultados asociándolos espacialmente a la delimitación de barrios de la ciudad, para mejor interpretación. La base de datos de barrios fue proporcionada por la Subdirección de Emergencia y Defensa Civil del municipio de Luján.

5.3.1. Datos

A continuación se detallan los indicadores utilizados, a partir de las definiciones explicitadas de la base de datos REDATAM (INDEC, 2013) y la cartografía temática, realizada a través de métodos de intervalos iguales, para observar la distribución espacial de cada una:

-Población de 0-14 años (POB_0-14): Es una de las categorías incluida en “Edad en grandes grupos”, contempla la edad en años cumplidos a la fecha de referencia del Censo, agrupada en tres categorías. Se utiliza el primer grupo de edad, que incluye los menores de 14 años (Figura 5.11).

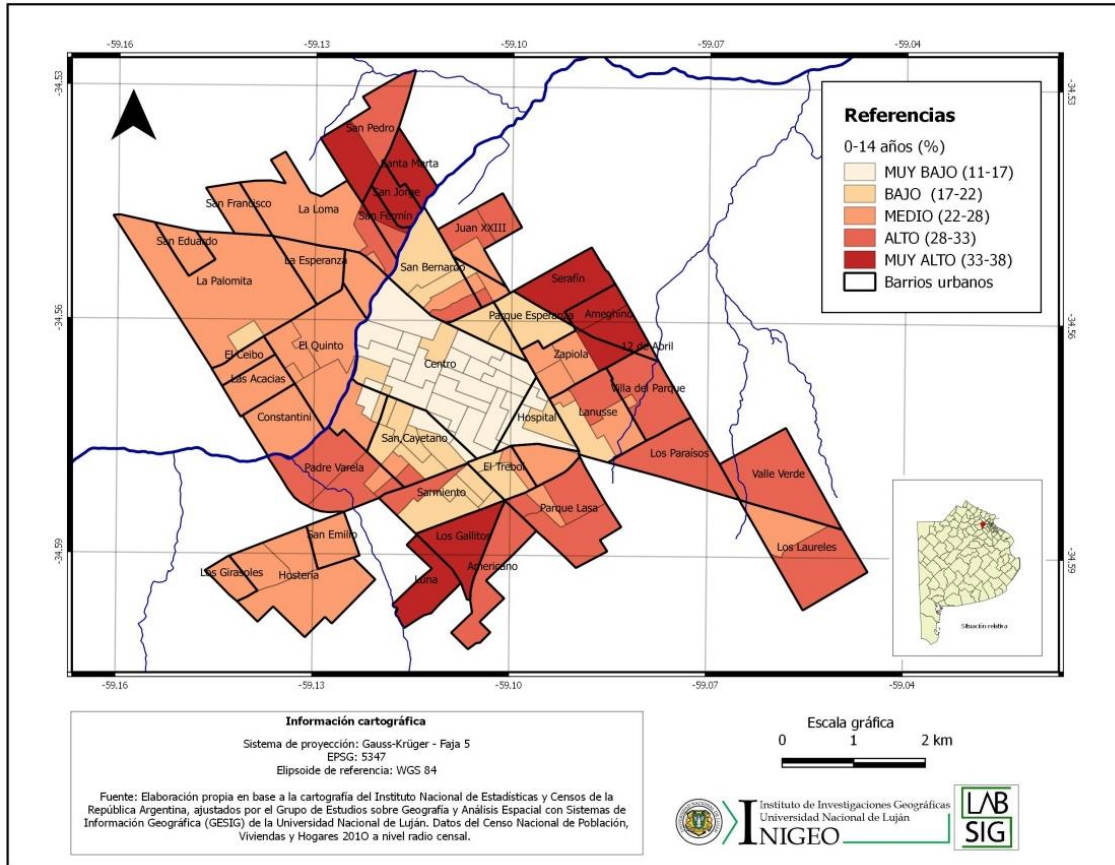


Figura 5.11. Distribución espacial de la población menor de 14 años

Este grupo etario se considera para el análisis de la vulnerabilidad porque es un grupo dependiente de la población mayor ante un evento de inundaciones. La distribución espacial de la población menor de 14 años en la ciudad de Luján muestra una tendencia de aumento desde el centro a la periferia. El barrio centro con muy bajo porcentaje de niños y jóvenes y una periferia con porcentajes más elevados, principalmente en las zonas noreste de la ciudad.

-Población de 65 años y más (POB_65+): Es una de las categorías incluida en “Edad en grandes grupos”, contempla la edad en años cumplidos a la fecha de referencia del

Censo, agrupada en tres categorías. Se utiliza el tercer grupo de edad, que incluye los mayores de 65 años (Figura 5.12).

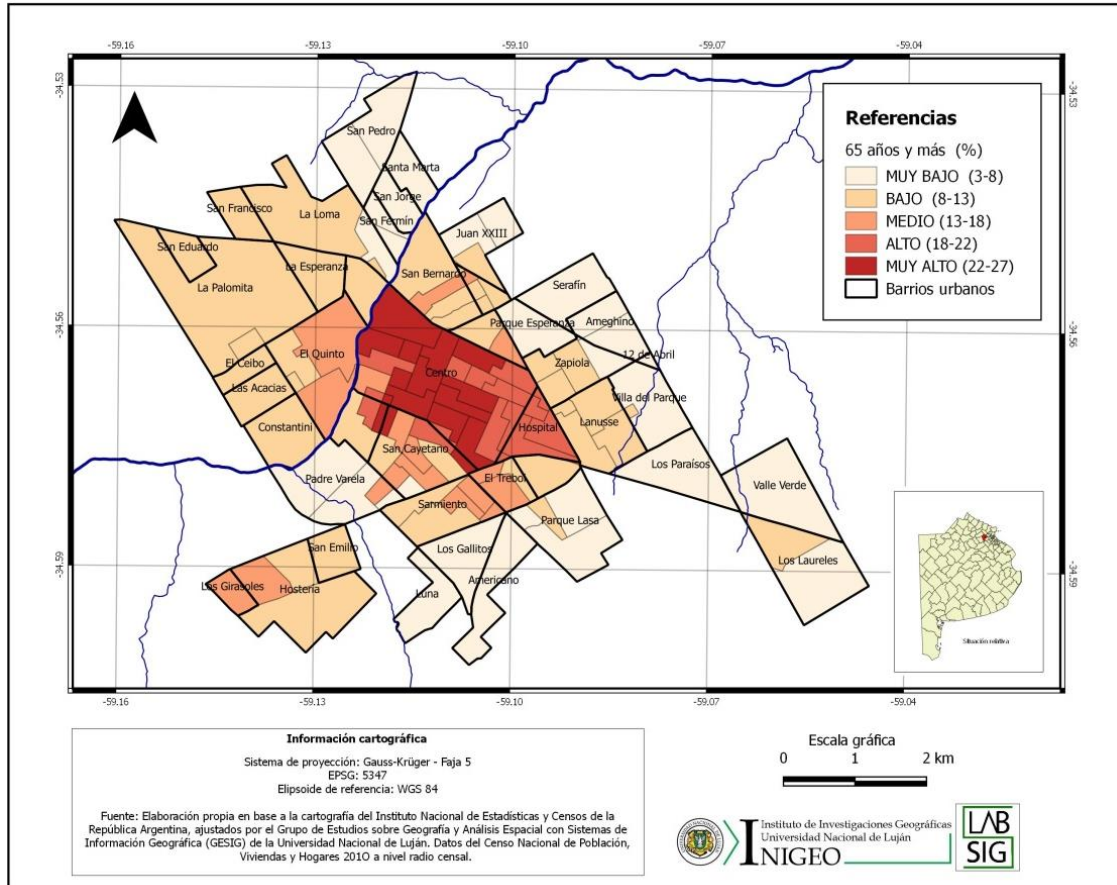


Figura 5.12. Distribución espacial de la población de 65 años y más

Al igual que el indicador anterior, este grupo etario se considera para el análisis de la vulnerabilidad porque es un grupo dependiente que muchas veces necesita asistencia de población más joven, sobre todo ante una emergencia. La distribución espacial de la población adulta mayor muestra una tendencia inversa a la de niños y jóvenes. Existen altos porcentajes de población mayor a 65 años en el centro de la ciudad y estos disminuyen hacia la periferia.

-**Analfabetismo (ANALF_T)**: Se considera la tasa de analfabetismo que es el cociente entre el número de personas analfabetas de 10 años y más y el total de la población de 10 años y más por cien (Figura 5.13).

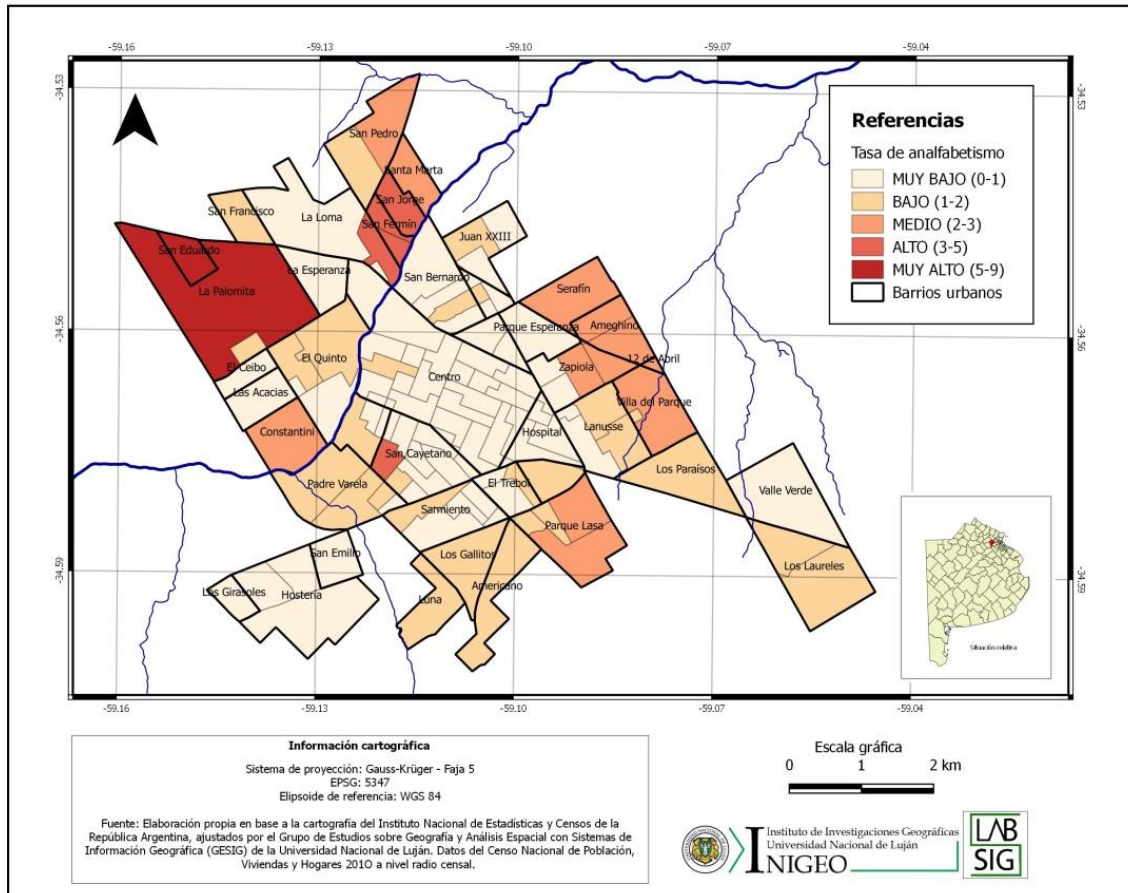


Figura 5.13. Distribución espacial de la tasa de analfabetismo

Dentro de la dimensión educativa es importante conocer este tipo de indicadores que denotan aspectos de desfavorabilidad al momento de enfrentar situaciones de amenaza, vinculadas por ejemplo a la imposibilidad de leer información sobre el evento. En líneas generales, la tasa de analfabetismo en la ciudad es baja, siguiendo la tendencia de un leve aumento desde el centro a la periferia. Se resalta un sector al noroeste con una tasa que llega a 9%.

-Máximo nivel educativo alcanzado: es el máximo nivel de estudio de la población mayor de 15 o mayor de 25 años, ya sea que lo haya completado o no. Se considera el indicador “Primario completo” (PRIM_COMP), que incluye a las personas que cursaron y aprobaron el último grado del nivel. Este nivel se considera como bajo nivel de instrucción (5.14).

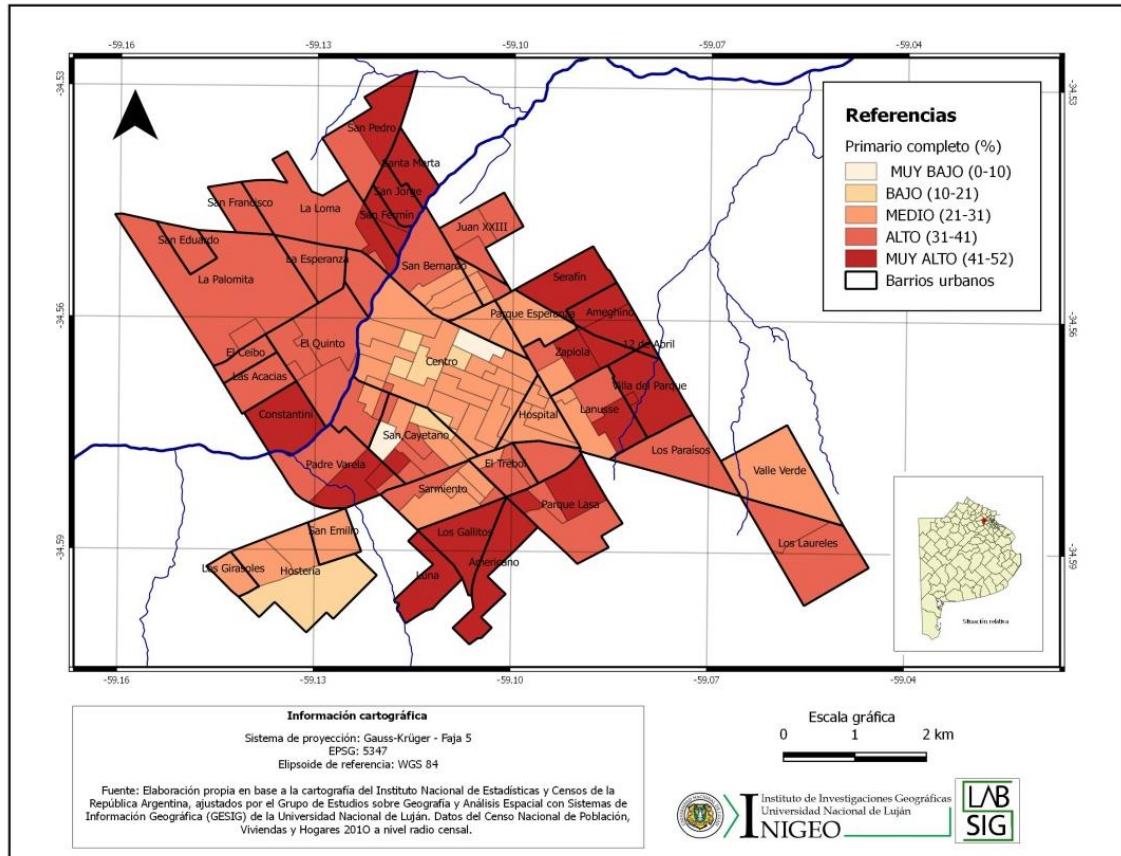


Figura 5.14. Distribución espacial de la población con primaria completa como máximo nivel educativo alcanzado

Como lo expresado con la tasa de analfabetismo, este es otro indicador importante de la dimensión educativa que representa un bajo nivel de instrucción de la población. La tendencia sigue siendo similar, con un aumento del porcentaje de población que alcanzó como máximo nivel educativo la educación primaria desde el centro a la periferia. Se observan las situaciones más desfavorables.

-Hogares con Necesidades básicas insatisfechas (HOG_NBI): Se consideran hogares con NBI aquellos en los cuales está presente al menos uno de los siguientes indicadores de privación: Hogares que habitan viviendas con más de 3 personas por cuarto (hacinamiento crítico), hogares que habitan en una vivienda de tipo inconveniente (pieza de inquilinato, vivienda precaria u otro tipo), hogares que habitan en viviendas que no tienen retrete o tienen retrete sin descarga de agua, hogares que tienen algún niño en edad escolar que no asiste a la escuela, hogares que tienen 4 o más personas por miembro ocupado y en los cuales el jefe tiene bajo nivel de educación - sólo asistió dos años o menos al nivel primario (Figura 5.15).

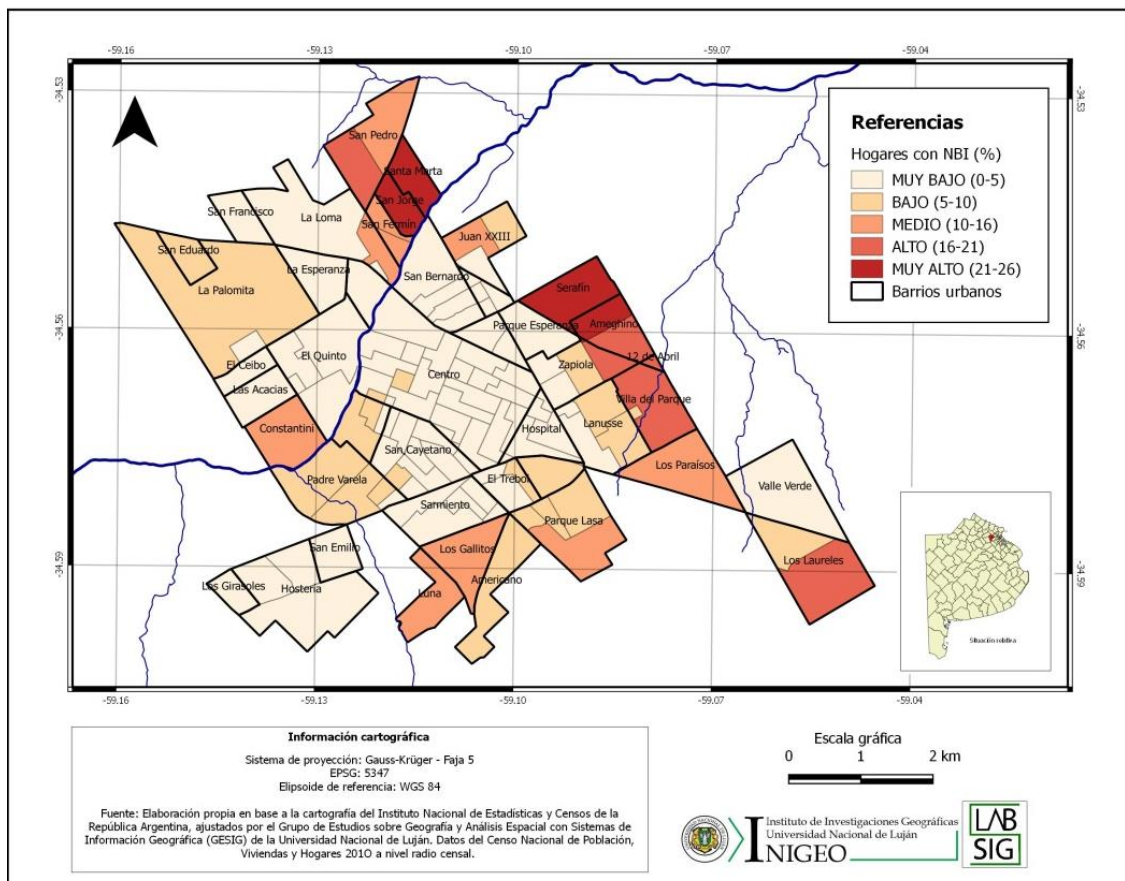


Figura 5.15. Distribución espacial de los hogares con al menos un indicador de NBI

El indicador de hogares con NBI es muy significativo, ya que intrínsecamente ya considera diferentes aspectos de vulnerabilidad (social, habitacional, educativa), de forma integral. La distribución espacial evidencia que las condiciones desmejoran hacia la periferia de la ciudad, principalmente en el sector noreste (barrios Santa Marta, San Jorge y San Fermín) y en el sector centro-este (barrios Serafín y Ameghino).

-Calidad constructiva de la vivienda: este indicador se construye a partir de la calidad de los materiales con los que está construida la vivienda y las instalaciones internas a servicios básicos (agua de red y desagüe). Al igual que el indicador anterior se clasifica en “satisfactoria”, “básica” e “insuficiente”. Y se considerará para el cálculo del VIM la categoría “insuficiente” (CCV_INSUF) que incluye aquellas viviendas que no disponen de materiales resistentes, sólidos y con la aislación adecuada y no tienen techo de chapa o fibrocemento. También se consideran aquellas viviendas que no cuentan con cañerías dentro ni inodoro con descarga de agua (Figura 5.16).

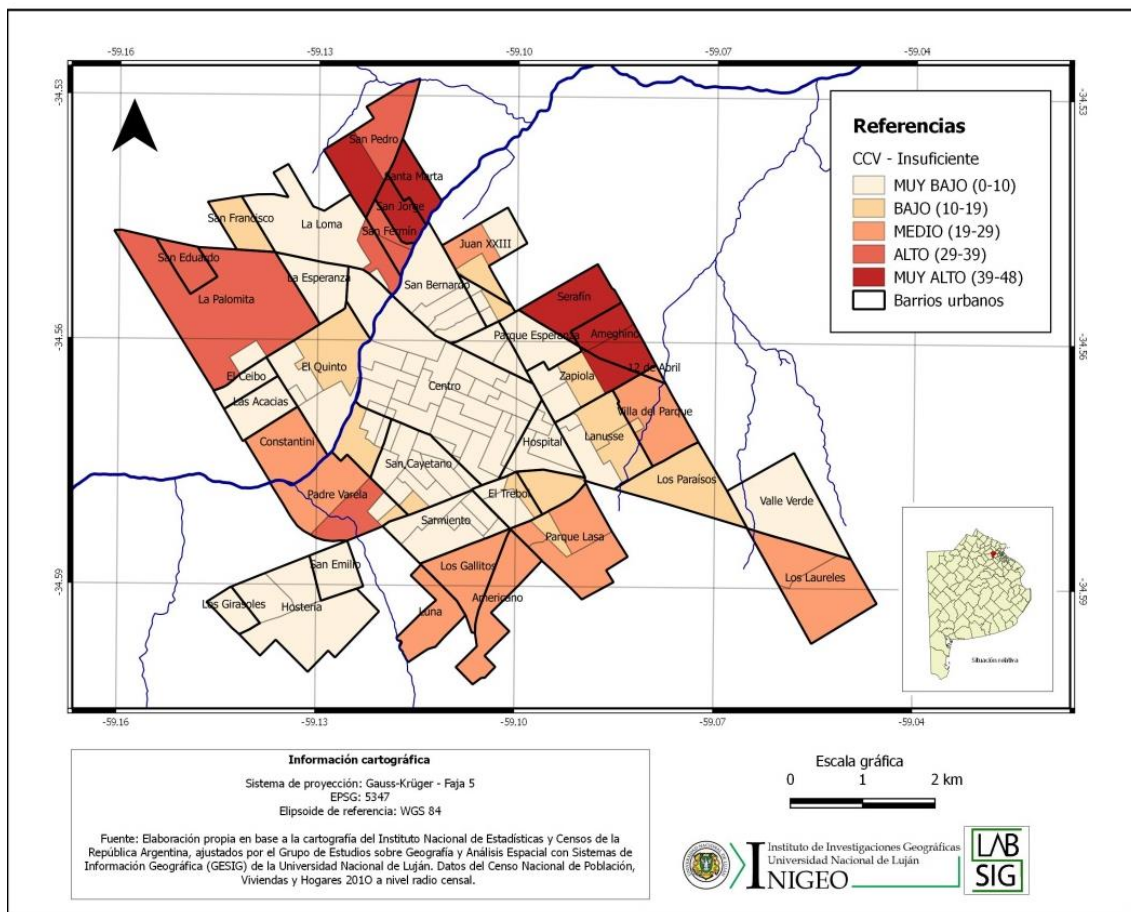


Figura 5.16. Distribución espacial del indicador de calidad constructiva de la vivienda – insuficiente

Este indicador da cuenta de un aspecto de la vulnerabilidad físico-habitacional, ya que hace énfasis en la calidad de los materiales que fueron utilizados para construcción de las viviendas. Ante el evento de inundaciones es importante considerar este aspecto de la vulnerabilidad porque las afectaciones pueden variar de forma significativa según la calidad constructiva de las viviendas. La distribución espacial nos muestra nuevamente una situación que desmejora desde el centro hacia la periferia de la ciudad, con áreas de la ciudad donde el porcentaje de viviendas construidas con las calidad de materiales insuficientes llega casi al 50% (sector noreste y centroeste de la ciudad).

-Condición de actividad (DESOCUPADO): Comprende a la población de 14 o más años que, en el período de referencia adoptado por el Censo, estuvo “ocupada”, “desocupada” o “inactiva” (la población inactiva comprende a los mayores de 14 años no incluidos en la población económicamente activa, como jubilados, estudiantes y otras situaciones). Para el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica se contempló la categoría de “desocupado”, que incluye la población que no realizó ninguna actividad (paga o no) que genera bienes o servicios para el mercado, durante por lo menos una hora, en la semana anterior a la fecha de referencia del censo pero que durante las cuatro semanas anteriores al día del censo, realizó acciones tendientes a establecer una relación laboral o iniciar una actividad empresarial, tales como responder o publicar avisos en los diarios u otros medios solicitando empleo, registrarse en bolsas de trabajo, buscar recursos financieros o materiales para establecer una empresa, solicitar permisos y licencias para iniciar una actividad laboral (Figura 5.17).

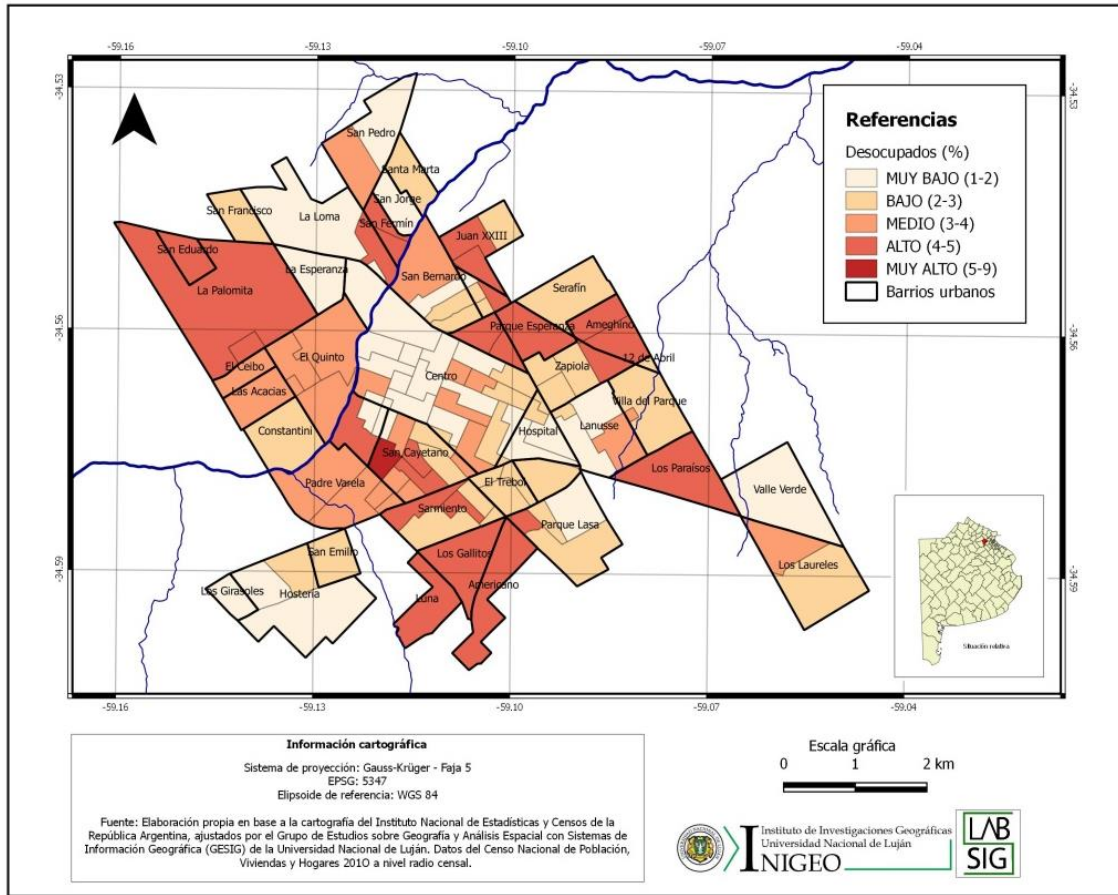


Figura 5.17. Distribución espacial de la población desocupada

Este indicador se consideró, junto con el indicador de relación de dependencia, como aspecto de vulnerabilidad económica de la población. La distribución espacial es bastante heterogénea, aunque es posible identificar el área del centro con porcentajes más bajos, hacia la periferia la situación varía en los diferentes radios censales.

-Relación de dependencia (REL_DEP): Se considera la proporción de población potencialmente no económicamente activa (jubilados, estudiantes, menores de 14 años, etc.) con respecto al total de la población potencialmente activa (personas que tienen una ocupación o que están buscando activamente), expresando el número de personas inactivas que sostiene cada individuo en edad activa (Figura 5.18).

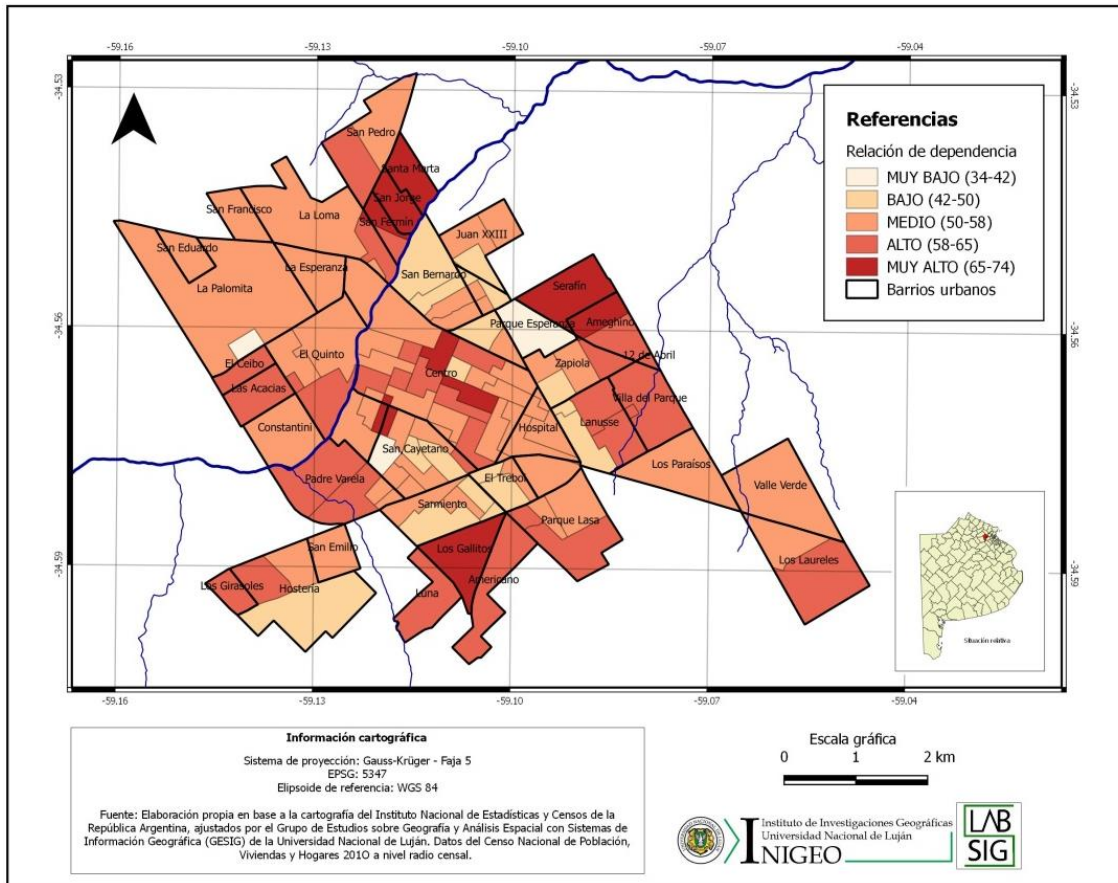


Figura 5.18. Distribución espacial del indicador de relación de dependencia

Este es otro indicador que refleja la vulnerabilidad económica de una población, dado que cuando mayor es la relación de dependencia más desfavorable es la situación porque existe un pequeño porcentaje de población activa que sostiene a la inactiva. La distribución espacial de este indicador es heterogénea y podemos vincularlo con los indicadores de población menor a 14 años y mayor a 65 años. En los sectores de la ciudad donde esos porcentajes son altos aparece una relación de dependencia más alta, aunque en el mapa no quede explícito, por asociación espacial podemos inferir que en el área centro de la ciudad los valores altos se deben a un gran porcentaje de población adulta mayor que posiblemente estén jubilados y por ende, forman parte de la población pasiva definitiva. En cambio, en la periferia de la ciudad, sobre todo en el sector noreste

y centro-este, podemos vincularlo con el alto porcentaje de niños y jóvenes menores a 14 años que no están ocupados y por lo tanto aumentan la relación de dependencia.

5.3.2. Cálculo del VIM

A partir de la definición de los indicadores, se construyó la Matriz de Datos Originales (MDO) con los datos absolutos extraídos del Censo a nivel de radio censal (Tabla 5.2). Posteriormente, fue transformada en una Matriz de Datos Índice (MDI) a partir de calcular la participación porcentual de cada uno de los datos del indicador sobre la variable de base global de la cual están extraídas, de esta forma fueron relativizados respecto del valor total de población, hogares y viviendas, según correspondía (Tabla 5.3).

Tabla 5.2.

Fragmento de la matriz de datos originales (MDO)

Radio	PRIM_COM	HOG_NBI	DESOCUPADO	CCV_INSUFI
64970102	107	1	14	3
64970103	141	1	14	3
64970104	213	2	13	2
64970105	181	1	25	1

Tabla 5.3

Fragmento de la Matriz de Datos Índice (MDI)

Radio	PRIM_COM_%	HOG_NBI_%	DESOCUP_%	CCV_INSU_%
64970102	20,70	0,50	2,71	1,25
64970103	26,91	0,49	2,67	1,30
64970104	24,29	0,64	1,48	0,53
64970105	23,0	0,34	3,18	0,27

La conversión de la MDI a MDZ se realizó a partir de restar el promedio o media aritmética de los valores de los indicadores y dividir el resultado por la desviación típica o estándar (Tabla 5.4). Este procedimiento hace que los datos sean perfectamente comparables. Las matrices completas están disponibles en el apéndice 1.

Tabla 5.4

Fragmento de la Matriz de Datos Estándar (MDZ)

Radio	PRIM_COM_Z	HOG_NBI_Z	DESOCUP_Z	CCV_INSU_%
64970102	-1,33	-0,86	0,18	-0,78
64970103	-0,67	-0,86	0,14	-0,77
64970104	-0,95	-0,83	-1,33	-0,83
64970105	-1,08	-0,88	0,77	-0,85

El paso siguiente de la metodología considera la categorización de los indicadores estandarizados considerando su posición con respecto a la media aritmética de la variable respectiva , a partir de esto se realiza una nueva matriz con los datos del VIM categorizados y se obtiene el promedio en cada indicador (Tabla 5.5).

Tabla 5.5

Fragmento del cálculo y promedio del VIM

Radio	PRIM_COM_VIM	HOG_NBI_VIM	DESOCU_VIM	CCV_INSUF_VIM	PROMEDIO_VIM*
64970102	1	2	3	2	2
64970103	2	2	3	2	2,40
64970104	2	2	1	2	2,30
64970105	1	2	4	2	2,40

*Los promedios del VIM de la tabla corresponden a la totalidad de indicadores, a modo de ejemplo se colocan sólo 4 indicadores.

Finalmente se realiza la categorización del VIM en 5 intervalos (Tabla 5.6), que servirán de base para la realización de la cartografía donde se representará los diferentes niveles de vulnerabilidad socioeconómica en la ciudad de Luján.

Tabla 5.6

Calificación numérica y cualitativa del VIM

Calificación	VIM	Nivel de Vulnerabilidad
1	Menor a 2.50	Muy bajo
2	Entre 2.50 y 3	Bajo
3	Entre 3 y 3.50	Medio
4	Entre 3.50 y 4	Alto
5	Mayor a 4	Muy Alto

A partir de la calificación del VIM fue posible incorporar los datos en el SIG y obtener el mapa de vulnerabilidad socioeconómica de la ciudad de Luján (Figura 5.19)

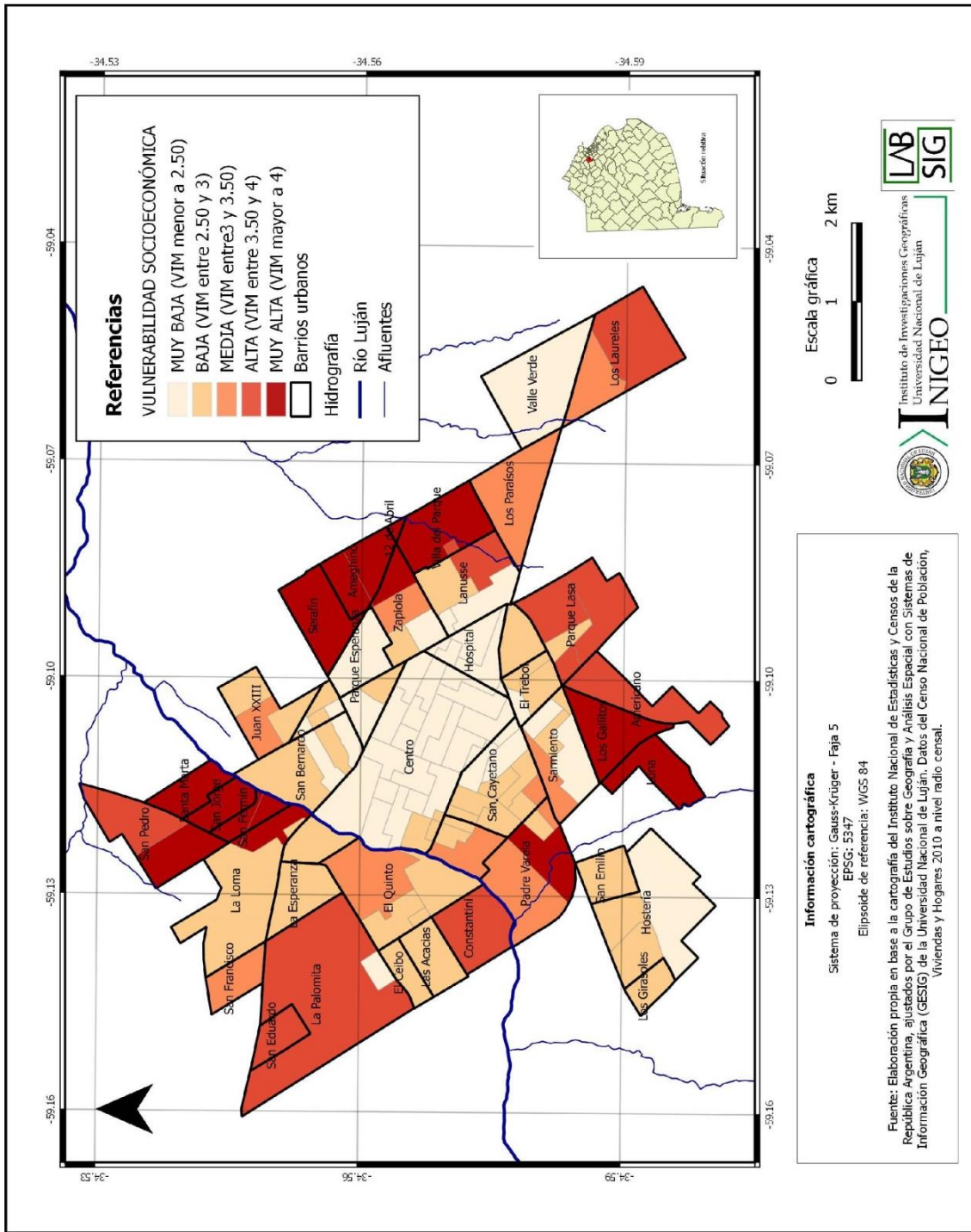


Figura 5.19. Distribución espacial de la vulnerabilidad socioeconómica. Luján (Buenos Aires)

5.3.3. Análisis del mapa de vulnerabilidad

Como se observa en la figura 5.19, la distribución de la vulnerabilidad socioeconómica de la ciudad de Luján aumenta desde el centro a la periferia. Los puntajes del VIM fueron mapeados en colores graduados a fin de presentar los valores de intensidad obtenidos en cada radio censal urbano. A partir de las tonalidades puede verse un aumento escalonado de la vulnerabilidad desde el centro (color más claro) hacia la periferia (color más oscuro) en el cual se presenta, a grandes rasgos, un modelo de anillos concéntricos (Burgess, 1925) con dos ejes de expansión periférica de buenas condiciones (sudeste y sudoeste) y con algunas excepciones concretas en barrios como Valle Verde, Los Girasoles, San Emilio y La Hostería, que se incorporaron tardíamente al ejido urbano de la ciudad como áreas residenciales orientadas a población con nivel socioeconómico medio y medio-alto.

Los barrios que presentan condiciones de vulnerabilidad socioeconómica más desfavorables son San Fermín, San Jorge, Santa Marta, San Pedro, Serafín, 12 de Abril, Ameghino, Villa del Parque, Padre Varela Los Gallitos y Luna, con un nivel de vulnerabilidad muy alto, donde viven 13410 personas, y donde el 35% son menores de 14 años. Le siguen los barrios La Palomita, San Eduardo, Americano, Parque Lasa, Lanusse, Los Laureles y Constantini, donde residen 7739, y un porcentaje de menores de 14 años de 24%. En conjunto suman 20149 personas, que corresponden aproximadamente al 25% de población urbana.

En contraposición, los barrios que presentan las mejores condiciones, considerando niveles muy bajos de vulnerabilidad, son el barrio Centro, Hospital, Parque Esperanza Sarmiento, Valle Verde y Hostería.

En un trabajo reciente (Principi y Buzai, 2020) se realizó la interpretación modelística del mapa de vulnerabilidad considerando el mapa social de la ciudad de Luján del año 2010 (Figura 5.20) que presenta las condiciones sociohabitacionales intraurbanas de la población.

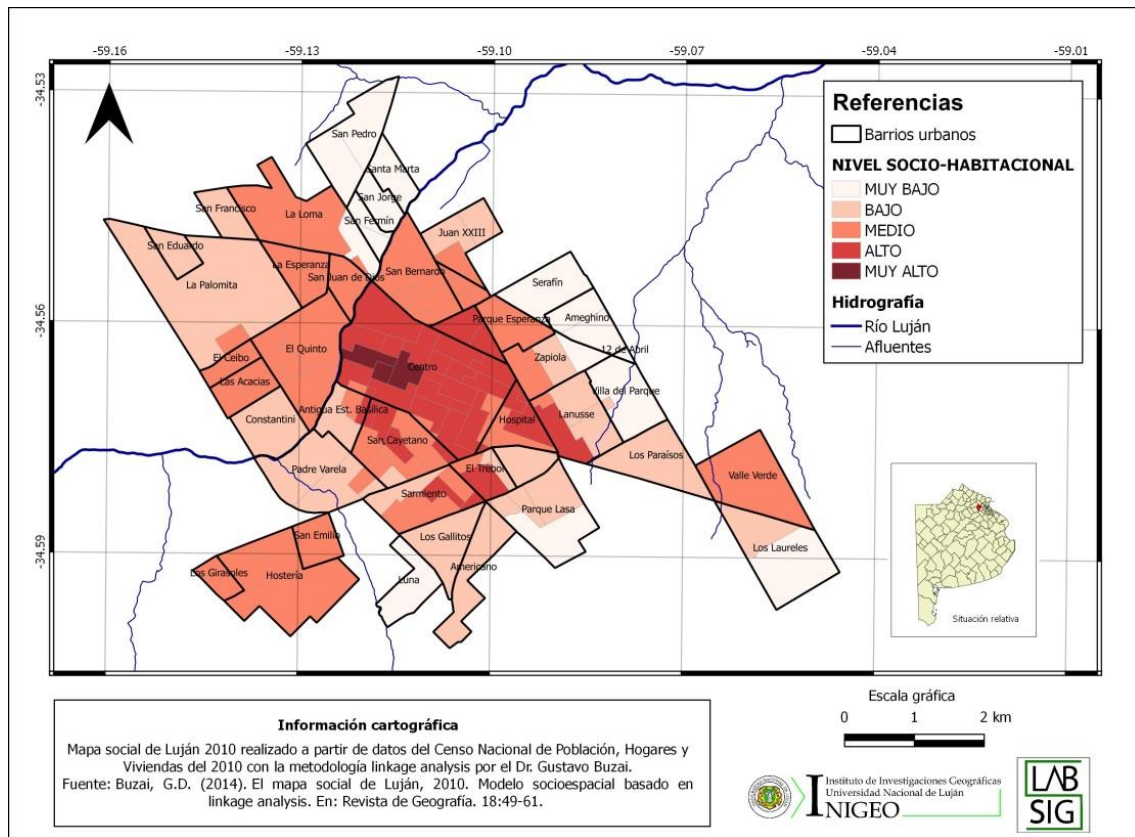


Figura 5.20. Mapa social de la ciudad de Luján (2010)

Fuente: Principi y Buzai (2020)

Los valores del mapa social fueron representados cartográficamente en colores graduados considerando sus intensidades en relación directa al valor cuantitativo de las condiciones socioespaciales. De acuerdo a la distribución espacial de las categorías del mapa social puede apreciarse que las características socioespaciales aumentan su desfavorabilidad desde el centro (tonos oscuros) hacia la periferia (tonos claros) en una

configuración anular, con la aparición de un incipiente sector de crecimiento sudoeste. Esto corresponde al típico modelo de ciudad de tamaño intermedio con base en el modelo de anillos concéntricos e iniciales desarrollos sectoriales. El modelo de los anillos concéntricos (Burgess, 1925) fue el primer modelo urbano que recurrió a la geometría como lenguaje de la forma espacial, explicando las distribuciones intraurbanas a través de la utilización de conceptos tomados de la Ecología, incorporada al estudio de la realidad urbana a través de la Ecología Urbana, campo de investigación desarrollado por la ya mencionada Escuela de Chicago. El mapa social de Luján evidencia esta base anular y, a su vez, un incipiente desarrollo del modelo sectorial (Griffin y Ford, 1980), donde aparece en forma de columna un nuevo sector de expansión residencial de nivel socioeconómico alto. En Luján, se evidencia este sector de crecimiento en el sudoeste de la ciudad (Principi y Buzai, 2020).

Con una simple interpretación visual de los mapas se observa que la distribución espacial tiene un comportamiento similar al de la vulnerabilidad, solo que se representa con tonos inversos porque el mapa de vulnerabilidad socioeconómica los valores más altos (tonos oscuros) corresponden a las condiciones más desfavorables mientras que el mapa social representa en su valores más altos (tonos oscuros) las mejores condiciones respecto al nivel sociohabitacional de la población.

Es posible cuantificar esta asociación entre los mapas a través de un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA, Exploratory Spatial Data Analysis) basado en un análisis bivariado (entre dos variables) que permite generar un gráfico de dispersión (*scatter diagram*), en el que cada variable (vulnerabilidad socioeconómica y nivel sociohabitacional) queda representada por un eje ortogonal (90°) y cada unidad espacial (radios censales) aparece como un punto de localización *x-y* a partir de sus valores de

coordenadas en cada eje (Buzai y Baxendale, 2012). Los valores de las variables en el diagrama se representan en puntajes estandarizado z y los ejes se ubican en valor 0, promedio en ambas variables. De este modo, se definen cuatro espacios como cuadrantes inferior izquierdo (--) representa las unidades espaciales con valores bajos en ambos mapas, el superior izquierdo con bajos valores en x y altos en y (+-), el superior derecho con valores altos en ambos mapas (++) y el inferior derecho con valores altos en x y bajos en y (-+).

Cuando analizamos el sentido de la relación entre ambas variables se calcula la recta de regresión tomando la nube de puntos formada por todas las unidades espaciales en el sistema de coordenadas. Si la recta va desde el espacio -- al espacio ++ se dice que existe una relación positiva y cuando se dirige desde el espacio +- al espacio -+ la relación es negativa, mientras que la intensidad de la relación se determina de acuerdo a la dispersión de los puntos respecto a la recta. Para el análisis bivariado se considera la matriz de correlación de las variables que se en base al cálculo del coeficiente de correlación r . El resultado del coeficiente se ubica entre $r = 1$ (máximo positivo) y $r = -1$ (máxima negativa), indicando $r = 0$ la falta de correlación. La figura 5.21 muestra el resultado obtenido para la correlación del mapa de vulnerabilidad socioeconómica y el mapa social.

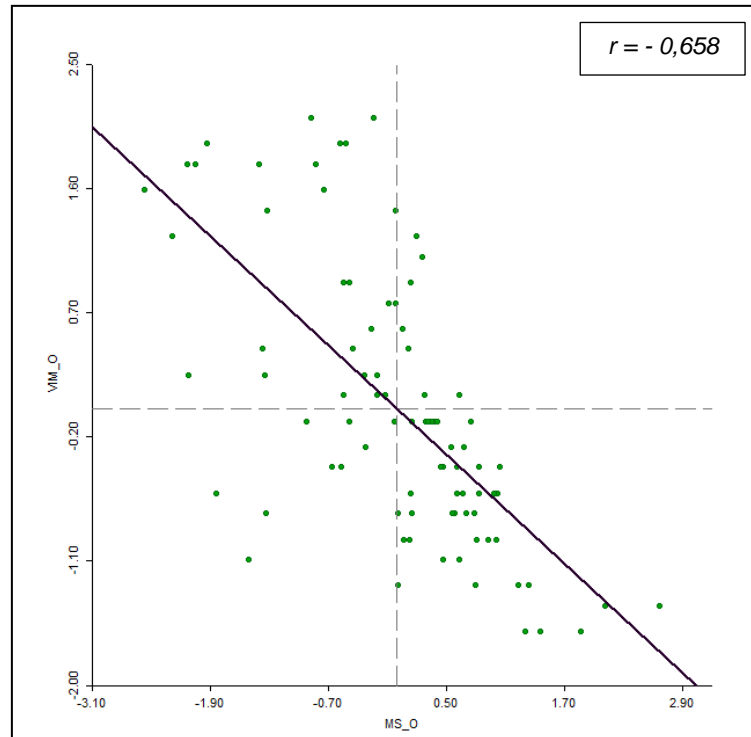


Figura 5.21. Diagrama de dispersión con valores estandarizados

Fuente: Elaboración personal en el software GeoDa

El gráfico presenta una correlación de $-0,66$. Esto significa que hay una correlación negativa significativa entre las dos distribuciones espaciales consideradas. A medida que los valores del mapa social son más altos (mejor nivel socioeconómico) los valores de vulnerabilidad socioeconómica son más bajos, siendo que el $r^2 = 0,43$ nos dice que, considerando una relación de causalidad, el mapa social explica en un 43% la vulnerabilidad socioeconómica. Para analizar con mayor detalle esta relación se realiza la vinculación gráfica-cartográfica a partir de los diferentes cuadrantes del espacio de relaciones (Figura 5.22).

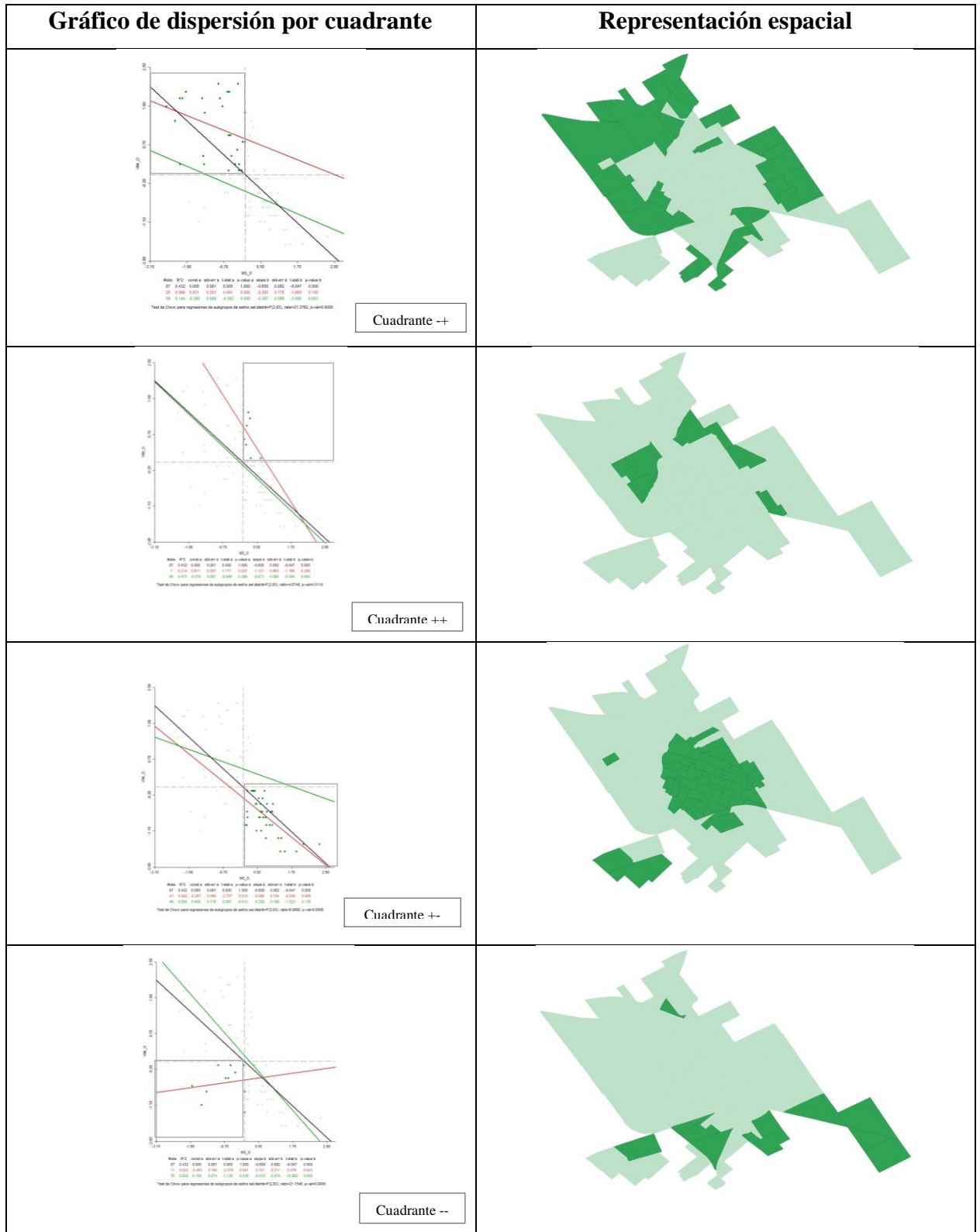


Figura 5.22. Diagramas de dispersión y cuadrantes asociados

Fuente: Elaboración propia en el software GeoDa

En el cuadrante I del espacio de relaciones $-+$, se observa la distribución espacial de las condiciones más desfavorables en relación al mapa social (valores bajos) y la vulnerabilidad (valores altos). Este cuadrante incluye 28 radios censales, que corresponden al 32% de las unidades espaciales de la ciudad donde residen 33.629 personas (43% de la población total). Se observa que las situaciones de desfavorabilidad se presentan en la periferia de la ciudad formando un anillo que puede asociarse a dos barreras existentes en la ciudad que muestran un cambio significativo en las condiciones socioespaciales. Una de estas barreras, de tipo natural, es el río Luján y la otra corresponde a la infraestructura gris, la autopista Acceso Oeste, una vía de comunicación principal que conecta a Luján con la Ciudad de Buenos Aires.

El cuadrante II, espacio $++$, presenta 7 radios censales que representan un total de 7.971 personas, con condiciones favorables en el mapa social pero con niveles de vulnerabilidad altos. Esta situación, si observamos la representación gráfica, se presenta en un semi-anillo intermedio entre las condiciones socioespaciales más y menos favorables de la ciudad. Reafirmando que existe una tendencia que responde al modelo de anillos concéntricos.

En la selección del cuadrante III, correspondiente al espacio $+ -$ se observa la distribución espacial de 41 radios censales urbanos que poseen las mejores condiciones sociales y los niveles de vulnerabilidad socioeconómica más bajos del área de estudio, en total representan el 47 % de las unidades espaciales, donde residen 30.437 personas, lo que equivale al 38,8% de la población total. La mayoría de estos radios censales se concentra espacialmente en el centro de la ciudad, en el barrio Centro y los barrios contiguos, con algunas excepciones de radios que corresponden a áreas residenciales, tipo quinta, en los barrios La Hostería y Los Girasoles, este último un barrio privado de

la ciudad, vinculadas a la población con condiciones socioeconómicas medias y altas de la ciudad. Además, aparece un sector del barrio La Palomita, que corresponde a un barrio de clase media, surgido a partir de la implementación de un plan habitacional gubernamental.

En el cuadrante IV, se observan 11 radios censales que corresponden al espacio -, donde las condiciones sociales desfavorables se vinculan a una baja vulnerabilidad baja (6.309 personas). Aparecen representados radios censales que corresponden a barrios residenciales de población que en el mapa social presentan condiciones desfavorables en el acceso a los servicios básicos, como la red de gas natural o cloacas.

La incorporación del mapa social para el análisis de la vulnerabilidad permitió comprender de forma más integral la situación socioeconómica de la población de Luján. Las distribuciones espaciales de ambos componentes mostraron configuraciones espaciales estructurales, de correlación positiva con un porcentual determinista.

5.4. Síntesis geográfica: el mapa de riesgo

En los apartados anteriores ya fueron caracterizados los dos componentes indisociables del riesgo: la amenaza y la vulnerabilidad, claro está que podrían incluirse otros aspectos para el análisis de cada uno, pero en este trabajo, como recorte de la realidad, se realizó la selección de algunos indicadores que se consideran significativos y la modelización de inundaciones a partir de un MDE aerofotogramétrico de excelente capacidad para realizar una simulación de nivel de agua, considerando la infraestructura urbana, como calles, puentes, viviendas, etc.

En esta instancia, y con información geoespacial obtenida, es posible aplicar el modelado cartográfico para obtener el mapa de riesgo, que definiremos como el *modelo actual de riesgo*, a partir de multiplicar la amenaza de inundaciones (escenario 1) por la vulnerabilidad socioeconómica. Para realizar este procedimiento se convirtió a formato raster el mapa vectorial de vulnerabilidad socioeconómica, con valores de 1 y 5 (de menor a mayor vulnerabilidad) y se reclasificó el mapa de simulación de inundaciones con valores 2 para el área con amenaza de inundaciones y 1 para el resto del área de estudio. De esta forma el valor más bajo de riesgo será 1 (vulnerabilidad muy baja sin amenaza de inundaciones) y el valor más alto será 10 (vulnerabilidad muy alta con amenaza de inundaciones).

En la composición cartográfica se incluyó, además de los niveles de riesgo, el mapa de amenaza (Figura 5.23). Esto permitirá ver cómo áreas con amenaza de inundaciones latente presentan diferentes niveles de riesgo porque justamente el componente más fuerte en el riesgo, y sobre el que pueden implementarse medidas para mejorar la situación, es la vulnerabilidad.

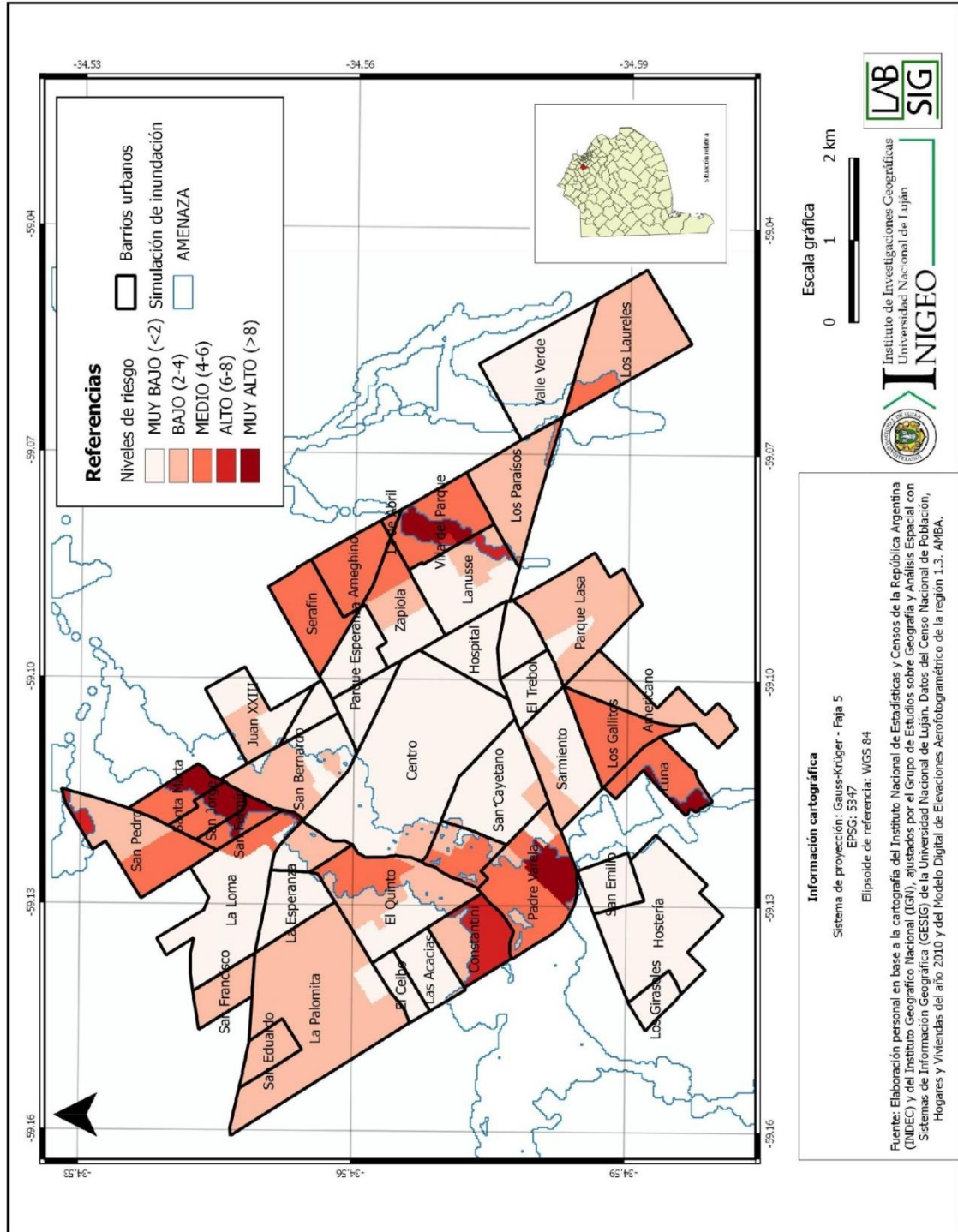


Figura 5.2.3. Mapa de riesgo ante inundaciones. Ciudad de Luján (Buenos Aires)

5.4.1. Análisis del mapa de riesgo

La asociación espacial entre los diferentes niveles de vulnerabilidad socioeconómica y el área expuesta a inundaciones, evidencia importantes situaciones de asimetrías socioespaciales. Ante un mismo escenario de amenaza, la vulnerabilidad de la población varía y consecuentemente los niveles de riesgo asociados.

Las áreas expuestas al peligro de inundación albergan poblaciones que presentan diferentes niveles de vulnerabilidad. Esta situación marca diferencias en relación al riesgo existente, considerando que este último es el resultado del peligro por la vulnerabilidad, resulta evidente que van a existir áreas con mayor nivel de riesgo que otras al presentar condiciones de vulnerabilidad muy altas, que se trasluce en desigualdad al momento de enfrentar la ocurrencia o probabilidad de ocurrencia de un evento como la inundación. Este resultado permite corroborar la hipótesis acerca de que las condiciones de heterogeneidad respecto al riesgo a nivel urbano están fuertemente vinculadas a características socioespaciales estructurales de la población, como se explicitó en el análisis de la vulnerabilidad con relación al mapa social urbano.

En la cartografía se observa la hidrografía de la ciudad con el río Luján como curso principal y una gran cantidad de afluentes, que durante épocas de crecidas y/o fuertes lluvias producen anegamientos en los barrios por los que atraviesan, que son áreas de la ciudad donde la vulnerabilidad socioeconómica es muy alta. Estos son los sectores que necesitan de una fuerte intervención en materia de política pública para mejorar las condiciones de vida de la población, disminuir la vulnerabilidad y de esta forma reducir el riesgo ante inundaciones o anegamientos de la ciudad.

5.5. Modelado de crecimiento urbano en la ciudad de Luján al 2030

En este apartado se explicitará el procedimiento de modelización del crecimiento urbano de la ciudad de Luján al 2030 a partir de autómatas celulares y la aplicación de una red neuronal artificial, perceptrón multicapa, utilizando el complemento MOLUSCE en el QGIS. Para el modelado, no se trabaja con la división por radios censales sino que se considera el área urbana desde su morfología como *continuum* urbano, que definimos como urbano compacto. Es decir, se considera la extensión de la mancha urbana de la ciudad de Luján. A continuación se detallan las diferentes etapas procedimentales que se realizaron para obtener la proyección 2030.

5.5.1. Datos de entrada

Para comenzar con la modelización es necesario contar con diferentes *inputs* o datos de entrada en formato raster. Por un lado, se debe tener disponible el mapa de usos del suelo en dos años diferentes, lo que denominamos tiempo 1 (T1) y tiempo 2 (T2). En esta investigación, el uso que se quiere modelizar es el urbano por eso se trabaja con un mapa de uso del suelo urbano del 2010 (Figura 5.24) y otro del 2020 (Figura 5.25). Es importante considerar que la prospección se realiza por el mismo período de tiempo existente entre los dos mapas de entrada ($T2 - T1$), es decir, 10 años. De esta forma la modelización realizada será para el año 2030. El mapa de uso de suelo urbano del 2010 fue realizado por Humacata (2017) a partir de una clasificación digital y visual de imágenes satelitales Landsat 5 (sensor TM) con fecha 8/12/2010 y un pixel de 20 metros de lado. El mapa de uso del suelo urbano del 2020 se realizó a partir de la interpretación visual de imágenes satelitales de Sentinel 2 con fecha 4/3/20, se digitalizó

en pantalla con el *software* QGIS con un pixel de 20 metros de lado para hacerlo comparable con el mapa de uso del suelo del 2010.

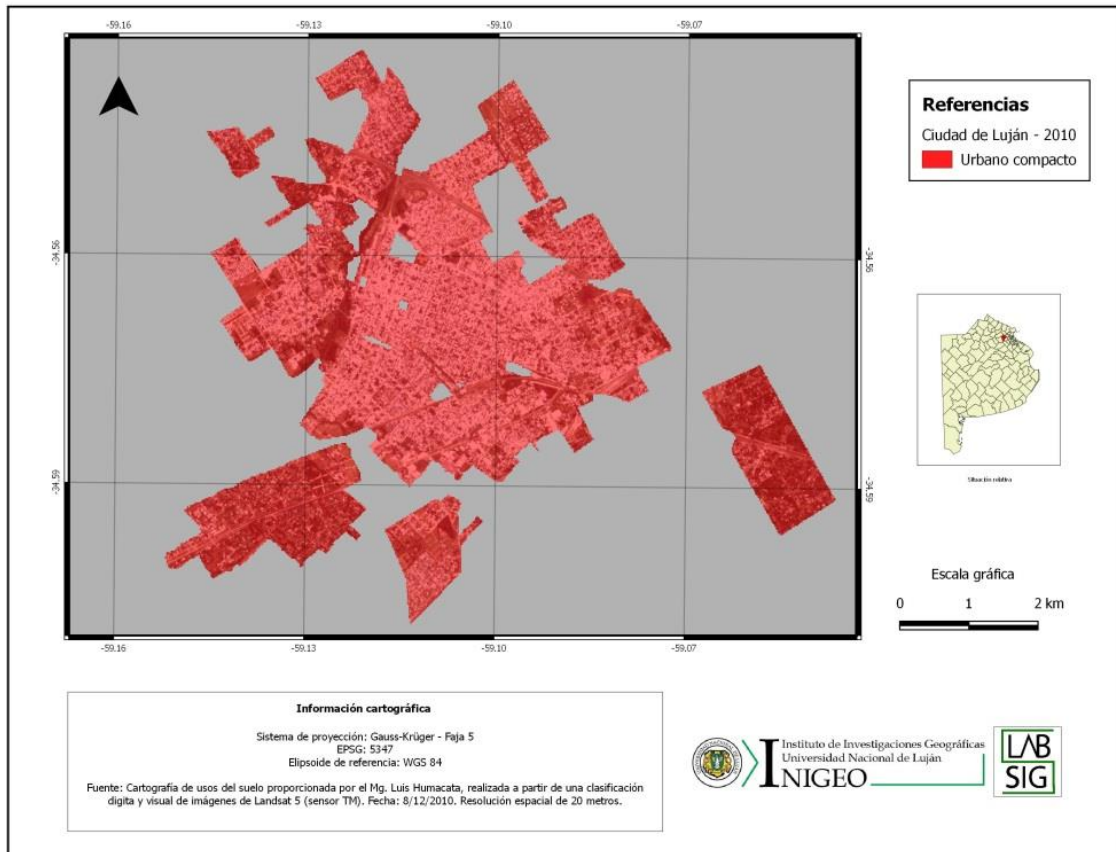


Figura 5.24. Área urbana 2010. Ciudad de Luján

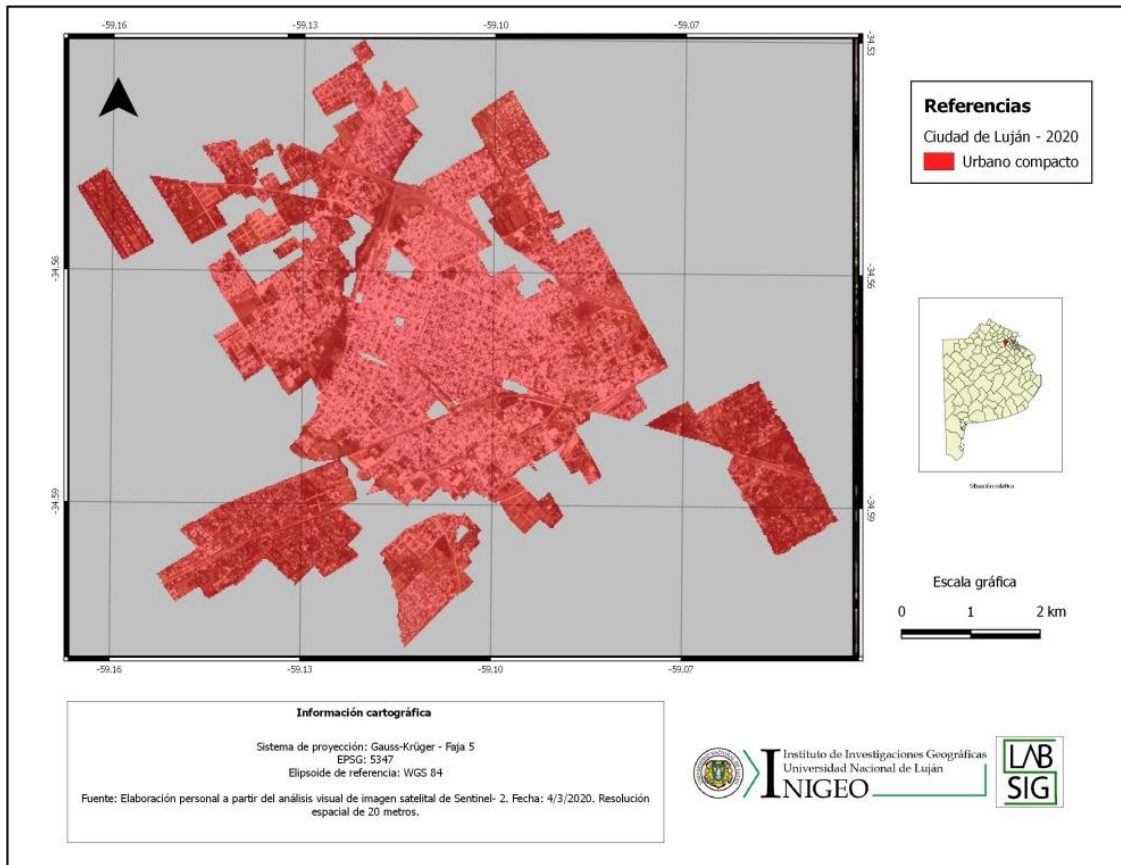


Figura 5.25. Área urbana 2020. Ciudad de Luján

Además de los mapas de usos del suelo urbano en dos tiempos es necesario en esta instancia incorporar las variables espaciales que se consideran impulsoras de cambio o al contrario, limitantes para tal cambio (las últimas dos variables son de este tipo). En este caso se consideran las siguientes:

- *Distancia al área urbana actual*, considerando que la expansión urbana de tipo compacta se da como forma de mancha de aceite.

- *Distancia a las áreas complementarias*, consideradas en el Código de Ordenamiento Urbano (COU) del partido de Luján (2019) con el código AC-RE1⁹

⁹ AC-RE1: Destinado a la localización de segunda residencia y prepara las condiciones para una futura expansión del área urbana. Se admite localización de urbanizaciones especiales (COU, 2019:16).

(Áreas complementarias Residenciales Extraurbanas 1) y AC-RE2¹⁰ (Áreas complementarias Residenciales Extraurbanas 1), como áreas de posible expansión urbano-residencial. En el apéndice 2 se puede observar el plano de zonificación del COU.

-Distancia a las principales vías de comunicación como factor importante respecto a la importante movilidad que tiene la ciudad vinculada principalmente a su posición en el extremo oeste de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) y vínculo con la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

-Pendiente del terreno, obtenida a partir del MDE aerofotogramétrico. Se consideran las áreas con menor pendiente como las mayores posibilidades de expansión urbana.

- Distribución de las áreas protegidas y de recreación, las primeras por su condición no pueden convertirse en uso urbano y las segundas son usos consolidados de difícil reconversión.

-Distribución del uso urbano disperso, esta variable considera áreas de urbanizaciones privadas como barrios cerrados, clubes de campo y *countries* que se localizan en el área periurbana, o zonas de interfase urbano-rural, restringiendo la expansión urbana hacia esos lugares.

Es importante resaltar que todos los mapas deben ser generados como información raster homologada, es decir, cada mapa empleado en la simulación cuenta con el mismo número de filas, columnas, píxeles y sistemas de proyección. Además se debe realizar un procedimiento de estandarización difusa en las variables para obtener valores que oscilen entre 0 y 1 (menos a más significativo). En el caso de las variables

¹⁰ AC-RE2: Contempla una primera subdivisión en quintas y grandes parcelas cuya geometría admite fraccionamientos posteriores. Se permite desarrollo de urbanizaciones especiales. (COU, 2019:16).

que son restrictivas se realizaron mapas *booleanos* con valores 0 y 1. La figura 5.26 presenta los factores utilizados.

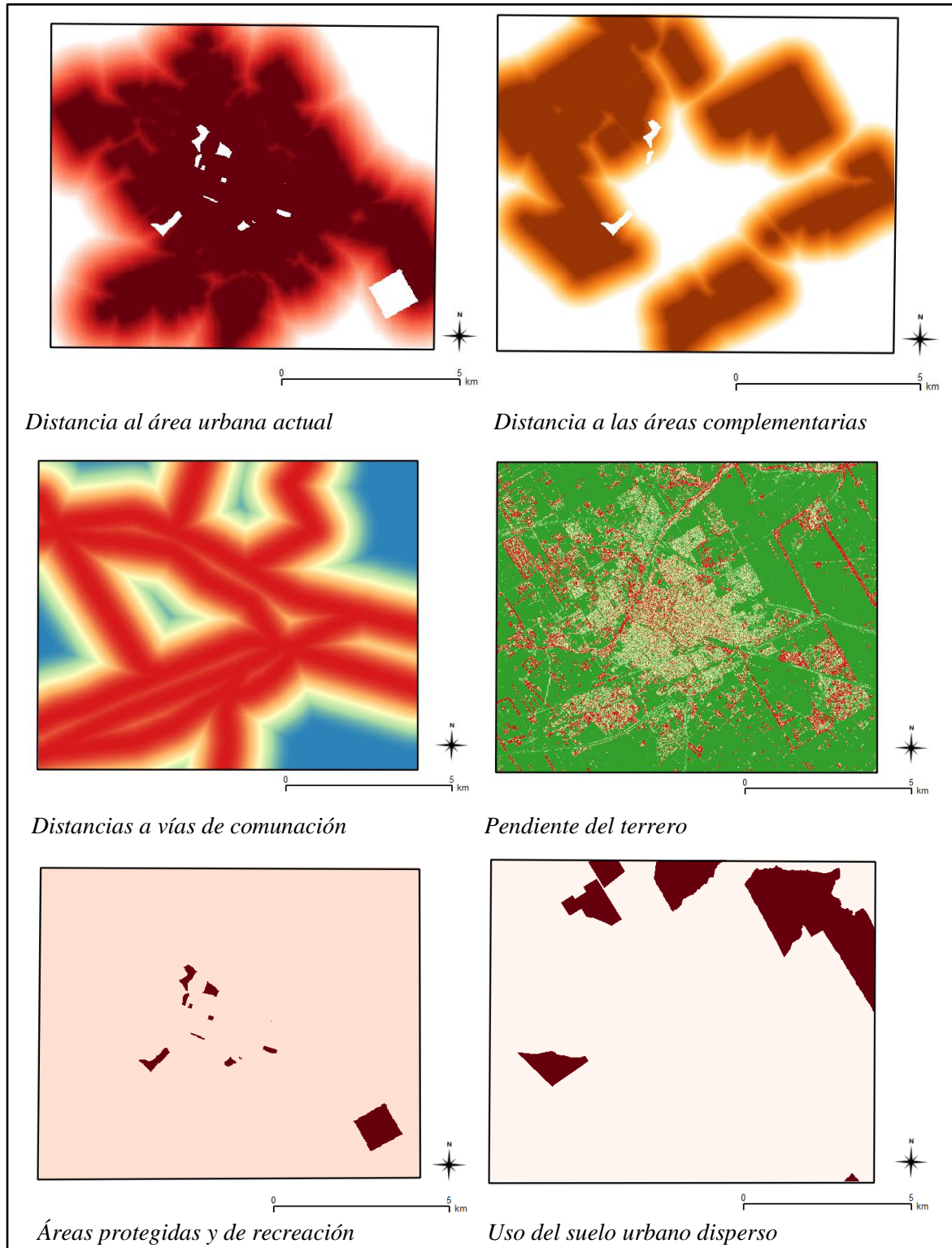


Figura 5.26. Factores utilizados para simular expansión urbana

5.5.2. Evaluación de la correlación

El siguiente paso consiste en realizar el análisis de correlación entre las variables. Es posible elegir entre diferentes métodos: correlación de Pearson, coeficiente de Crammer's e incertidumbre de información conjunta. Se seleccionó el coeficiente de Pearson para saber qué tipo de correlación existen entre las variables explicativas. Los valores pueden oscilar entre -1 (correlación negativa perfecta) y 1 (correlación positiva perfecta). Los resultados se presentan en la tabla 5.7.

Tabla 5.7

Evaluación de correlación entre variables

	AC_ RE1y2	URBANO_ DISPERSO	AREAS_ PROTEGIDAS	RED_VIAL	USO_ URBANO_ 2020	PENDIENTE
AC_RE1y2	--	0,04	0,15	0,34	0,34	0,06
URBANO_ DISPERSO		--	-0,04	0,25	0,36	0,05
AREAS_ PROTEGIDAS			--	0,07	0,23	0,05
RED_VIAL				--	0,65	-0,10
USO_URBANO_ 2020					--	-0,18
PENDIENTE						--

Si observamos los resultados obtenidos vemos que se alejan de -1 y 1, lo que significa que existen niveles medios y bajos de correlación entre las variables, ya que

las capas de información geográfica no son homogéneas entre sí. Si la correlación se acercara a los valores perfectos, estaríamos ante la presencia variables muy parecidas lo que podría reducirse a considerar menos variables, ya que todas se comportarían de forma similar. En este caso la diversidad indica que existirá influencia de todas las variables al momento de la predicción al 2030.

5.5.3. Cambios de área

Luego se realiza el análisis de cambios entre usos del suelo a través de estadísticas básicas (Tabla 5.8) y la matriz de transición (Tabla 5.9) que arroja valores entre 0 y 1, indicando probabilidad de cambio de una categoría a otra. En este caso particular sólo incluye el cambio de “no urbano” (valor 0) a “urbano” (valor 1) en kilómetros cuadrados. Si se tuvieran diferentes usos (por ejemplo: urbano, industrial, agrícola, etc.) se obtendrían los cambios de un uso a otro. Además, se obtiene el mapa de cambios (Figura 5.27).

Tabla 5.8

Estadísticas básicas de cambios de uso del suelo

	2010 Superficie en km ²	2020 Superficie en km ²	Cambios 2010-2020 en Superficie en km ²	2010 Superficie en %	2020 Superficie en %	Cambios 2010-2020 en %
0 (No-urbano)	77,47	72,47	-5,24	73,64	68,67	-4,96
1 (Urbano)	27,82	33,06	5,24	26,36	31,33	4,96

Tabla 5.9

Matriz de transición

	0-No-urbano	1-Urbano
0-No-urbano	0,932	0,068
1-Urbano	0,002	0,998

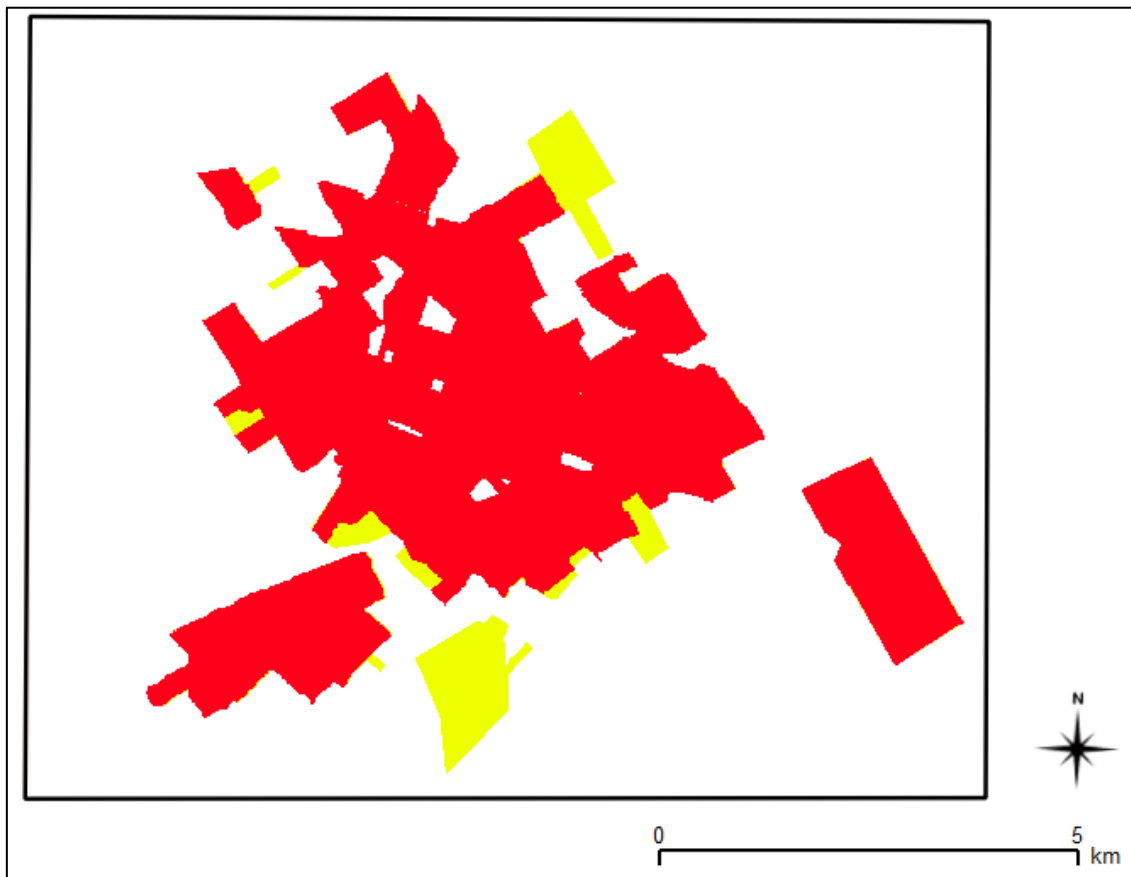


Figura 5.27. Mapa de cambios 2010-2020.

En la figura 5.27 se observa la variación de superficie de área urbana entre el 2010 (color rojo) y el 2020 (color amarillo), con un aumento de 5,24 km² que porcentualmente corresponde al 4,96%. La información acerca de la tendencia en el cambio de cobertura es importante al momento de realizar la proyección futura.

5.5.4. Modelo de transición

El paso metodológico siguiente consiste en definir el método con el que se realizará la proyección futura. Es posible elegir entre 4 métodos: Redes Neuronales Artificiales, Regresión Logística, Evaluación Multicriterio y Pesos de Evidencia. En este trabajo se utiliza para el modelado la RNA perceptrón multicapa.

Se seleccionan aleatoriamente 5.000 puntos de muestra que se utilizarán para la calibración y validación del modelo. Durante la aplicación se utiliza el algoritmo de aprendizaje que analiza la precisión alcanzada en el entrenamiento, valida las muestras y almacena la mejor red neuronal en la memoria. El proceso de entrenamiento termina cuando se alcanza la mejor precisión. Para el periodo de análisis se hicieron diferentes pruebas para estimar el mejor entrenamiento de la red para posterior aplicación de autómatas celulares. Este proceso consistió en hacer ajustes del tipo de vecindario donde se definió una vecindad de 1, es decir 9 píxeles (3x3), el ritmo e impulso de aprendizaje de 0,005, el número de iteraciones que se estableció en 10.000 y la cantidad de capas ocultas que quedaron definidas en ocho. Un ritmo e impulso de aprendizaje con valores grandes permiten un aprendizaje rápido, pero el proceso de aprendizaje puede ser inestable con resultados que mostrarían picos en el gráfico. En cambio, valores pequeños, como el utilizado, significa un aprendizaje estable pero que resulta más lento al momento de procesar.

En esta pestaña se permite conocer los errores de entrenamiento y conjuntos de validación. Además, se muestra el error global de validación mínima que a la vez contiene información sobre el error mínimo alcanzado en el conjunto de muestras de validación, la precisión global delta, que contiene la diferencia entre el error mínimo alcanzado y el error actual, así como la validación actual Kappa (un valor de capa

superior a 0,81 se considera excelente). Estas validaciones no están disponibles en los otros métodos. La RNA utiliza un algoritmo de aprendizaje que tiene la capacidad autónoma, mediante IA, para analizar la precisión alcanzada en los conjuntos de muestras, así como también hace su propia validación del modelo debido a que almacena finalmente la mejor red neuronal en la memoria, por esto el procesamiento es lento. La figura 5.28 presenta el resultado del entrenamiento de la red neuronal que arrojó un error global menor a 5% (0,05) y un índice Kappa general de 0,89.

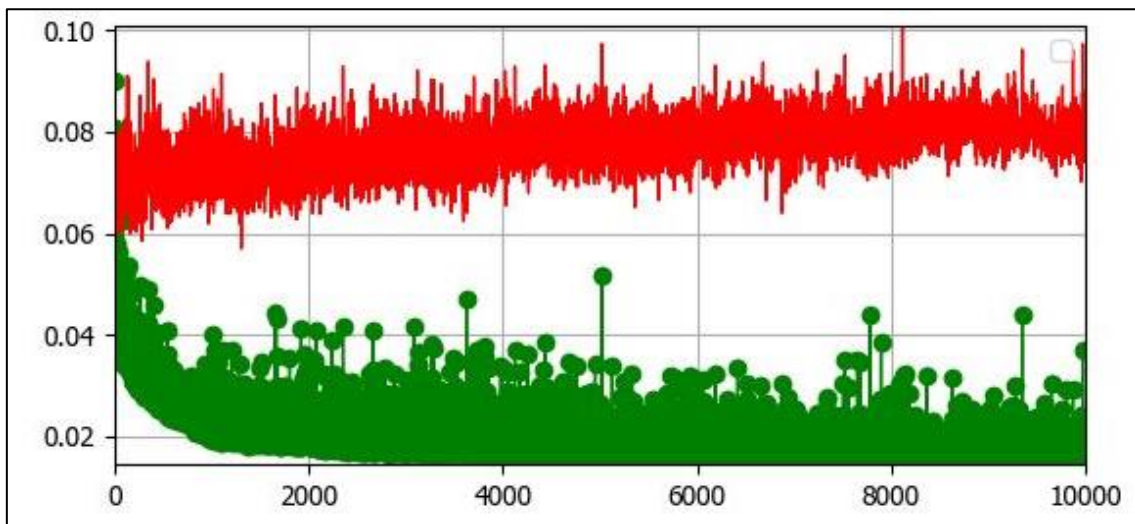


Figura 5.28. Entrenamiento de la red neuronal artificial

5.5.5. Simulación de uso del suelo

El último procedimiento consiste en aplicar el modelo de autómatas celulares para obtener el mapa de uso del suelo urbano al año 2030. Una vez finalizada la proyección, es posible validar el modelo si se tienen datos con los cuáles comparar. En este caso, como la simulación que se realiza es hacia el año 2030 no existe la posibilidad con contrastar con un mapa “real” del uso del suelo urbano, pero para

corroborar la veracidad del modelo se simuló el crecimiento urbano para el año 2020, con datos iniciales 2000 y 2010 y en la validación, se obtuvo una correspondencia entre el mapa simulado y el mapa real de 94,59% y un índice Kappa de 0,87 (apéndice 2), lo que indica un muy buen resultado en la simulación, utilizando las mismas variables.

La figura 5.29 nos muestra el resultado de la simulación de expansión urbana para el año 2030. Para lograr una mejor interpretación a continuación se presentará el mapa con la simulación al 2030, el límite de barrios actuales de la ciudad de Luján y el escenario 2 de la simulación de inundaciones, que es el más desfavorable (Figura 5.30).

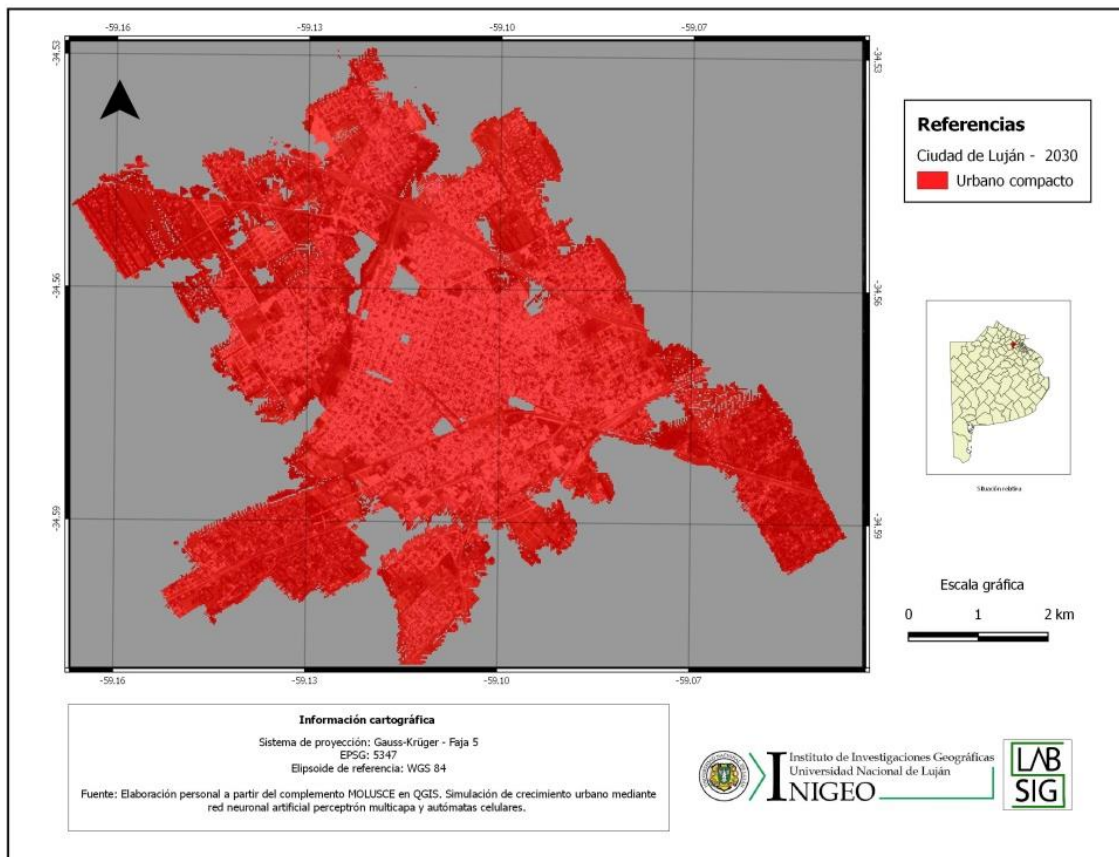


Figura 5.29. Simulación de expansión urbana al 2030

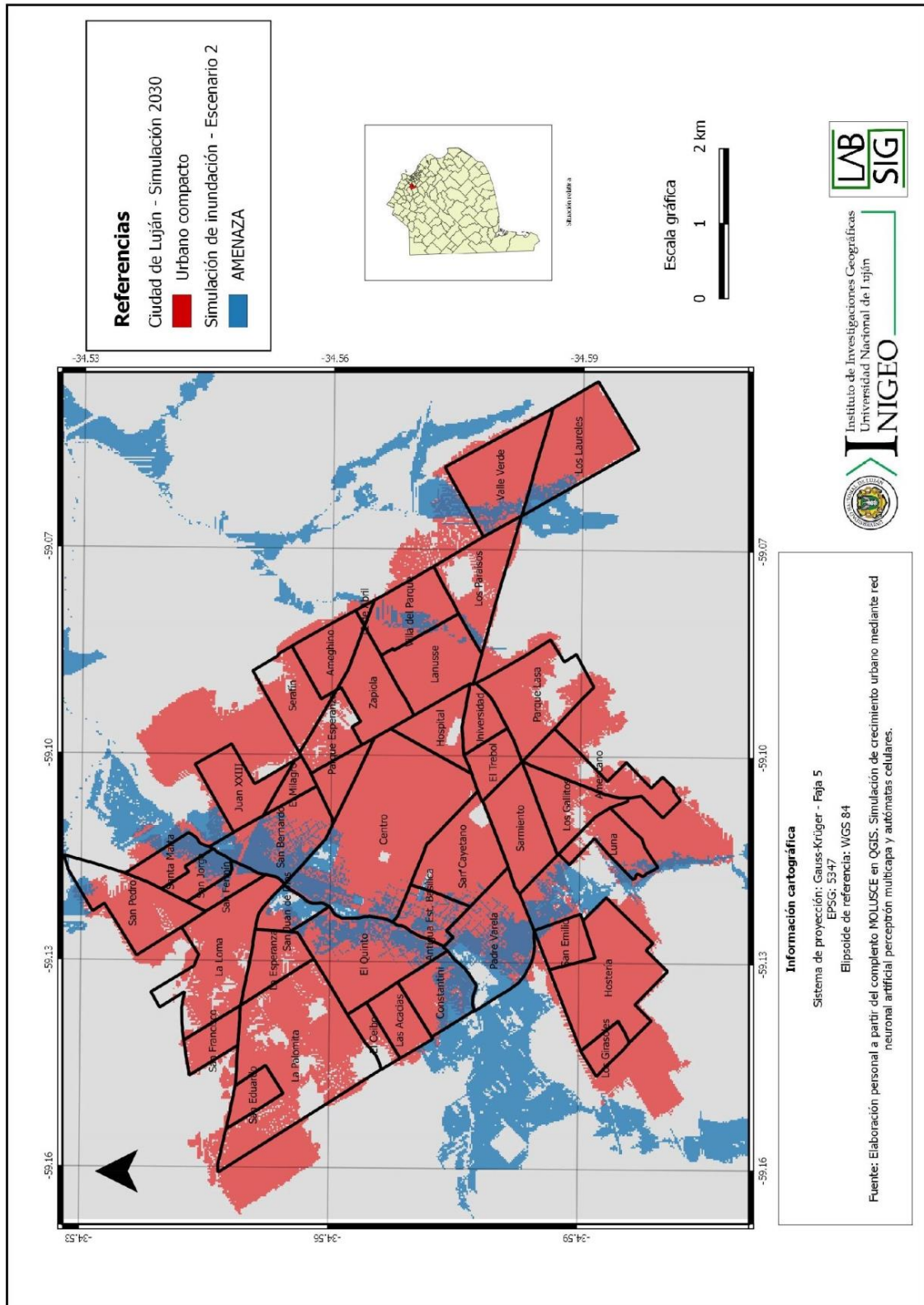


Figura 5.30. Simulación de crecimiento urbano al 2030 e inundaciones extremas

El modelado del crecimiento urbano permite analizar de manera prospectiva la evolución de la mancha urbana y al asociarla con la simulación de inundaciones (escenario 2, extremo) se observa que algunos sectores de la ciudad podrían expandirse hacia áreas con potencial amenaza de inundación. De ésta forma, aunque no podemos simular la vulnerabilidad socioeconómica en áreas que aún no están pobladas, sí podemos ver que si la ciudad sigue la tendencia que señala el modelo predictivo, se estarían generando nuevas áreas de riesgo en algunos sectores como el noreste, sureste y suroeste, en cercanías a zonas con niveles de vulnerabilidad altos. Los datos (Tabla 5.10) indican que entre el 2010 y 2020 la superficie urbana creció 5,24 km², lo que equivale a un 18% de superficie total (27,82 km²) y la simulación al 2030 indica que el crecimiento será de 6,72 km², es decir, un 20% mayor.

Tabla 5.10

Datos de expansión urbana en la ciudad de Luján

	2010	2020	2030 (simulación)
Superficie en km²	27,82	33,06	39,78
Aumento en km²	-	5,24	6,72
Aumento en %	-	18	20

Los valores de crecimiento de la superficie urbana de las últimas dos décadas, y su proyección a partir del modelo de simulación para la siguiente, son altos y se corresponden con el gran dinamismo que tienen las aglomeraciones de tamaño intermedio en el país y sobre todo una ciudad como Luján que integra a la RMBA y que

según estudios reciente (Buzai y Montes Galbán, 2020) ya forma parte de la Megaciudad Buenos Aires.

Contar con este tipo de información resulta de especial interés para que los decisores puedan impulsar cambios con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población considerando no sólo en el riesgo actual sino en la tendencia de ese riesgo si no se redirecciona la tendencia de expansión urbana.

CAPÍTULO VI

RIESGO Y EXPANSIÓN URBANA:

ORIENTACIONES EN EL MARCO DEL ORDENAMIENTO

TERRITORIAL

“La utilidad de la ciencia es una consecuencia de su objetividad; sin proponerse necesariamente alcanzar resultados aplicables, la investigación los provee a la corta o a la larga. [...] Es cosa de los técnicos emplear el conocimiento científico con fines prácticos, y los políticos son los responsables de que la ciencia y la tecnología se empleen en beneficio de la humanidad. Los científicos pueden, a lo sumo, aconsejar acerca de cómo puede hacerse uso racional, eficaz y bueno de la ciencia.”

Mario Bunge, 1960: 22.

La Geografía como ciencia aplicada, permite realizar aportes a la práctica de ordenamiento territorial en la instancia de planificación territorial, especialmente en la etapa de diagnóstico donde es posible estudiar y analizar el espacio geográfico actual, evidenciando sus problemáticas, y modelizando sus tendencias futuras. Por otra parte, también es posible realizar aportes en la etapa propositiva del ordenamiento, donde lo que prima es la búsqueda de alternativas o escenarios posibles que permitan intervenir y modificar las configuraciones espaciales, presentes y futuras, con el objetivo de brindar

soluciones a problemáticas socioespaciales y de esta forma de mejorar la calidad de vida de población.

Los SIG, con la focalización espacial que los caracteriza, presentan amplias capacidades para el análisis en la etapa de diagnóstico, es decir, para conocer y comprender la situación dada o el sistema socioespacial actual, y a partir de allí sentar las bases para la propuesta de alternativas de intervención territorial como parte del sistema socioespacial deseado.

En este sistema socioespacial interactúan permanentemente el subsistema físico-natural y el subsistema humano, vinculados con la definición ecológica de la Geografía que considera el estudio de la relación sociedad-naturaleza. A partir del análisis espacial con SIG es posible analizar este comportamiento sistémico a partir de estudiar y relacionar las características del medio físico y el medio construido con las características del componente demográfico-poblacional y económico-productivo.

En el capítulo anterior se obtuvo el mapa de riesgo en la ciudad de Luján a través de la vinculación de dos subsistemas. El subsistema físico-natural representado por la amenaza a inundaciones y el subsistema humano a partir de la caracterización de la vulnerabilidad socioeconómica de la población. Esto permitió definir diferentes niveles de riesgo. Además, se realizó una modelización del crecimiento urbano hacia el año 2030 y su asociación con un escenario de inundaciones extremas para observar la tendencia del sistema socioespacial analizado. Contar con este enfoque prospectivo es importante al momento de pensar políticas territoriales locales que consideren el riesgo, en este caso vinculado a inundaciones, ya que permite no sólo predecir un futuro probable si no se interviene sobre el sistema socioespacial, sino que a partir de esto es posible analizar limitaciones y potencialidades para proponer y construir

configuraciones espaciales deseables pero que a su vez sean factibles (Buzai y Baxendale, 2013).

En este capítulo, se avanza hacia un mapa síntesis de riesgo como una herramienta cartográfica para el apoyo a la toma de decisiones espaciales. Se incluye la localización de diferentes instituciones públicas y privadas que cumplen funciones administrativas, sociales, educativas, entre otras, que hacen al normal funcionamiento de la ciudad y que pueden verse afectadas ante un evento de inundación. A partir de este mapa es posible identificar cuatro sectores de la ciudad que presentan los mayores niveles de riesgo, definidos como áreas prioritarias de planificación. Finalmente, se realiza una caracterización específica de cada una considerando aportes de la población local.

6.1. Cartografía de riesgo como apoyo a la planificación territorial

A partir de los diferentes procedimientos metodológicos geográficos aplicados fue posible obtener y generar una gran cantidad de información de base para abordar la temática de riesgos en la ciudad de Luján, información importante para los decisores en el marco de la gestión territorial, que responde a la etapa política del ordenamiento.

Con el objetivo de brindar una herramienta cartográfica para el apoyo en la gestión del riesgo se presenta un mapa síntesis, donde además de la información geográfica generada en esta investigación, se incorpora en la cartografía la localización de diferentes instituciones públicas y privadas de la ciudad que son importantes para el normal funcionamiento de la misma y que muchas veces se ven afectadas ante el evento de inundación, como instituciones educativas de diferentes niveles (inicial, primario,

secundario, terciario y universitario), centros de atención primaria de la salud (CAPS), comedores comunitarios y sociedades de fomento barriales. Para geolocalizarlas se consideraron datos oficiales de la provincia de Buenos Aires y de la municipalidad de Luján. A partir de la cartografía de riesgo y del mapa de expansión urbana al 2030, se seleccionaron cuatro áreas que presentan mayores niveles de riesgo (zonas de riesgo muy alto, alto y medio) y una fuerte tendencia de crecimiento urbano. Se incluye también en la cartografía un área de relocalización de familias inundadas, en un área contigua al barrio Santa Marta. Se trata de un proyecto urbanístico para vecinos inundados que inició en el año 2015, financiado por el gobierno de la provincia de Buenos Aires y por el gobierno nacional y gestionada por el gobierno municipal, que sólo logró finalizar y entregar apenas 60 viviendas de un total de 202 programas, donde además sólo se consideró la construcción de un conjunto de viviendas sin planificar espacios verdes, centro de salud, paradas de colectivos, etc. A raíz de diferentes inconvenientes en el desarrollo del proyecto, con varias interrupciones principalmente por falta de presupuesto, se conformó una Comisión Mixta de Control y Seguimiento de las Relocalizaciones¹¹, integrada por vecinos afectados por las inundaciones, organizaciones de la sociedad civil y un grupo de docentes de la Universidad Nacional de Luján, que actualmente se encarga de dar seguimiento al tema y están solicitando la reanudación de las obras que están suspendidas desde el 2018.

Además se incluye en el mapa la localización del Polideportivo Municipal que funciona oficialmente como centro de evacuados ante el evento de inundaciones,

¹¹ Para más información sobre la Comisión Mixta de Control y Seguimiento de las Relocalizaciones se recomienda visitar su página de Facebook:

https://www.facebook.com/comisionmixtadecontrolyseguimiento/?ref=page_internal

aunque en ocasiones se habilitan de forma instantánea otros lugares, como sociedades de fomento o incluso la Universidad Nacional de Luján.

La cartografía de riesgo es importante para el ordenamiento territorial porque se constituye como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones espaciales al poder representar de forma clara la problemática de riesgo y su vinculación con las áreas de posible expansión urbana. Para esto, se decidió utilizar una simbología de flechas que indican hacia qué áreas se estima que se expandirá la ciudad hacia el 2030 si no se realizara ningún tipo de intervención. Las flechas verdes indican áreas de expansión que no presentarían problemas respecto a la amenaza de inundación, mientras que las flechas rojas indican áreas de expansión sobre áreas inundables, lo que generaría un aumento del riesgo urbano a inundaciones. De esta forma, se obtuvo un mapa de riesgo, con perspectiva actual y futura, donde se identificaron diferentes áreas que deberían considerarse como áreas prioritarias de planificación (Figura 6.1).

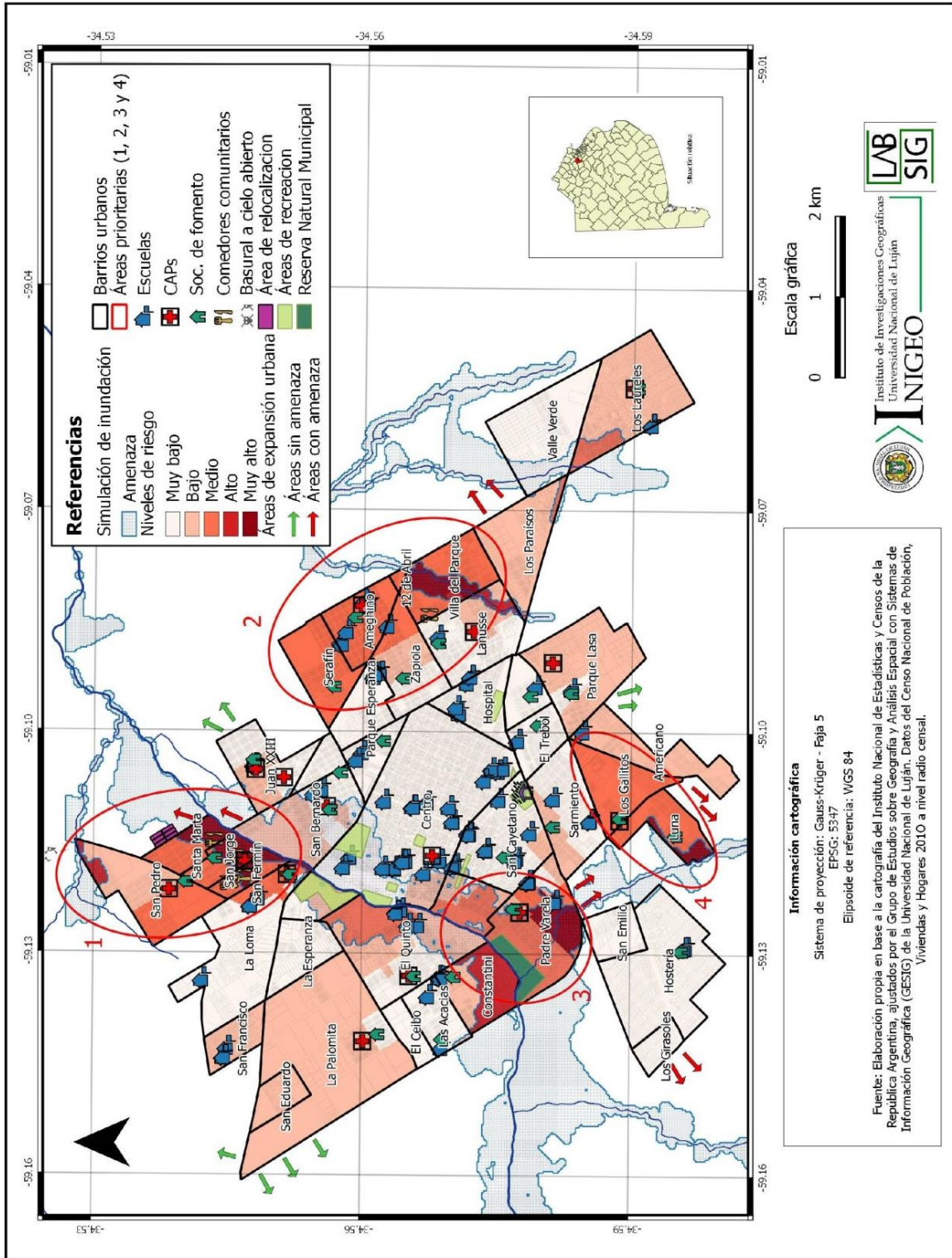


Figura 6.1. Mapa de riesgo y áreas prioritarias de planificación

El mapa de riesgo final permite identificar con claridad diferentes áreas de la ciudad que presentan niveles de riesgos altos y una gran cantidad de instituciones de interés social expuestas. Si se observa el resultado de la modelización de inundaciones, es posible identificar que afecta en gran medida al centro de la ciudad donde más allá de la amenaza, las condiciones de vulnerabilidad son bajas con lo cual el nivel de riesgo disminuye considerablemente. En ese sector de la ciudad la población tiene mayor capacidad de resiliencia, considerada como una de las propiedades de los sistemas que implica la capacidad de adaptarse, hacer frente o absorber las perturbaciones de una cierta magnitud que no desestabilicen completamente del sistema ya que si esto sucede el sistema se vuelve vulnerable. En este sentido, desde el enfoque sistémico, podemos decir que la vulnerabilidad y la resiliencia son dos características inversamente proporcionales de un sistema frente a un cambio abrupto.

A continuación se presenta de forma ampliada cada área prioritaria de planificación, ordenadas sugerentemente, desde las áreas con mayor riesgo, con el objetivo de realizar un análisis pormenorizado. Las características socioeconómicas de cada sector fueron explicitadas en el análisis del mapa de vulnerabilidad y su asociación con el mapa social urbano. En líneas generales se trata de barrios con una tasa de dependencia alta vinculada a un porcentaje alto de niños menores de 14 años, y condiciones sociohabitacionales desfavorables principalmente asociadas a una mala calidad de construcción de las viviendas y a la presencia de al menos un indicador de NBI en los hogares. En este apartado, ampliando las referencias realizadas en el capítulo V, se presenta un detalle de las instituciones afectadas en cada caso, datos básicos de población, hogares y viviendas de cada área, se incluyen también consideraciones de la

población local, aspectos que deberían ser tenidos en cuenta en el marco de un ordenamiento territorial que contemple la gestión del riesgo a nivel urbano.

6.1.1. Área prioritaria de planificación 1

En la figura 6.2 se presenta el detalle del área prioritaria 1, que incluye el sector este del barrio La Loma y los barrios San Fermín, San Jorge, Santa Marta y San Pedro.

Esta área de la ciudad es la que presenta los niveles de riesgo más altos, vinculado, por un lado, al emplazamiento de una parte importante de los barrios sobre la planicie de inundación del río Lujan y, por otro, a niveles de vulnerabilidad socioeconómica altos y muy altos.

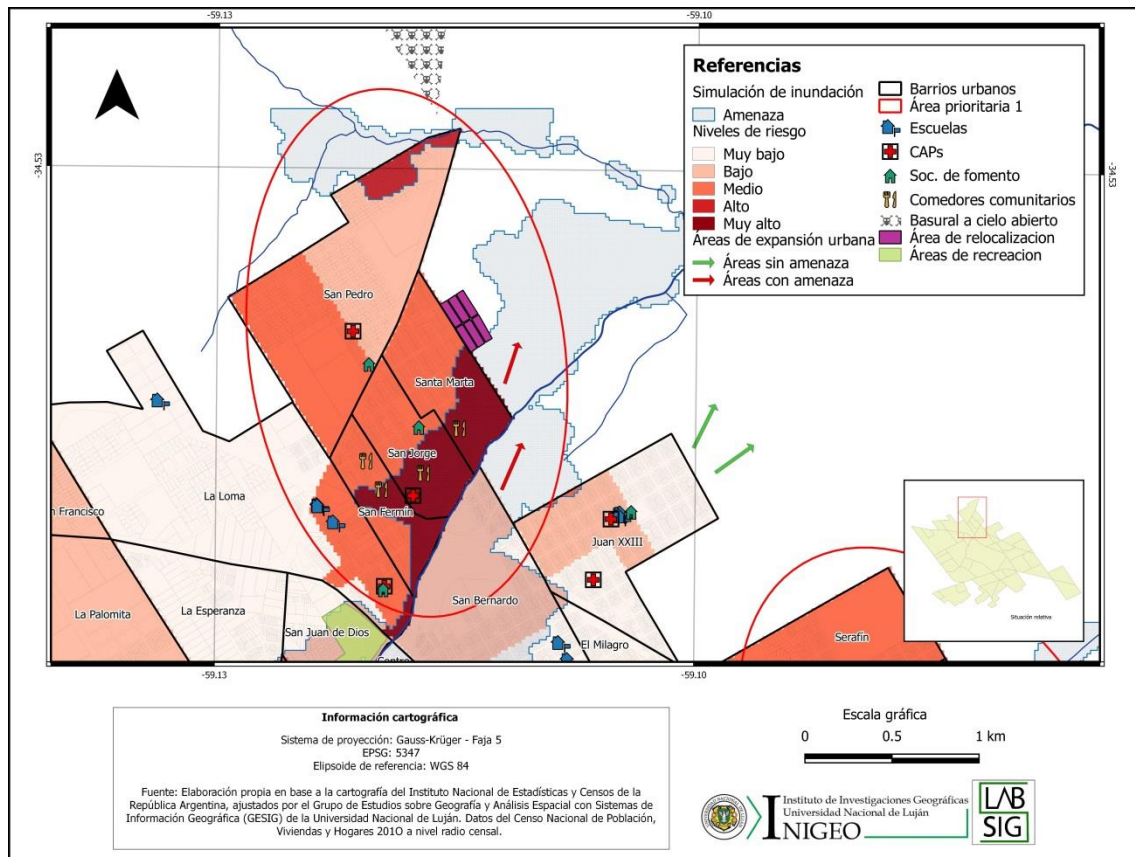


Figura 6.2. Área prioritaria de planificación 1

Según el último Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, aquí residen 5737 personas, esto equivale a un 7,3% de la población total de la ciudad. Los barrios tienen un porcentaje de hogares con NBI muy alto, que supera el 19%, donde viven 2019 niños menores de 14 años, que representan un 35,19% de la población total de esta área. Además, casi un 38% de las viviendas tienen una calidad de construcción considerada insuficiente por el INDEC (Figura 6.2).



Figura 6.3. Nivel de vulnerabilidad socioeconómica muy alta. Barrio San Fermín
Fuente: Fotografía propia. Febrero 2020.

En la tabla 6.1 se detallan los datos básicos que permitieron definir a esta área con la prioridad más alta respecto a la planificación territorial.

Tabla 6.1

Datos básicos del área prioritaria 1

Variable	Valores absolutos	Porcentajes
Total de población	5737	100
Hombres	2824	49,24
Mujeres	2913	50,76
Pob. de 0-14 años	2019	35,19
Pob. de 14-65 años	3448	60,10
Pob. de 65 años y más	270	4,71
Total de hogares	1553	100
Hogares con Necesidades Básicas Insuficientes (NBI)	299	19,25
Total de viviendas	1646	100
Calidad Constructiva de la Vivienda: Insuficiente	623	37,84

Fuente: INDEC, 2013

En la tabla 6.2 se observa la gran cantidad de establecimientos que se encuentran en esta área: 3 establecimientos educativos de gestión pública de diferentes niveles (inicial, primario y secundario), 3 CAPS, el del barrio San Jorge localizado en un área inundable, 3 sociedades de fomento, que son centros de organización barrial que brindan una importante asistencia y acompañamiento a los vecinos y 4 comedores

comunitarios (3 de estos en áreas inundables). Este es el sector de la ciudad que presenta mayor cantidad de comedores que proveen de desayuno, merienda y/o almuerzo a población vulnerable.

Tabla 6.2

Establecimientos expuestos en el área prioritaria 1

ÁREA PRIORITARIA 1			
Establecimientos educativos	Centros de Atención Primaria de la Salud	Sociedades de Fomento	Comedores comunitarios
-Jardín de Infantes N° 906	-CAPS La Loma	-Barrio La Loma	-Lagrimita
-Escuela Primaria N° 21	-CAPS San Pedro	-Barrio San Jorge	-El Triunfo
-Escuela Secundaria N° 17	-CIC (San Jorge)	-Barrio San Pedro	-El ángel de la bicicleta
			-Granito de arena

Respecto a las áreas de expansión urbana se observa en el mapa una tendencia de aumento en un sector inundable, entre el barrio Santa Marta y el barrio Juan XXIII, terrenos contiguos al Acceso Oeste, vía de comunicación central que vincula la ciudad con el resto del AMBA. Además, el área de relocalización de vecinos inundados se encuentra en un sector contiguo al área de inundación modelizada. Esta debería considerarse ya que cualquier cambio en la dinámica de cuenca, vinculado a procesos antrópicos o naturales, podría significar un aumento del riesgo de inundación para esta nueva área en proceso de urbanización.

Al respecto, docentes de la Universidad Nacional de Luján, que conforman la Comisión Mixta de Control y Seguimiento de las Relocalizaciones, publicaron el día 1° de abril del 2017, en medios locales, un comunicado donde exponían la preocupación existente por el estado de las viviendas del área de relocalización y por la suspensión de las obras, remarcando que *“las primeras treinta nuevas viviendas fueron entregadas sin revestimiento exterior, condición que según testimonios de vecinos ya relocalizados, produce que las paredes se deterioren y humedezcan al mínimo contacto con el agua. Hay ‘promesa’ de revestimiento de ladrillos, para compensar esa precariedad. Agreguemos que además, la pequeña urbanización cuenta con calles de tierra intrasitables los días de lluvia y con veredas arcillosas”*.

A mediados de noviembre del 2018, un temporal que duró un fin de semana con un volumen de precipitaciones menor, provocó anegamientos en el sector donde residen los vecinos relocalizados. El medio local La Voz de Luján, publicó el día 11 de noviembre que *“en el marco de lo que debería ser una solución para vecinos que fueron relocalizados ya que por años sufrieron las penurias de las inundaciones, este fin de semana, y ante la primera lluvia después de la mudanza, se encuentran nuevamente con agua en sus casas. En dos casos las filtraciones se produjeron por desperfectos en la obra de los techos y otros por los anegamientos de las calles”*.

De esta forma, se observan deficiencias vinculadas a la calidad constructiva de las viviendas nuevas, que se entregaron hace apenas 2 años, y también fallas en el drenaje de agua superficial en calles recientemente inauguradas. Se trata de problemas de tipo estructural, que es necesario revisar y revertir, para no aumentar los niveles de riesgo en esta área tan desfavorecida de la ciudad.

6.1.2. Área prioritaria de planificación 2

El área prioritaria 2 (Figura 6.4) incluye los barrios Serafín (o Elli), Ameghino, 12 de Abril, Villa del Parque y un sector de los barrios Zapiola y Lanusse.

En la cartografía se observa un afluente del río Luján, el arroyo Lanusse, que de forma recurrente sufre desbordes y/o anegamientos por crecidas naturales o por fuertes lluvias, afectando al barrio Villa del Parque y un sector del barrio Lanusse.

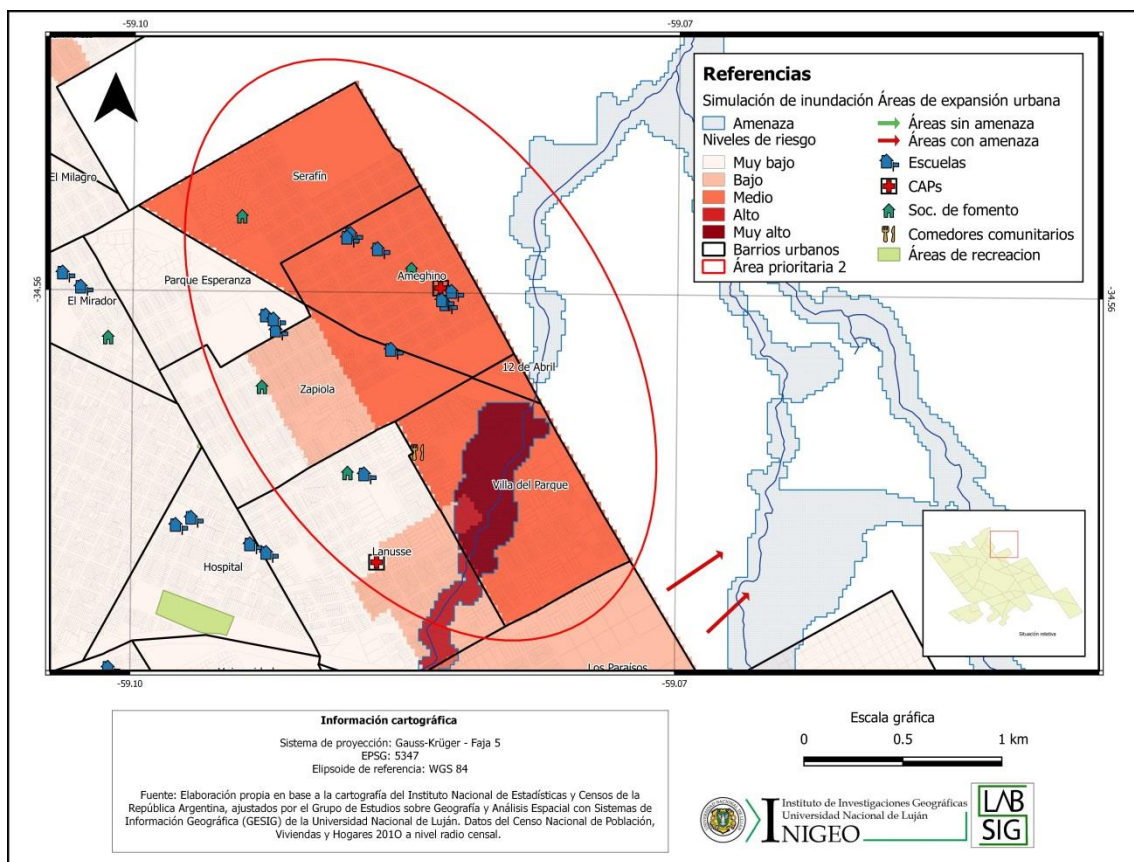


Figura 6.4. Área prioritaria de planificación 2

Ambos barrios tuvieron un proceso de urbanización reciente que ha avanzado sobre el arroyo, tal como muestran las siguientes imágenes de 1985 y 2017 (Figura 6.5), lo que generó la aparición e incremento del riesgo a inundaciones.

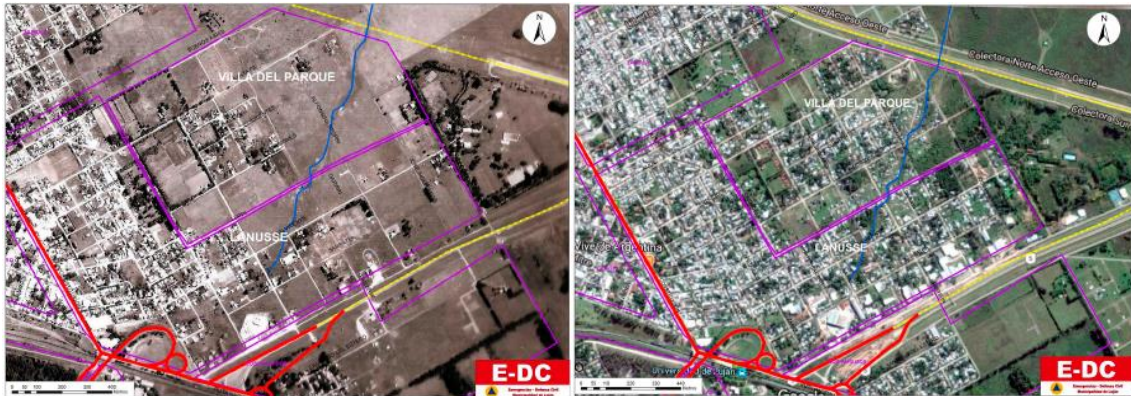


Figura 6.5. Barrio Lanusse y barrio Villa del Parque en 1985 y 2017

Fuente: Subdirección de Emergencia y Defensa Civil. Municipalidad de Luján.

Según datos de aportados por la Subdirección de Emergencia y Defensa Civil (2017) hasta el año 1984 no existían problemas de inundaciones y anegamientos en estos barrios, ya que las cercanías del arroyo no estaban urbanizadas y el sistema de drenaje natural trasladada los exedentes de agua del arroyo hacia el río Luján. Según un informe del 2017 de la Subdirección *“ante la ausencia de una política activa de ordenamiento territorial se multiplica la población asentada en la márgenes y en la inmediaciones del arroyo”* por lo que los problemas vinculados a inundaciones y/o anegamientos aumentaron ya que los procesos de escorrentía natural del área han sido modificados a partir de un desarrollo urbanístico precario y sin planificación.

En la tabla 6.3, se observa que en este sector de la ciudad viven alrededor de 8 mil personas, que equivalen al 10% de la población total. El 33,51% de los residentes son niños menores de 14 años y el porcentaje de hogares con NBI alcanza al 17%. Además, un 34,12% de las viviendas presentan un calidad constructiva deficiente.

Tabla 6.3

Datos básicos del área prioritaria 2

Variables	Valor absoluto	Valor porcentual
Total de población	7910	100
Hombres	3960	50,06
Mujeres	3950	49,94
Pob. de 0-14 años	2651	33,51
Pob. de 14-65 años	4847	61,28
Pob. de 65 años y más	412	5,21
Total de hogares	2158	100
Hogares con Necesidades Básicas Insuficientes (NBI)	367	17,00
Total de viviendas	2295	100
Calidad Constructiva de la Vivienda: Insuficiente	783	34,12

Fuente: INDEC, 2013

Como se observa en el mapa y en el detalle de la tabla 6.4, en esta área también existe una gran cantidad de instituciones, muchas están directamente expuestas al área de amenaza pero sí con un nivel de riesgo alto vinculado a las condiciones desfavorables de vulnerabilidad: 5 establecimientos educativos (4 públicos y 1 de gestión privada), 2 CAPS, 2 sociedades de fomento y una merendero que funciona en la Capilla Sagrada Familia del barrio Villa del Parque.

Tabla 6.4

Establecimientos expuestos en el área prioritaria 2

ÁREA PRIORITARIA 2			
Establecimientos educativos	Centros de Atención Primaria de la Salud	Sociedades de Fomento	Comedores comunitarios
-Jardín de Infantes N° 911	-CAPS Lanusse	-Barrio Serafín (Elli)	- Merendero
-Escuela Primaria N° 31	-CAPS Ameghino	-Barrio Ameghino	Capilla Sagrada Familia
-Escuela Secundaria N° 11			
-Bachillerato popular Carlos Fuentealba			
Jardín y Colegio del Prado (privado- nivel inicial, primario y secundario)			

En una nota muy completa del periodista local Nicolás Grande, del día 9 de octubre del 2017, en el portal de noticias Motor Económico, se presenta la situación particular del barrio Villa Parque, definida como de “precariedad absoluta”. Es importante mencionar que debido al deficit habitacional de la ciudad, este sector inudable del arroyo Lanusse comenzó a poblarse recién a fines del 2012, en un contexto de total irregularidad y ausencia del Estado. El periodista manifiesta que “oficialmente no hay energía eléctrica ni agua corriente. Entonces se improvisa, con los riesgos que eso implica. El tendido de luz llega a las viviendas por múltiples conexiones ‘caseras’ que recorren varias cuadras y se van extendiendo en débiles cables que se enganchan entre los árboles o en pequeños postes colocados por los propios vecinos”.

Por su parte, en la misma nota una vecina del barrio, Norma, recuerda un desborde reciente del arroyo y expresa que *“este barrio está olvidado, no apareció nadie. Solamente los del comedor comunitario vinieron y nos ayudaron a salir antes de que se venga la noche. Pasamos la noche en el comedor y al otro día a la tarde volvimos. Acá no apareció nadie.”* (Grande, 2017). En el testimonio de la vecina se resalta la función social de los comedores comunitarios en esta áreas desfavorecida de la ciudad y la ausencia del Estado.

Resulta urgente abordar las problemáticas de inundaciones y anegamientos en estos sectores de la ciudad, de surgimiento reciente y continua expansión. De acuerdo a al análisis de los resultado obtenidos en esta investigación, en el caso concreto de Villa del Parque, que es el barrio con los niveles de riesgo más altos del área prioritaria 2, sería importante buscar alternativas que consideren la relocalización de, al menos, las viviendas que se encuentran contiguas al arroyo, en un área donde la regularización del suelo para uso urbano no pareciera ser una opción viable y la erradicación de la problemática, vinculada a condiciones físico-naturales del entorno, tampoco.

6.1.3. Área prioritaria de planificación 3

El área prioritaria 3 (Figura 6.6) incluye gran parte de la superficie de los barrios Padre Varela, Constantini y Antigua Estación Basílica.

Aquí se encuentra la Reserva Natural Municipal Quinta Cigordia, la única en la ciudad, que es importante por ser un reservorio de biodiversidad y un área de protección de humedales que actúan como “esponjas” absorbiendo excedentes hídricos ante los eventos de inundación.

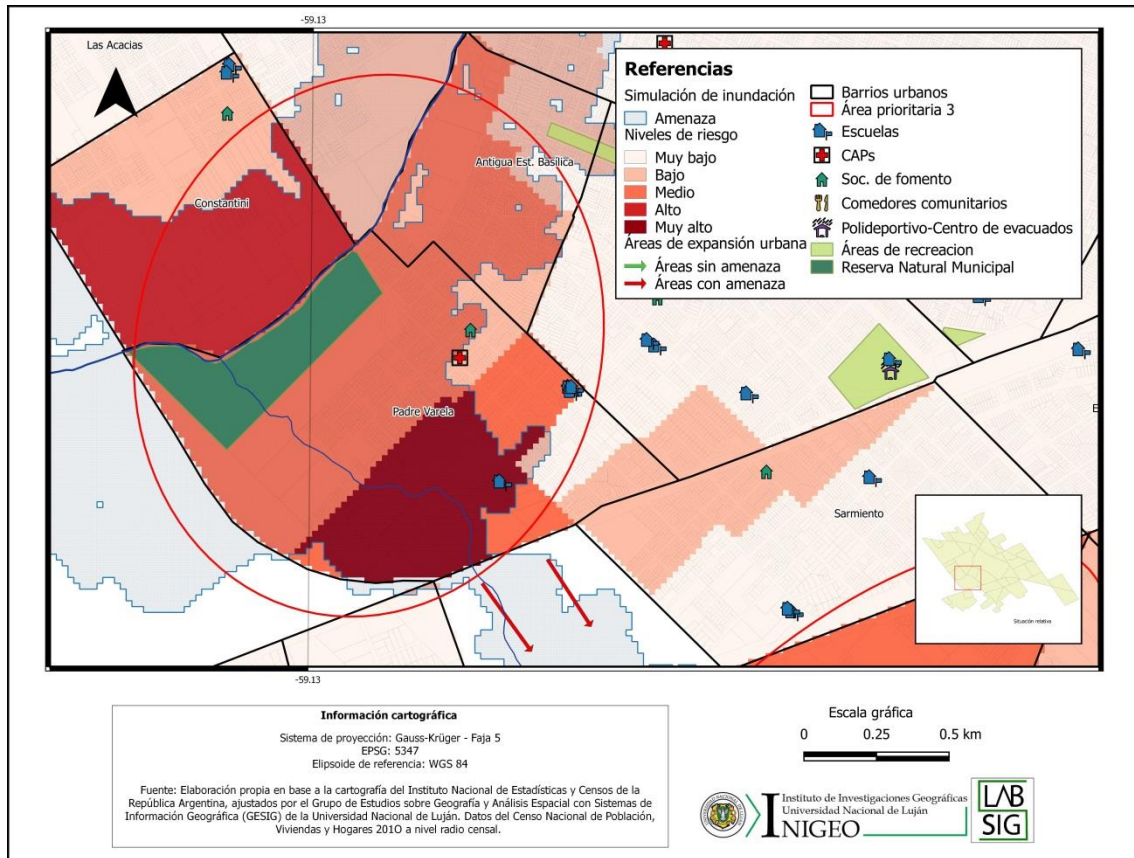


Figura 6.6. Área prioritaria de planificación 3

En este sector de la ciudad residen 5314 personas, que equivale al 6,78% de la población total. El porcentaje de niños menores de 14 años que residen aquí es de 28,9%. Alrededor del 9% de los hogares presentan al menos un indicador de NBI y el 22,1% de las viviendas tienen una calidad de construcción insuficiente (Tabla 6.5).

Tabla 6.5

Datos básicos del área prioritaria 3

Variables	Valor absoluto	Valor porcentual
Total de población	5314	100
Hombres	2616	49,23
Mujeres	2698	50,77
Pob. de 0-14 años	1536	28,90
Pob. de 14-65 años	3325	62,57
Pob. de 65 años y más	453	3,53
Total de hogares	1462	100
Hogares con Necesidades Básicas Insuficientes (NBI)	128	8,75
Total de viviendas	1520	100
Calidad Constructiva de la Vivienda: Insuficiente	336	22,10

Fuente: INDEC, 2013

Como se observa en la Tabla 6.6, en esta área se encuentran expuestos 2 establecimientos educativos, uno público de educación especial y que se encuentra dentro del área de amenaza de inundación, y otro privado (con los tres niveles educativos), además el CAPS y la sociedad de fomento del barrio Padre Varela, que se

encuentran a menos de 100 metros de distancia y en el límite de la mancha de inundación simulada.

Tabla 6.6

Establecimientos expuestos en el área prioritaria 3

ÁREA PRIORITARIA 3		
Establecimientos educativos	Centros de Atención Primaria de la Salud	Sociedades de Fomento
- Escuela especial N° 502 - Jardín y colegio Cardijn (privada- nivel inicial. Primario y secundario)	-CAPS Padre Varela	-Barrio Padre Varela

Respecto a la tendencia de expansión urbana, aparecen representadas las flechas rojas que indican una expansión hacia áreas no apropiadas para el desarrollo urbano, son zonas del barrio Padre Varela cercanas al arroyo Gutiérrez que, al igual que el arroyo Lanusse, recurrentemente sufre desbordes que generan inundaciones y anegamientos.

Si bien el Padre Varela no es un barrio nuevo de la ciudad, sí ha sufrido en los últimos años una importante expansión hacia áreas inundables vinculadas al arroyo. En la figura 6.6 se observa que este sector es el que presenta los niveles de riesgo más alto del área prioritaria 3. Nicolás Grande, en la referenciada nota del 9 de octubre del 2017, tuvo la oportunidad de hablar con vecinos del barrio y al respecto escribió “*Héctor es un vecino histórico del Padre Varela. Aunque hasta su casa llega el agua del Gutiérrez, forma parte de la vieja trama del vecindario. El barrio creció en los últimos años, con la informalidad como regla. Héctor calcula que el proceso de construcción en terrenos cercanos al arroyo comenzó hace 15 años y se profundizó en la última media década.*”

Hasta ahí no llega el agua corriente ni la luz eléctrica, pero los vecinos se las ingenian para traer esos servicios. Se calcula que en esa situación viven más de 30 familias.” La situación parece similar a la del barrio Villa del Parque, aunque en el Padre Varela la calidad constructiva de las viviendas es de mejor calidad y muchos vecinos deciden construir altura para evitar las inundaciones y anegamientos.

Lo cierto es que este sector de Luján evidencia un dinamismo muy importante en las últimas décadas generando un aumento significativo del riesgo. La tendencia al 2030 muestra que, si no se realizan intervenciones, la expansión urbana se daría hacia zonas con amenaza de inundación. Por eso, se considera esta zona con prioridad de planificación, en el marco de un ordenamiento territorial que contemple los estudios prospectivos, con el objetivo de mejorar la gestión del riesgo a inundaciones presentes y futuras.

6.1.4. Área prioritaria de planificación 4

Finalmente, el área prioritaria 4 (Figura 6.7) incluye el barrio Luna y el barrio Los Gallitos.

El barrio Luna es una urbanización reciente y en expansión surgida a la vera del nuevo trazado de la ruta nacional N° 5 y que como se observa en la cartografía tiene un sector con riesgo muy alto, con la amenaza latente de inundación del arroyo Gutiérrez. Por su parte, el barrio Los Gallitos con condiciones de vulnerabilidad desfavorables, limita con un complejo industrial textil, y que según información de la Subdirección de Emergencia y Defensa Civil (2017) *“los vecinos han naturalizado que las aguas*

residuales procedentes de la industria textil atraviesen el barrio rumbo al arroyo”, agudizando los problemas de inundaciones y anegamientos del arroyo Gutiérrez. Además, estos barrios se localizan entre dos vías de comunicación importantes, la ruta provincial N° 47 y la ruta nacional N° 5, que obstaculizan el drenaje natural del agua al arroyo y desde allí hacia el río Luján.

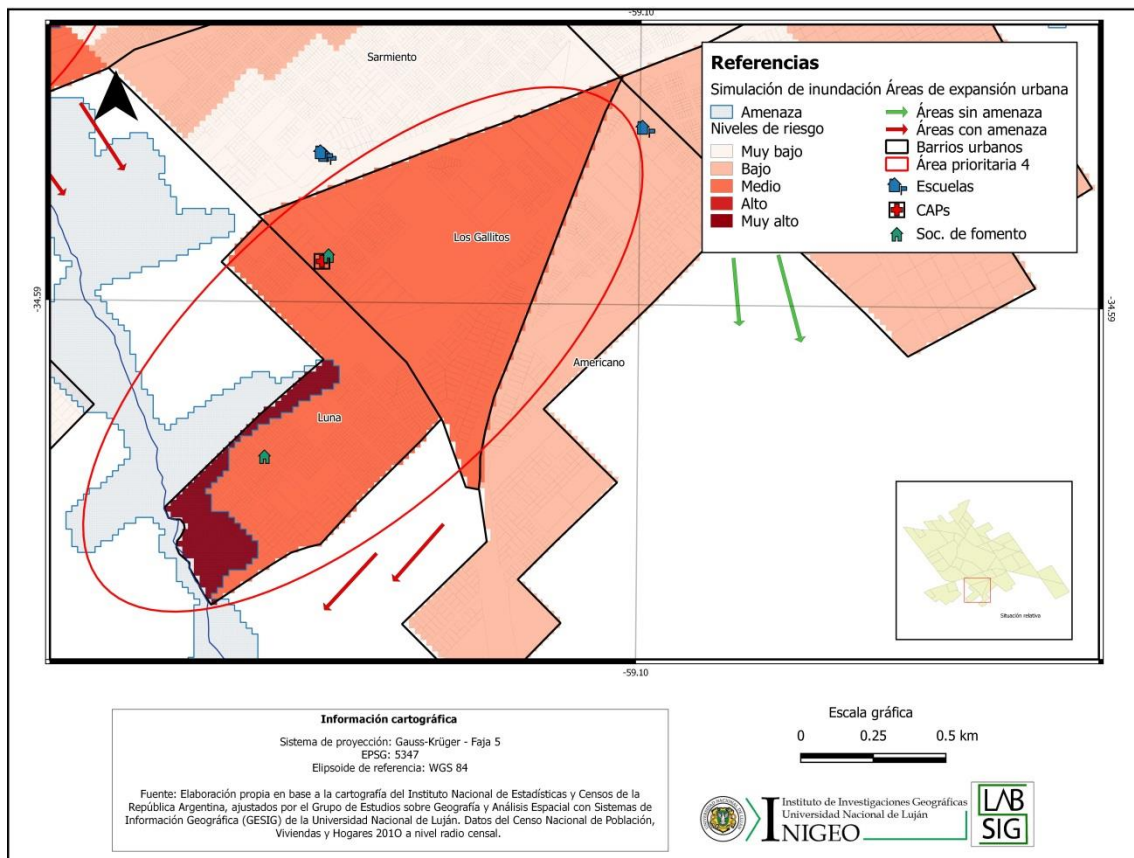


Figura 6.7. Área prioritaria de planificación 4

En este sector urbano viven 1390 personas, lo que representa a 1,77 % de la población total. Si bien, el porcentaje pareciera ser muy bajo, al tratarse de un área en expansión con riesgo alto es importante tenerlo en cuenta en el marco de la organización del territorio. Existe un porcentaje de niños menores de 14 años alto, de casi 35%, un

14,09% de los hogares tienen NBI y el 27,44% de las viviendas presentan deficiencias en la calidad de construcción (Tabla 6.7).

Tabla 6.7.

Datos básicos del área prioritaria 4

VARIABLES	Valor absoluto	Valor porcentual
Total de población	1390	100
Hombres	575	41,37
Mujeres	815	58,63
Pob. de 0-14 años	481	34,60
Pob. de 14-65 años	844	60,72
Pob. de 65 años y más	65	4,68
Total de hogares	369	100
Hogares con Necesidades Básicas Insuficientes (NBI)	52	14,09
Total de viviendas	441	100
Calidad Constructiva de la Vivienda: Insuficiente	121	27,44

Fuente: INDEC, 2013

Esta área si bien no posee establecimientos educativos ni comedores comunitarios afectados se considera como prioritaria justamente por tratarse de barrios que están en proceso de expansión, en cercanías de un arroyo y por eso es importante tenerlos en cuenta para evitar agravar la situación de riesgo. Se observa una tendencia de expansión urbana hacia el área del arroyo Gutiérrez que debería ser estudiada en detalle para evitar aumentar la presión sobre el arroyo, que ya tiene dificultades con el drenaje del agua hacia el cauce principal.

En la Tabla 6.8 se observan que existe en el área un centro de salud afectado, del barrio Los Gallitos y las sociedades de fomento de ambos barrios.

Tabla 6.8

Establecimientos expuestos en el área prioritaria 4

ÁREA PRIORITARIA 4	
Centros de Atención Primaria de la Salud	Sociedades de Fomento
<i>-CAPS Los Gallitos</i>	<i>-Barrio Los Gallitos</i> <i>-Barrio Luna</i>

Como se observó a lo largo del análisis de los sectores ampliados de la cartografía, existen cuatro áreas urbanas que necesitan un tratamiento prioritario respecto al riesgo de inundaciones, donde reside el 25,94% de la población urbana total. 20351 personas, de las cuales 6687 (32%) son niños menores de 14 años. Ya varias veces se mencionó que en la definición de riesgo la componente de mayor peso es la vulnerabilidad, cuando los niveles de vulnerabilidad son bajos el riesgo disminuye significativamente y aumenta la resiliencia urbana. En este sentido, considerando que la

ciudad de Luján por su origen histórico a la vera del río Luján, se encuentra emplazada en un área con una fuerte amenaza de inundación, es importante que se trabaje en mejorar las condiciones de vida de la población, para disminuir la vulnerabilidad y consecuentemente el riesgo. Por supuesto, que son necesarias medidas que aborden la problemática de la amenaza, como obras que se ocupen de mejorar el drenaje urbano o políticas que direccionen la expansión urbana de forma planificada considerando la dinámica de la cuenca hidrográfica, entre otras. Es fundamental actuar sobre la vulnerabilidad, ya que en la cartografía se muestra una clara asociación de áreas inundables, principalmente en zonas de expansión urbana reciente, con la población que presenta condiciones de vulnerabilidad socioeconómica más alta.

Sin dudas, la problemática es compleja, y por lo tanto multidimensional, pero es necesario pensar la ciudad como un sistema complejo, actuando sobre los diferentes subsistemas que la integran para empezar a mejorar la calidad de vida de la población y disminuir, o al menos no profundizar, el riesgo vinculado a inundaciones.

CONCLUSIONES

“La verdad siempre se halla en la simplicidad y no en la multiplicidad y confusión de las cosas”

Isaac Newton, 1642-1727.

La confluencia entre la teoría sistémica y el análisis espacial cuantitativo con SIG, en el marco de la Geografía Aplicada, permitieron el desarrollo de este trabajo de acuerdo a la planificación realizada, cumpliendo con todos los objetivos generales y específicos propuestos. Se destaca la capacidad analítica que poseen los SIG, en apoyo a la perspectiva teórica y metodológica, para generar modelos digitales descriptivos y explicativos de la realidad, brindando amplias posibilidades en lo que respecta a la experimentación y análisis en el campo de la investigación geográfica.

El análisis espacial cuantitativo con SIG demuestra su utilidad y versatilidad para administrar datos, vincular los aspectos alfanuméricos y gráficos, combinar variables sociales y físicas, permitiendo la generación cartografía de base importante para definir y obtener el mapa de riesgo, a través de la amenaza y la vulnerabilidad.

En primera instancia, se obtuvo el mapa de amenaza a inundaciones en la ciudad de Luján, considerando el río homónimo y sus afluentes, a partir de la modelización de niveles de agua lo que permitió la generación de dos escenarios de amenaza posible, a partir de la utilización del modelo digital de elevaciones aerofotogramétrico del IGN, como primera información espacial de base, para avanzar hacia el mapa de riesgo. Se reconocieron diferentes áreas de la ciudad donde la amenaza de inundaciones está presente, desde barrios céntricos, debido al emplazamiento histórico de la ciudad a la

vera del río Luján y sus afluentes, hasta barrios periféricos de incorporación reciente al ejido urbano, muchos de ellos asentados en el valle de inundación del río.

Luego, se obtuvo el mapa de vulnerabilidad socioeconómica de la población a partir de la metodología multivariada del VIM que permitió integrar diferentes dimensiones de la vulnerabilidad y de esta forma evidenciar diferencias socioespaciales intraurbanas que son necesarias conocer para poder identificar aquellas áreas de la ciudad que presentan las mayores desigualdades al momento de enfrentarse a la amenaza de inundación. La distribución espacial mostró que la vulnerabilidad aumenta significativamente desde el centro a la periferia con algunas excepciones de barrios integrados tardíamente a la periferia del ejido urbano como áreas residenciales para población de nivel socioeconómico medio y medio-alto.

A continuación, se avanzó en una interpretación modelística de la vulnerabilidad a partir del mapa social de la ciudad de Luján, realizado previamente por Principi y Buzai (2020) y se logró hallar y medir una relación causal entre la distribución espacial de la vulnerabilidad socioeconómica y el mapa social urbano (el mapa social explica en un 43% el mapa de vulnerabilidad). Esto permitió corroborar la primera parte de la hipótesis de la investigación respecto a que las condiciones de heterogeneidad al interior de la ciudad considerando al riesgo, y particularmente a la vulnerabilidad como componente más importante del mismo, responden configuraciones espaciales estructurales, como las que se representan en el mapa social, y no a situaciones coyunturales. En este sentido, es importante reconocer y mejorar las condiciones de vida de la población más vulnerable para consecuentemente disminuir el riesgo.

El enfoque de este trabajo es sistémico y, como tal, se entiende que la problemática de las inundaciones es compleja y responde a múltiples causas, que se

deben abordar desde diferentes áreas del conocimiento, pero es fundamental, en la etapa diagnóstico de la planificación territorial cuya finalidad es comprender una situación dada, generar información de base como la que se presenta en este trabajo, desde el nivel focal espacial que prevalece en el marco teórico adoptado.

Se aplicó el modelado cartográfico a partir del álgebra de mapas, entre la amenaza (subsistema físico-natural) y la vulnerabilidad (subsistema humano) a fin de obtener el mapa de riesgo, como modelo digital de riesgo actual. Este procedimiento de análisis espacial permitió reconocer diferentes niveles de riesgo intraurbano y se constituye como una herramienta analítica importante basada en la cartografía, e inexistente hasta el momento, en apoyo a la posibilidad de diagnosticar la situación actual respecto al riesgo en la ciudad, como aporte significativo para la etapa de planificación territorial.

A continuación, se realizó modelización del crecimiento urbano al 2030, fecha en la que, según estimaciones de la ONU, un 60% de la población mundial vivirá en ciudades y el 95% de la expansión urbana se producirán en los países en desarrollo, como Argentina. El modelado se realizó a partir de la aplicación de autómatas celulares y una red neuronal artificial. El resultado evidencia la tendencia de expansión urbana en los próximos diez años si no se realizara ningún tipo de intervención. Se prevé un aumento del 20% respecto a la superficie urbana actual. Se destacan principalmente tres áreas de expansión hacia zonas donde existe amenaza de inundación en el noreste, sureste y suroeste de la ciudad, situación que aumentaría los niveles de riesgo. Este análisis permitió corroborar la segunda hipótesis de la investigación que planteaba el aumento de los contextos de riesgo hacia el año 2030.

Finalmente, se logró integrar y sintetizar toda la información geográfica generada en el trabajo junto con información sobre instituciones públicas y privadas significativas, como escuelas, centros de salud, etc., en un producto cartográfico final sobre el modelo de riesgo actual y futuro, identificando cuatro áreas prioritarias de planificación con los niveles de riesgo más altos y señalando, a su vez, aquellas áreas de potencial expansión urbana sobre áreas con amenaza de inundación, que deberían ser consideradas al momento de proponer y gestionar políticas vinculadas a la planificación territorial.

Es importante destacar que el estudio de una realidad que es compleja requiere de un análisis multidimensional al que se puede llegar por medio de estudios sencillos que permitan ir abordando la problemática de forma cada vez más acabada, en este sentido la posibilidad que nos brindan los SIG y el análisis espacial cuantitativo resulta de especial importancia para el estudio de la realidad socioespacial. Las bases de datos geográficas, la cartografía y los gráficos explicativos se presentan como herramientas factibles de ser consideradas en la toma de decisiones, en apoyo a la superación de un importante reto para el desarrollo, en este caso, descubriendo áreas prioritarias de intervención para la minimización del riesgo a inundaciones.

La Geografía Aplicada ocupa un lugar central en la organización socio-espacial en el siglo XXI, con una importante vinculación al ordenamiento territorial. En este sentido, se destaca la relevancia de este tipo de trabajo, ya que los resultados obtenidos brindan apoyo técnico-científico para los organismos de planificación y gestión en relación a la toma de decisiones espaciales tendientes a mejorar las condiciones de vida de la población a través de las políticas públicas que tiendan a reducir los desequilibrios socioterritoriales buscando la eficiencia y justicia espacial y al mismo tiempo

considerando la gestión del riesgo, tema actual y relevante que está presente en las agendas políticas desde el ámbito local hasta el internacional. Es importante nutrir los canales de transferencia desde el ámbito académico (aspectos teóricos-metodológicos) hacia el ámbito de gestión territorial (aspectos políticos-institucionales) que es donde, finalmente, se define la implementación y seguimiento de las propuestas de ordenamiento territorial.

BIBLIOGRAFÍA

- Ackerman, E. (1963). Where is a Research Frontier?. *Annals of the Association of American Geographers*, 53, 429-440.
- Aguilera Benavente, F (2006). Predicción del crecimiento urbano mediante SIG y modelos basados en AC. *Geofocus*, 6, 81-112.
- Aguilera Benavente, F.; Plata Rocha, W.; Bosque Sendra, J.; Gómez Delgado, M. (2009). Diseño y simulación de escenarios de demanda de suelo urbano en ámbitos metropolitanos. *Revista Internacional Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 4, 57-80.
- Aguilera Ontiveros, A. (2002). *Ciudades como tableros de ajedrez: introducción al modelado de dinámicas urbanas con autómatas celulares*. San Luis Potosí: El Colegio de San Luis.
- Andrade, M., Laporta, P., y Iezzi, L. (2008). Sequías en el sudoeste bonaerense: Vulnerabilidad e incertidumbre. *Geograficando*, 5(5), 1-21.
- Aneas, S. (coord.). (2012). *El hombre frente a los riesgos del ambiente*. San Juan: Editorial de la Universidad Nacional de San Juan.
- Ayala Carcedo, F. (2002). Introducción al análisis y gestión de riesgos. En Ayala Carcedo, Francisco y Olcina Cantos (coord.) *Riesgos Naturales* (págs. 136-146). Barcelona: Ariel.
- Barrenechea, J., Gentile, E., González, S, Natenzón, C. y Ríos, D. (2002). *Revisión del concepto de vulnerabilidad social*. Buenos Aires: PIRNA.
- Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Barcelona: Paidós. (Obra original publicada en 1986).
- Beck, U. (2008). *La sociedad del riesgo mundial. En busca de la seguridad perdida*. Barcelona: Paidós.

- Bertalanffy, L. (1976). *Teoría General de Sistemas*. México: Fondo de Cultura Económica. (Obra original publicada en 1968).
- Bertalanffy, L. von. (1978). Historia y situación de la teoría general de sistemas. En Bertalanffy, L. von.; Ross Ashby, W.; Weinberg, G.M.. *Tendencias en la teoría general de sistemas* (págs. 29-53). Madrid: Alianza.
- Berry, B. (1964). Approaches to Regional Analysis: A Synthesis. *Annals of the Association of American Geographers*, 54, 2-11.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davies, I. y Wisner, B. (2002). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. (2° ed.) London: Routledge.
- Bocco, G.; Urquijo, P. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región y sociedad*. Año XXV, 56, 75-101.
- Bunge, M. (1960). *La ciencia: Su método y su filosofía*. Buenos Aires: Siglo Veinte.
- Bunge, M. (2012). *A la caza de la realidad*. Barcelona: Gedisa.
- Bunge, M. (2014). *Memorias. Entre dos mundos*. Barcelona-Buenos Aires: Gedisa-Eudeba.
- Bunge, W. (1962). *Theoretical Geography. Lund Studies in Geography. General and Mathematical Geography N° 1*. Lund: The Royal University of Lund. C.W.K. Gleerup Publishers.
- Burgess, E. W. (1925). The growth of the city: an introduction to a research project. En R.E.Park, E.W.Burgess, R.D. McKenzie (Ed). *The City* (págs. 47-62). Chicago: The Chicago University Press.
- Burrough P. A., (1986). *Principies of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment*., Oxford: Oxford University Press.
- Burton, I. (1963). The quantitative revolution and theoretical geography. *The Canadian Cartographer*. 7:151-162.

- Buzai, G.D. (1999). *Geografía Global*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Buzai, G.D. (2002). *Atlas Digital de la cuenca del río Luján*. Luján: Universidad Nacional de Luján. (Versión CD).
- Buzai, G. D. (2007). Dilemas de la relación Geografía-SIG entre la disciplina, la interdisciplina y la transdisciplina. *GeoFocus (Editorial)*, 7, 5-7.
- Buzai, G. D. (Ed.). (2010). *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y metodológicos*. Luján: Universidad Nacional de Luján.
- Buzai, G. D. (2014). *Mapas Sociales Urbanos*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Buzai, G. D. (2015). Geografía y pensamiento geográfico. Articulación de enfoques para la investigación aplicada basa en Sistemas de Información Geográfica. En Moncada Maya, J. O.; López López, A. (ed). *70 años del Instituto de Geografía* (págs. 300-319). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Buzai, G. D. (2017). La Geografía como ciencia aplicada. Articulación de enfoques en perspectiva sistémica. *Vientos del norte*. 5 (1), 1-11.
- Buzai, G. D. (2018). Crecimiento urbano y potenciales conflictos entre usos del suelo en el municipio de Luján. *Cuadernos Geográficos*. 57(1), 155-176.
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. (2006). *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. (2011). *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 1: Perspectiva científica / Temáticas de base raster*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. (2012). *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 2: Ordenamiento territorial / Temáticas de base vectorial*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Buzai, G D. y Baxendale, C. A. (2013). Aportes del análisis geográfico con Sistemas de Información Geográfica como herramienta teórica, metodológica y tecnológica

- para la práctica del ordenamiento territorial. *Persona y Sociedad*. 27(2), 113-141. Recuperado de <https://personaysociedad.uahurtado.cl/index.php/ps/article/view/43>
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A.; Cruz, M.R. (2009). Fases de un proyecto de investigación en estudios de Geografía Aplicada basados en el uso de Sistemas de Información Geográfica. *Fronteras* 8(8), 31-40.
- Buzai, G.D.; Cacace, G. (2013). El concepto de espacio. *Si Muove*.5, 34-38.
- Buzai, G.D.; Cacace, G.; Humacata, L.; Lanzelotti, S.L. (Comp.). (2015). *Teoría y métodos de la Geografía Cuantitativa. Libro 1: Por una Geografía de lo real*. Mercedes: MCA Libros.
- Buzai, G.D.; Humacata, L.; Principi, N. (2019). *Análisis espacial y Sistemas de Información Geográfica*. Bernal: Universidad Virtual de Quilmes.
- Buzai, G.D., Lanzelotti, S.L (dir.). (2019). *Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján*. Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires.
- Buzai, G. D.; Lanzelotti, S. L.; Paso Viola, F.; Principi, N. (2018). Cartografía analógica y digital para la delimitación regional y el análisis temático: aplicación a la cuenca del río Luján (Argentina). *Revista de Geografía Norte Grande*. (69), 99-119.
- Buzai, G. D.; Marcos, M. (2014). Buenos Aires (Argentina): El mapa social a través de puntajes de clasificación espacial. En Buzai, G. D. *Mapas Sociales Urbanos* (págs. 177-186). Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Buzai, G. D. y Montes Galbán, E. (2020). Megaciudad Buenos Aires: Cartografía de su última expansión y conurbación mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales nocturnas. *Revista Cartográfica*, 100, 215-238.
- Buzai, G. D. y Principi, N. (2017). Identificación de áreas de potencial conflicto entre usos del suelo en la cuenca del río Luján (Argentina). *Revista Geográfica de América Central*. 3(59), 91-124.

- Cabrales Barajas, L. F. (2006). Geografía y Ordenamiento Territorial. En Lindón, A. y Hiemaux, D. (Dirs.). *Tratado de Geografía Humana* (601-627). México: Anthropos
- Calvo García, F. (1984). La Geografía de los Riesgos. *Geocrítica*, Año IX (54). Recuperado de <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/perspectiva/article/view/1724>
- Campo, A. (Dir.) (2015). *Geografía Física Aplicada. Tomo I Hidrografía Regional y Local*. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur.
- Capel, H. (2012). *Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea*. Barcelona: Ediciones del Serbal.
- Capel, H. y Urteaga, L. (1991). *Las nuevas geografías*. Barcelona: Salvat Editores, S.A.
- Carballo, C. (2010). *Información Ambiental de la cuenca del Río Luján. Aportes para la gestión integral del agua*. Buenos Aires: Prometeo.
- Carballo, C y Goldberg, S. (2014). *Comunidad e información ambiental del riesgo. Las inundaciones y el río Luján*. Buenos Aires: Dunken.
- Cardona, O.1 (1993). Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo. En Maskrey, A. (Ed.). *Los desastres no son naturales* (págs. 45-65). Colombia: La Red. Tercer Mundo Editores. Recuperado de <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/>
- Cardona, O. (2003). The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from Holistic Perspective: A necessary review and criticism for effective risk management. En Bankoff, GFG.y Hilhosrt, D. (Ed.). *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People* (págs. 37-51). London: Sterling & VA: Earthscan. Recuperado de https://www.desenredando.org/public/articulos/2003/nrcvrfhp/nrcvrfhp_ago-04-2003.pdf

- Carrera, G. (2007). La cartografía etnográfica como herramienta técnica y metodológica en investigaciones antropológicas. El caso de Constantina. *Cuadernos de los Amigos de los Museos de Osuna*, 9, 72-81. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2885431>
- CELADE. (2002). Vulnerabilidad social y sociodemográfica: aproximaciones conceptuales, teórica, y empíricas. En CELADE (Ed.) *Vulnerabilidad sociodemográfica: viejos y nuevos riesgos para comunidades, hogares y personas* (págs. 1-69). Brasilia: Publicaciones de las Naciones Unidas. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/13051/S2002632_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Comisión Mixta de Control y Seguimiento de las Relocalizaciones. (2017, 1º de abril). *De inundados a relocalizados: del barrio a las casitas*. Comunicado. Recuperado de http://www.prensa.unlu.edu.ar/sites/www.prensa.unlu.edu.ar/files/site/inundados_%20del%20barrio%20a%20las%20casitas%20%20%20texto%201%20abril%20de%202017.pdf
- Comte, A. (1844). *Discours sur l'esprit positif*. Versión traducida y prólogo de Marías, J. (1980). *Discurso sobre el espíritu positivo*. Madrid: Alianza.
- Conolly, J.; Lake, M. (2006). *Geographical Information Systems in Archeology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Daus, F. (1959). *Fisonomía regional de la República Argentina*. Buenos Aires: Editorial Nova.
- De Rosnay, J. (1977). *El macroscopio. Hacia una visión global*. Madrid: AC.
- Delgado Mahecha, O. (2003). *Debates sobre el espacio en la geografía contemporánea*. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia: Unibiblos.

Desde el 2012, el río mantiene en alerta a los lujanenses. (2015, 25 de agosto). El Civismo. Información general. Recuperado de: <http://www.elcivismo.com.ar/notas/21521/>

Dobson, C.B. (1983). *Stress. The hidden adversary*. Nueva Jersey: George A. Bodgen & Son.

Egea Jiménez, C.; Sánchez González, D.; Soledad Suescún, J. I. (coord.). (2012). *Vulnerabilidad Social. Posicionamientos y ángulos desde geografías diferentes*. Granada: Eirene.

EIRD. (2008). La gestión del riesgo de desastres hoy. Contextos globales, herramientas locales. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD), Naciones Unidas. San José de Costa Rica.

Foschiatti, A. (2007). Aportes conceptuales y empíricos de la vulnerabilidad global Resistencia: EUDENE.

García, R. (2006). *Sistemas Complejos*. Barcelona: Gedisa.

García Castro, N. y Villerías Salinas, S. (2018). Factores socioeconómicos de vulnerabilidad de la franja costera del Estado de Guerrero, México (págs. 75-89). En S. Villerías Salinas y N. García Castro *Análisis de la vulnerabilidad social desde un enfoque multidisciplinario*. México: Porrúa.

García de León, A. (1989). La metodología del Valor Índice Medio. *Boletín del Instituto de Geografía UNAM*, 9, 69-87.

García de León, A. (1997). Empleo de una metodología multivariada para la clasificación de unidades territoriales. *Geografía y Desarrollo*, 14, 5-20.

García de León, A. (2009). La metodología del Valor Índice Medio. En: Cattapa, S. *Elementos de estadística para Geografía*. San Juan: Editorial de la Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes de la Universidad Nacional de San Juan.

-
- Garrocho, C.; Buzai, G.D. (eds). (2015). *Geografía Aplicada en Iberoamérica. Avances, retos y perspectivas*. Toluca: El Colegio Mexiquense.
- Giddens, A. (1991). *Modernity and Self-Identity: Self and Society in the Late Modern Age*. California: Stanford University Press.
- Gómez Orea, D. (1994). *Ordenación del territorio: una aproximación desde el medio físico*. Madrid: Editorial Agrícola Española, S.A.
- Gómez Orea, D. (2008). *Ordenación Territorial*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Gómez Mendoza, J.; Muñoz Jiménez, J.; Ortega Cantero, N. (1982). *El pensamiento geográfico*. Madrid: Alianza.
- Grande, N. (2017, 7 de octubre). *Déficit habitacional: cerca del agua, lejos del Estado*. Motor económico. Recuperado de <http://motoreconomico.com.ar/cruda-realidad/dficit-habitacional-cerca-del-agua-lejos-del-estado>
- Gray de Cerdán, N. (2013). *Universidad y sector científico trabajando para la reducción del riesgo a desastres. Experiencia de una Cátedra Universitaria con proyección internacional*. Buenos Aires: Editorial El Escriba.
- Gudiño, M. (2009). Instrumentos para la gestión del territorio. Ley de Ordenamiento Territorial y sistemas de información geográfica. En Díaz B.G. y Calviño P. (Comp). *Actas de las I y II Jornadas Regionales de Información Geográfica y Ordenamiento Territorial* (págs. 22-47). Santa Cruz: Ministerio Secretaría General de la Gobernación.
- Haas, C. (1995). Inundaciones en áreas urbanas e impacto social. El caso de la ciudad de Luján, Buenos Aires. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 15, 393-399. Recuperado de <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC9595220393A>
- Haggett, P. (1976). *El análisis locacional en la Geografía Humana*. Barcelona: Gustavo Gili.

- Herzer, H. (1990). Los desastres no son tan naturales como parecen. En *Medio Ambiente y Urbanización*. IIED. 30, 3-10.
- Kates, R. W. (1971). *Natural Hazard in Human Ecological Perspective: Hypotheses and Models*. *Economic Geography*, 47 (3), 438-451. Recuperado de http://www.rwkates.org/queries_nh.html
- Hartshorne, R. (1939). The Nature of Geography: A critical survey of current thought in the light of the past. *Annals of the Association of American Geographers*. 29, 173-658.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. d. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Humacata, L. (2017). *Análisis espacial de los cambios de usos del suelo en partidos de interfase urbano-rural de la Región Metropolitana de Buenos Aires, en el periodo 2000-2010, mediante la aplicación de Tecnologías de la Información Geográfica*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul. Recuperada de <https://www.researchgate.net/publication/326169509>
- Humacata, L. (2015). Análisis espacial con Sistemas de Información Geográfica aplicado al eje de crecimiento oeste de la Región Metropolitana de Buenos Aires. En Vidal Koppmann, S. (Comp.), *Metrópolis en Mutación* (págs. 179-208). Buenos Aires: Café de las Ciudades.
- IGN. (2017). *Modelo Digital de Elevaciones Aerofotogramétrico del sector AMBA 1.3. Especificaciones técnicas*. Recuperado de <https://www.ign.gob.ar/AreaServicios/VuelosFotogrametricos>
- INA. (2007). *Diagnóstico del funcionamiento hidrológico-hidráulico de la cuenca del río Luján – Provincia de Buenos Aires*. Recuperado de <http://www.delriolujan.com.ar/estudioina2.html>

- INDEC. (2013). *Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010. Base de datos REDATAM*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina.
- Johnston, R.J. (1987). *Geography and Geographers. Anglo-American Human Geography since 1945*. London: Edward Arnold.
- Kates, R. (1962). *Hazard and Choice Perception in Flood Plain Management*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Kates, R. (1963). Perceptual Regions and Regional Perception in Flood Plain Management. *Papers and Proceedings of Regional Science Association*, 11, 217-227.
- Kates, R. (1967). The Perception of Strom Hazard on The Shores of Megalopolis, Environmental Perception and Behavior. *Research Paper*. 109, 60-74.
- Kates, R. (1970). Human Perception of the Environment. *International Social Science Journal*. 22, 1-4.
- Kates, R. (1994). *Viviendo en riesgo. Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina*. Bogotá: FLACSO/ LA RED / CEPREDENAC.
- Kates, R. (2007). *Gilbert F. White, 1911-2006, Great Aspirations: Local Studies, National Comparisons, Global Challenges*. First National Academy of Sciences Gilbert F. White. Lecture in the Geographical Sciences. January 24, 2007. Washington, D.C: The National Academies Keck Center.
- Kates, R.; White, G. (1961). Flood Hazard Evaluation. *Papers an flood Problems, Research Paper*. 70, 135-147.
- Katzman, R (coord.). (1999). *Activos y estructuras de oportunidades. Estudios sobre las raíces de la vulnerabilidad en Uruguay*. Montevideo: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas.

- Katzman, R. (2000). Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social. En *BID-Banco Mundial-CEPAL. Quinto Taller Regional sobre la Medición de la Pobreza: Métodos y Aplicaciones*, Documento LC/R.2026. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas.
- La voz de Luján. (2018, 11 de noviembre). *Santa Marta: inundados bajo el agua*. Recuperado de <https://lavozdelujan.com/inicio/santa-marta-inundados-bajo-agua/>
- Landis J.R., Koch G.G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 33,159-174.
- Lanzelotti S. y G.D. Buzai. (2015). *Delimitación de la cuenca del río Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina*. Informe Técnico N° 1 Proyecto PICT 2014-1388. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/303703478_Delimitacion_de_la_cuenca_del_rio_Lujan_Provincia_de_Buenos_Aires_Argentina
- Lara, F. (2011). *Fundamentos de redes neuronales artificiales*. México: Laboratorio de Cibernética Aplicada-Centro de Instrumentos-Universidad Autónoma de México.
- Lavell, A. (1996). Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano: problemas y conceptos; hacia la definición de una agenda de investigación. En Fernández, M.A. (Comp.) *Ciudades en riesgos: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres* (págs. 2-30). Lima: La Red. Recuperado de https://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/CER_cap02-DARDU_ene-7-2003.pdf
- Lindón, A. y Hiemaux, D. (Dirs.). (2006). *Tratado de Geografía Humana*. México: Anthropos.
- Linares, S.; Di Nucci, J.; Velázquez, G. (2016). Cambios en el Sistemas Urbano. En Velázquez, G. (Dir.) *Geografía y calidad de vida en Argentina. Análisis regional y departamental* (págs. 68-82). Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

- López Trigal, L. (Dir.) (2015a). *Diccionario de Geografía Aplicada y Profesional*. León: Universidad de León.
- Lucero, P. (2016). *El mapa social de Mar del Plata: procesos de producción del espacio urbano y construcción de desigualdades territoriales*. Tesis doctoral. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Recuperada de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2818>
- Naciones Unidas. (2016). *Objetivos del desarrollo sostenible 17 objetivos para transformar el mundo*. Recuperado de: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Natenzon, C E., N. Marlenko, S. González, D. Ríos, A. Murgida, G. Meconi y A. Calvo (2003). Las dimensiones del riesgo en ámbitos urbanos. Catástrofes en el Area Metropolitana de Buenos Aires. En *Procesos territoriales en Argentina y Brasil*. Alessandri, A y Bertoncetto, R (Comp.) (págs. 255-276). Universidad de Buenos Aires/ Universidad de San Pablo.
- Natenzon, C. (1995). *Catástrofes naturales, riesgo e incertidumbre*. Serie de Documentos e Informes de Investigación n° 197. Buenos Aires: FLACSO.
- MacLeod, C. (2015). *GIS For Biologists: A Practical Introduction For Undergraduates*. UK: Pictish Beast Publications.
- Mas, J.-F. (comp).(2017). *Análisis y modelación de patrones y procesos de cambio*. México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental - Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.ciga.unam.mx/publicaciones/>.
- Mastrandrea, A.; Ángeles, G. (2020). Aplicación de un Índice de vulnerabilidad socioambiental. El caso de la ciudad de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires (Argentina). *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)*. 12(16), Sección II, 1-28.

- Martínez Rubiano, M.T. (2009). Los geógrafos y la teoría de riesgos y desastres ambientales. *Perspectiva Geográfica*. 14, 241-263. Recuperado de <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/perspectiva/article/view/1724>
- McHarg, I. (1967). An Ecological Method for Landscape Architecture. *Land-Scape Architecture*. 57 (2), 105-107.
- Mitjavila, M. (1999). El riesgo y las dimensiones institucionales de la modernidad. *Revista de Ciencias Sociales*. 15. Recuperado de: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/gsd/cgi-bin/library.cgi?c=uy/uy-004&a=d&d=HASH0640b86b8ad6b7f795d04a.3>
- Moser, C. (1998). Reassessing urban poverty reduction strategies: The asset vulnerability framework. *World Development*, 26. (1), 1-19.
- Olaya V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado de <http://volaya.es/writing>
- Pacione, M.. (2011). Applied Geography: 7 Principles and Praxis. *Hrvatski geografski glasnik*. 73(1), 7–28.
- Paso Viola, L. (2016). Origen del Río Luján en el área imbrífera localizada en los partidos de Chacabuco, Suipacha y Carmen de Areco y su representación cartográfica. *Red Sociales*. 3 (1), 17-30. Recuperado de <http://www.redsocialesunlu.net/wp-content/uploads/2016/04/RSOC012-02-Origen-del-R%C3%ADo-Luj%C3%A1n-PASO-VIOLA.pdf>
- Perles Roselló, M. (2010). *Apuntes para la evaluación de la vulnerabilidad social frente al riesgo de inundación*. Málaga: Baetica.
- Philipponneau, M. (2001). *Geografía Aplicada*. Barcelona: Ariel.
- Pintos, P. y Narodowski, P. (coord.) (2012). *La privatopía sacrílega. Efectos del urbanismo privado en humedales de la cuenca baja del río Luján*. Buenos Aires: Imago Mundi.

- Principi, N. (2020). El enfoque sistémico en el análisis de riesgos en Geografía. *Anuario de la División Geografía*, 14, 1-8.
- Principi, N. (2019). *Análisis espacial de conflictos entre usos del suelo en la cuenca del Río Luján*. Luján: Editorial Universidad Nacional de Luján.
- Principi, N. (2018). Propuesta teórico-metodológica para el análisis de riesgo y vulnerabilidad social ante la amenaza de inundaciones en la ciudad de Luján (Buenos Aires, Argentina). En Villerías Salinas, S.; García Castro, N. *Análisis de la vulnerabilidad social desde un enfoque multidisciplinario* (págs. 75-89). México: Porrúa.
- Principi, N. y Buzai, G.D. (2020). Análisis espacial de la vulnerabilidad socioeconómica de la ciudad de Luján (Argentina): interpretación modelística a partir de su mapa social para la identificación de áreas prioritarias de planificación. *Estudios socioterritoriales*. N° 28, julio-diciembre (en prensa).
- Ratzel, F. (1882). *Anthropogeographie. Vol. I: Grundzüge der Anwendung der Geographie auf die geschichte*. Engelhorn. Stuttgart (Trad. Italiana: Geografia dell Uomo. Principi d' applicazione della scienza geografica alla storia, Fratelli Bocca. Turín. 1914).
- Ratzel, F. 1891. *Anthropogeographie. Vol. II: Die Geographische Verbreitung des Menschen*. Engelhorn: Stuttgart
- Renda, E.; Rozas Garay, M.; Moscardini, O. y Torchia, N. (2017). *Manual para la elaboración de mapas de riesgo*. Argentina: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Ministerio de Seguridad de la Nación.
- Rey Balmaceda, R. (1975). *Geografía Regional: Teoría y Aplicación*. Buenos Aires: Estrada.
- Reyna, J.; Spalletti P; y Brea, J. (2007). *Riesgo de Inundaciones en el Río Luján*. Ezeiza: Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua.

- Reynoso, R.; Valdez Lazalde, J.; Escalona Maurice, M.; De los Santos Posadas, H. y Pérez Hernández, M. (2016). Cadenas de Markov y autómatas celulares para la modelación de cambio de uso de suelo. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 37(1). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000100006
- Ríos D. (2005). Planificación urbana privada y desastres de inundación. Las urbanizaciones cerradas polderizadas en el municipio de Tigre, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Economía, Sociedad y Territorio*. 17 (5): 63-8.
- Rodríguez, J. (2000). *Vulnerabilidad demográfica: una faceta de las desventajas sociales*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas.
- Ruiz Pérez, M. (2011). *Vulnerabilidad Territorial y Evaluación de Daños Postcatástrofe. Una aproximación desde la geografía del riesgo*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Madrid. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/12850/>
- Russel, B. (1985). *La perspectiva científica*. Madrid: Sarpe. Original (1945). *The scientific Outlook*. London: George Allen and Unwin.
- Samaja, J. (2005). *Epistemología y Metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. Buenos Aires: Eudeba.
- Sánchez Caro, A y Bianchi, J. (2014). *Modelación hidrológica a paso diario de la cuenca del río Luján, Provincia de Buenos Aires*. Trabajo presentado en el 2º encuentro de investigadores en Formación en recurso hídricos. Ezeiza, Buenos Aires.
- Sánchez González, D.; Egea Jiménez, C. y Soledad Suescún, J. (2012). Apuntes sobre los riesgos sociales. Componente principal de la vulnerabilidad social. En Egea Jiménez, C.; Sánchez González, D.; Soledad Suescún, J. I. (coord.).

- Vulnerabilidad Social. Posicionamientos y ángulos desde geografías diferentes* (págs. 57-68). Granada: Eirene.
- Schaefer, F. (1953). Excepcionalism in Geography: A methodological examination. *Annals of the Association of American Geographers*. XLIII, 226-229.
- Schulten, S. (2012). *Mapping the Nation: History and Cartography in Nineteenth Century America*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Sili, M. (2018). La acción territorial: una propuesta conceptual y metodológica para su análisis. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*. 20 (1), 1-31.
- Sorre M. (1955), *Fundamentos biológicos de la Geografía Humana. Ensayo de una ecología del hombre*. Traducción revisada por el autor y prólogo por Rafael Candel Vila y Joaquina Comas de Candel, Barcelona: Editorial Juventud..
- Stamp, J.D. (1960). *Applied Geography*. London: Penguin Books.
- Strahler, A. N. y Strahler, A. H. (1989). *Geografía Física*. Barcelona: Editorial Omega.
- Subdirección de Emergencia y Defensa Civil. (2017). *Gestión del riesgo en el partido de Luján*. Informe. Luján: Municipalidad de Luján.
- Tapiador, F. J. (2001). El papel del geógrafo en las directrices de ordenación territorial. *Boletín de la AGE-Asociación de Geógrafos Españoles*. 31, 137-147.
- Teixeira, A.; Matias, L.; Noal, R.; Moretti, E. (1995). Qual a Melhor Definicao de SIG. *Fator GIS*. 11, 20-24.
- Thill, J. C. (ed.). (2020). *Innovations in Urban and Regional Systems: Contributions from GIS&T, Spatial Analysis and Location Modeling*. Switzerland: Springer.
- Thomas, R. (2015). *Concepts, Methods and Practical Applications in Applied Demography: An Introductory Textbook*. Suiza: Springer.
- Tomlin, C.D. (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs.

- Un repaso por las inundaciones de los últimos 50 años. (2012, 7 de noviembre). El Civismo. Información general. Recuperado de <http://www.elcivismo.com.ar/notas/14429/>
- UNDRO. (1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*. Report of Experts Group Meeting, Geneva.
- Unwin, D.J. (1981). *Introductory spatial analysis*. London: Methuen
- Vapñarsky, C. A. y Gorjovsky, N. (1990). *El crecimiento urbano en la Argentina*. Buenos Aires: Grupo Editor Latinoamericano.
- Velázquez, G. (2008). *Geografía y bienestar. Situación local, regional y global de la Argentina luego del censo de 2001*. Buenos Aires: Eudeba.
- Velázquez, G.; Formiga, N. (Coord). (2008). *Calidad de Vida, Diferenciación Socioespacial y Condiciones sociodemográficas. Aportes para su estudio en la Argentina*. Bahía Blanca: EdiUNS.
- Vidal de La Blache, P. (1922). *Principes de Géographie Humaine*. Paris.
- Vilá Valentí, J. (1983). *Introducción al estudio teórico de la Geografía*. Barcelona: Ariel.
- Villerías Salinas, S.; García Castro, N. (2018). *Análisis de la vulnerabilidad social desde un enfoque multidisciplinario*. México: Porrúa.
- Wagensberg, J. (1994). *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Barcelona: Tusquets Editores.
- Wegmann, M.; Leutner, B.; Dech, S. (2016). *Remote Sensing and GIS for Ecologists: Using Open Source of Geography*. UK: Pelagic Publishing.
- White, G. (1945). *Human Adjustment to Floods*. Research Paper 29. Chicago IL: University of Chicago, Department of Science.

- White, G. (1958). *The Future of Arid Lands*. Washington: American Association for the Advancement of Science. White, G. (1960). *Science and the Future of Arid Lands*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- White, G. (1974). *Natural Hazards: Local, national, global*. Oxford: Oxford University Press.
- White, G. (1975). La investigación de los riesgos naturales. En Chorley R. *Nuevas tendencias de la geografía*. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.
- White, G.; Kates, R.; Burton, I. (1968). The Human Ecology of Extreme Geophysical Events. Department of Geography, *Natural Hazards Research Working*, Paper N° 1. Toronto: University of Toronto.
- White, G.; Kates, R.; Burton, I. (1978). *The Environment as Hazard*. New York: Oxford University Press.
- Wilches Chaux, G. (1993). La Vulnerabilidad Global. En Maskrey, A. (ed.) *Los Desastres no son naturales* (págs. 11-44). Bogotá: La Red. Tercer Mundo Editores. Recuperado de <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/>
- Windelband, W. (1970). *Historia general de la filosofía*. Barcelona: El Ateneo.
- Zamorano de Montiel, G. (1994). *Geografía Regional: Paisajes y clasificaciones*. San Isidro: Ceyne.

APÉNDICES

Apéndice 1. Datos utilizados para el análisis de vulnerabilidad socioeconómica

Matriz de Datos Originales (MDO)

Radio	0-14	65 y más	TASA_ANALF	PRIM.COM	HOG_NBI	CCV_INSUFI	DESOCUPADO	REL_DEPEND	%POB_TOTAL	HOG_TOTAL	VIV_TOTAL
64970101	137	241	0.11	0	1	1	18	60.19	1006	381	445
64970102	72	93	0.21	107	1	3	14	46.88	517	202	240
64970103	74	112	0.63	141	1	3	14	55.03	524	204	231
64970104	124	236	0.25	213	2	2	13	69.63	877	313	374
64970105	121	180	0	181	1	1	25	62.19	785	295	377
64970106	113	191	0.26	182	3	1	14	55.68	850	327	413
64970107	98	113	0.18	116	2	4	14	51.97	617	214	243
64970108	136	89	0.32	185	8	5	16	46.11	713	229	219
64970109	105	74	0.84	187	2	6	18	49.86	538	196	212
64970110	170	102	0.59	285	10	12	28	53.02	785	253	285
64970111	205	116	1.1	370	16	15	26	57.73	877	278	293
64970112	296	61	0.63	392	11	29	32	55.78	997	252	259
64970306	226	31	2.87	364	30	69	14	52.88	743	205	209
64970307	624	68	3	864	94	191	42	70.76	1670	432	446
64970308	526	60	3.54	711	81	155	26	74.46	1373	350	366
64970309	224	24	1.75	264	33	74	21	61.85	649	165	181
64970310	159	21	3.09	199	18	41	16	73.47	425	118	125
64970311	260	66	3.03	389	43	93	42	59.17	877	283	319
64970312	300	129	0.48	415	19	33	19	53.16	1236	371	397
64970501	147	60	0.68	180	3	9	27	42.77	691	230	262
64970502	124	91	0.99	165	3	7	21	56.43	596	218	246
64970503	208	83	0.21	308	4	5	40	36.88	1080	325	340
64970504	492	41	2.62	620	87	167	30	71.54	1278	334	352
64970505	605	54	2.6	778	88	210	54	70.41	1595	413	426
64970506	485	51	2.26	699	66	186	48	61.97	1401	374	408
64970507	325	103	2.08	504	33	62	29	56.02	1192	345	376
64970508	264	109	0.81	349	15	29	21	56.69	1031	327	380
64970509	264	130	0.7	334	13	9	28	50.26	1178	409	448
64970510	445	127	1.07	602	35	71	17	62.11	1493	429	446
64970511	464	59	2.45	613	60	110	30	58.76	1413	370	383
64970512	280	104	1.9	437	33	48	32	59.35	1031	322	340
64970513	213	113	0.81	307	12	15	19	48.08	1004	352	409
64970601	329	95	1.26	417	15	26	39	56.68	1172	338	335
64970602	234	97	0.22	310	11	15	22	44.91	1068	332	367
64970603	201	37	1.49	268	22	50	22	66.11	598	164	182
64970604	174	116	0.66	288	2	15	18	50.43	865	295	330
64970605	279	85	1.25	379	16	46	26	54.57	1031	307	328
64970606	124	14	2.19	178	10	28	5	55.87	385	100	113
64970607	378	95	1.39	543	29	84	44	59.72	1265	361	406
64970610	280	28	1.52	361	30	71	27	63.64	782	205	259
64970611	127	48	0.21	112	11	11	10	46.17	554	189	342
64970612	74	13	2.06	80	9	21	5	59.18	234	64	87
64970613	171	60	1.27	237	13	51	18	54.87	652	199	224
64970614	141	36	1.58	185	24	55	12	59.6	474	133	209
64970701	101	170	0.15	205	5	5	14	55.42	760	297	346
64970702	42	71	0.7	70	2	1	3	57.36	310	127	179
64970703	46	87	1.35	92	1	0	5	50.76	395	147	218
64970704	43	88	0.32	68	0	0	6	61.5	344	142	192
64970705	134	199	0.28	180	0	3	15	71.31	800	306	405
64970706	71	171	0.17	113	3	0	8	62.37	630	291	437
64970707	49	78	0	65	9	0	4	62.87	329	155	258
64970708	94	197	0.77	229	8	0	12	52.81	842	295	434
64970709	96	121	0.21	170	3	8	10	67.39	539	207	240
64970710	150	109	0.33	203	3	4	22	57.43	710	238	263
64970801	147	60	1.29	252	3	0	27	39.96	725	219	219
64970802	333	144	8.88	503	25	81	49	55.92	1330	275	278
64970803	201	85	1.35	318	9	28	20	55.21	894	232	275
64971101	160	194	0.11	260	3	3	23	53.39	1017	359	410
64971102	144	230	0.82	309	8	7	23	53.58	1072	374	409
64971103	147	151	0.79	220	11	4	13	54.18	848	328	362
64971104	146	202	0.33	281	14	7	16	51.94	1018	402	460
64971105	131	202	0.59	218	1	1	24	55.32	935	356	397
64971106	154	253	0.1	254	2	2	32	59.16	1095	382	425
64971107	158	132	0.63	249	11	13	20	48.25	891	308	340
64971108	150	125	0.44	225	0	7	28	53.5	789	265	292
64971201	310	75	0.34	434	16	25	26	54.84	1087	302	313
64971202	424	67	1.05	569	49	96	48	52.8	1421	419	436
64971203	202	112	0.72	312	9	16	28	48.61	960	293	305
64971204	167	114	0.8	248	2	7	13	49.91	844	265	276
64971205	272	132	1.13	350	11	20	30	53.94	1153	370	391
64971206	271	81	0.25	266	4	11	23	57.05	969	296	326
64971207	248	96	0.45	389	10	39	43	48.04	1060	321	352
64971211	150	29	1.23	190	16	24	18	55.42	502	130	208
64971212	87	16	0	67	2	4	5	57.94	282	91	168
64971301	513	120	1.68	641	38	105	48	62.92	1639	460	466
64971302	428	96	1.04	589	35	113	38	64.29	1339	360	371
64971303	130	51	0.23	150	4	22	13	53.87	517	165	238
64971304	114	70	0.26	138	2	15	8	64.79	468	137	226
64971401	318	184	1.01	484	13	51	45	56.09	1397	419	445
64971402	286	158	1.3	486	9	37	34	54.55	1258	394	388
64971403	434	159	0.7	582	16	43	47	58.48	1607	502	536
64971405	328	121	2.72	585	38	81	30	54.23	1277	331	346
64971406	287	175	0.49	458	16	31	35	61.6	1212	392	415
64971407	78	68	0.58	98	2	4	12	58.63	395	162	227
64971408	111	134	0.49	203	19	25	13	56.84	676	243	273
64971409	267	116	1.91	399	17	37	37	56.66	1059	311	337
64971410	192	93	45.67	318	6	29	30	8.86	909	292	315

Se incorporan datos de totales de población, hogares y viviendas utilizados para el cálculo de la MDI

Matriz de datos índice (MDI)

Radio	0-14. %	MAYOR_65 %	TA_ANALF	PRI_CO %	HOG_NBI %	TEN_AGUA_%	DESOCUP_%	REL_DEP_%	CAL_MAT3y4 %	CCV_INSUFI%
64970101	13.62	23.96	0.11	0.000	0.26	0.26	1.79	60.19	1.86	0.22
64970102	13.93	17.99	0.21	20.696	0.50	0.99	2.71	46.88	7.14	1.25
64970103	14.12	21.37	0.63	26.908	0.49	0.49	2.67	55.03	2.01	1.30
64970104	14.14	26.91	0.25	24.287	0.64	0.32	1.48	69.63	1.64	0.53
64970105	15.41	22.93	0.00	23.057	0.34	0.34	3.18	62.19	2.07	0.27
64970106	13.29	22.47	0.26	21.412	0.92	0.00	1.65	55.68	1.58	0.24
64970107	15.88	18.31	0.18	18.801	0.93	1.87	2.27	51.97	2.88	1.65
64970108	19.07	12.48	0.32	25.947	3.49	3.06	2.24	46.11	3.7	2.28
64970109	19.52	13.75	0.84	34.758	1.02	2.04	3.35	49.86	7.33	2.83
64970110	21.66	12.99	0.59	36.306	3.95	3.56	3.57	53.02	4.94	4.21
64970111	23.38	13.23	1.10	42.189	5.76	3.60	2.96	57.73	4.41	5.12
64970112	29.69	6.12	0.63	39.318	4.37	8.73	3.21	55.78	8.61	11.20
64970306	30.42	4.17	2.87	48.991	14.63	22.93	1.88	52.88	26.57	33.01
64970307	37.37	4.07	3.00	51.737	21.76	34.95	2.51	70.76	39.86	42.83
64970308	38.31	4.37	3.54	51.784	23.14	32.86	1.89	74.46	47.78	42.35
64970309	34.51	3.70	1.75	40.678	20.00	31.52	3.24	61.85	37.5	40.88
64970310	37.41	4.94	3.09	46.824	15.25	20.34	3.76	73.47	32.46	32.80
64970311	29.65	7.53	3.03	44.356	15.19	26.15	4.79	59.17	24.28	29.15
64970312	24.27	10.44	0.48	33.576	5.12	8.27	1.54	53.16	19.22	8.31
64970501	21.27	8.68	0.68	26.049	1.30	2.17	3.91	42.77	2.18	3.44
64970502	20.81	15.27	0.99	27.685	1.38	2.75	3.52	56.43	3.73	2.85
64970503	19.26	7.69	0.21	28.519	1.23	0.62	3.70	36.88	2.54	1.47
64970504	38.50	3.21	2.62	48.513	26.05	34.43	2.35	71.54	46.75	47.44
64970505	37.93	3.39	2.60	48.777	21.31	34.14	3.39	70.41	42.9	48.17
64970506	34.62	3.64	2.26	49.893	17.65	31.65	3.43	61.97	39.07	45.59
64970507	27.27	8.64	2.08	42.282	9.57	13.91	2.43	56.02	13.06	16.49
64970508	25.61	10.57	0.81	33.851	4.59	7.34	2.04	56.69	7.57	7.63
64970509	22.41	11.04	0.70	28.353	3.18	0.98	2.38	50.26	5.81	2.01
64970510	29.81	8.51	1.07	40.322	8.16	12.35	1.14	62.11	14.46	15.92
64970511	32.84	4.18	2.45	43.383	16.22	22.43	2.12	58.76	24.85	28.72
64970512	27.16	10.09	1.90	42.386	10.25	12.42	3.10	59.35	19.94	14.12
64970513	21.22	11.25	0.81	30.578	3.41	2.84	1.89	48.08	5.15	3.67
64970601	28.07	8.11	1.26	35.580	4.44	7.69	3.33	56.68	8.9	7.76
64970602	21.91	9.08	0.22	29.026	3.31	4.52	2.06	44.91	3.44	4.09
64970603	33.61	6.19	1.49	44.816	13.41	23.17	3.68	66.11	33.33	27.47
64970604	20.12	13.41	0.66	33.295	0.68	4.41	2.08	50.43	7.09	4.55
64970605	27.06	8.24	1.25	36.760	5.21	11.07	2.52	54.57	16.55	14.02
64970606	32.21	3.64	2.19	46.234	10.00	22.00	1.30	55.87	19.39	24.78
64970607	29.88	7.51	1.39	42.925	8.03	16.62	3.48	59.72	19.49	20.69
64970610	35.35	3.54	1.52	45.581	14.63	28.78	3.41	63.64	29.35	27.41
64970611	22.92	8.66	0.21	20.217	0.53	3.70	1.81	46.17	4.81	3.22
64970612	31.62	5.56	2.06	34.188	14.06	32.81	2.14	59.18	25	24.14
64970613	26.23	9.20	1.27	36.350	6.53	21.61	2.76	54.87	21.51	22.77
64970614	29.75	7.59	1.58	39.030	18.05	26.32	2.53	59.60	40.45	26.32
64970701	13.29	22.37	0.15	26.974	1.68	0.65	1.84	55.42	2.43	1.45
64970702	13.55	22.90	0.70	22.581	1.57	0.00	0.97	57.36	0	0.56
64970703	11.65	22.03	1.35	23.291	0.68	0.00	1.27	50.76	1.37	0.00
64970704	12.50	25.58	0.32	19.767	0.00	0.00	1.74	61.50	2.9	0.00
64970705	16.75	24.88	0.28	22.500	0.00	0.33	1.88	71.31	1.33	0.74
64970706	11.27	27.14	0.17	17.937	1.03	0.00	1.27	62.37	1.04	0.00
64970707	14.89	23.71	0.00	19.757	5.81	0.00	1.22	62.87	2.08	0.00
64970708	11.16	23.40	0.77	27.197	2.71	0.00	1.43	52.81	1.07	0.00
64970709	17.81	22.45	0.21	31.540	1.45	3.86	1.86	67.39	3.09	3.33
64970710	21.13	15.35	0.33	28.592	1.26	1.68	3.10	57.43	5.69	1.52
64970801	20.28	8.28	1.29	34.759	1.37	0.46	3.72	39.96	1.43	0.00
64970802	25.04	10.83	8.88	37.820	9.09	23.83	3.68	55.92	19.92	29.14
64970803	25.00	10.57	1.35	39.552	3.88	9.79	2.49	55.21	12.16	10.18
64971101	15.73	19.08	0.11	25.565	0.84	0.56	2.26	53.39	2.03	0.73
64971102	13.43	21.46	0.82	28.825	2.14	0.53	2.15	53.58	1.4	1.71
64971103	17.33	17.81	0.79	25.943	3.35	0.30	1.53	54.18	6.29	1.10
64971104	14.34	19.84	0.33	27.603	3.48	0.75	1.57	51.94	4.05	1.52
64971105	14.01	21.60	0.59	23.316	0.28	0.00	2.57	55.32	1.52	0.25
64971106	14.06	23.11	0.10	23.196	0.52	0.52	2.92	59.16	2.23	0.47
64971107	17.73	14.81	0.63	27.946	3.57	3.90	2.24	48.25	3.65	3.82
64971108	19.01	15.84	0.44	28.517	0.00	1.13	3.55	53.50	3.83	2.40
64971201	28.52	6.90	0.34	39.926	5.30	5.30	2.39	54.84	12.64	7.99
64971202	29.84	4.71	1.05	40.042	11.69	16.23	3.38	52.80	18.56	22.02
64971203	21.04	11.67	0.72	32.500	3.07	3.41	2.92	48.61	7.58	5.25
64971204	19.79	13.51	0.80	29.384	0.75	2.26	1.54	49.91	5.91	2.54
64971205	23.59	11.45	1.13	30.356	2.97	5.41	2.60	53.94	4.33	5.12
64971206	27.97	8.36	0.25	27.451	1.35	2.03	2.37	57.05	5.23	3.37
64971207	23.40	9.06	0.45	36.698	3.12	10.28	4.06	48.04	9.74	11.08
64971211	29.88	5.78	1.23	37.849	12.31	16.03	3.59	55.42	26.02	11.54
64971212	30.85	5.67	0.00	23.759	2.20	4.40	1.77	57.54	9.2	2.38
64971301	31.30	7.32	1.68	39.109	8.26	16.09	2.93	62.92	16.94	22.53
64971302	31.96	7.17	1.04	43.988	9.72	25.83	2.84	64.29	18.68	30.46
64971303	25.15	9.86	0.23	29.014	2.42	11.52	2.51	53.87	12.81	9.24
64971304	24.36	14.96	0.26	29.487	1.46	9.42	1.71	64.79	10.37	6.64
64971401	22.76	13.17	1.01	34.646	3.10	9.24	3.22	56.09	12.16	11.46
64971402	22.73	12.56	1.30	38.633	2.28	7.61	2.70	54.55	7.28	9.54
64971403	27.01	9.89	0.70	36.217	3.19	7.16	2.92	58.48	6.58	8.02
64971405	25.69	9.48	2.72	45.810	11.48	19.88	2.35	54.23	20.83	23.41
64971406	23.68	14.44	0.49	37.789	4.08	7.14	2.89	61.60	5.69	7.47
64971407	19.75	17.22	0.58	24.810	1.23	1.23	3.04	58.63	4.4	1.76
64971408	16.42	19.82	0.49	30.030	7.82	2.47	1.92	56.84	2.54	9.16
64971409	25.21	10.95	1.91	37.677	5.47	9.29	3.49	56.66	11.08	10.98
64971410	21.12	10.23	1.16	34.983	2.05	5.14	3.30	45.67	8.86	9.21

Matriz de datos estandarizada (MDZ)

Radio	0-14 %	MAYOR_65	TA_ANALF	PRI_CO %	HOG_NBI %	DESOCUP %	REL_DEP %	CCV_INSUFI %
64970101	-1.33	1.69	-0.83	-3.53	-0.89	-0.95	0.51	-0.86
64970102	-1.29	0.80	-0.75	-1.33	-0.86	0.18	-1.34	-0.78
64970103	-1.26	1.30	-0.40	-0.67	-0.86	0.14	-0.21	-0.77
64970104	-1.26	2.13	-0.72	-0.95	-0.83	-1.33	1.82	-0.83
64970105	-1.09	1.54	-0.93	-1.08	-0.88	0.77	0.79	-0.85
64970106	-1.38	1.47	-0.71	-1.26	-0.79	-1.13	-0.12	-0.85
64970107	-1.02	0.85	-0.78	-1.53	-0.79	-0.36	-0.64	-0.75
64970108	-0.59	-0.02	-0.66	-0.77	-0.38	-0.39	-1.45	-0.70
64970109	-0.53	0.17	-0.22	0.16	-0.77	0.97	-0.93	-0.66
64970110	-0.24	0.06	-0.43	0.33	-0.31	1.24	-0.49	-0.55
64970111	0.00	0.09	-0.01	0.96	-0.02	0.50	0.17	-0.48
64970112	0.86	-0.96	-0.40	0.65	-0.24	0.80	-0.11	-0.02
64970306	0.96	-1.25	1.48	1.68	1.40	-0.84	-0.51	1.65
64970307	1.90	-1.27	1.58	1.97	2.53	-0.06	1.98	2.40
64970308	2.03	-1.22	2.04	1.98	2.75	-0.83	2.49	2.36
64970309	1.51	-1.32	0.54	0.79	2.25	0.83	0.74	2.25
64970310	1.91	-1.14	1.66	1.45	1.50	1.49	2.36	1.63
64970311	0.85	-0.75	1.61	1.19	1.49	2.75	0.37	1.35
64970312	0.12	-0.32	-0.52	0.04	-0.12	-1.27	-0.47	-0.24
64970501	-0.29	-0.58	-0.36	-0.76	-0.73	1.66	-1.92	-0.61
64970502	-0.35	0.40	-0.10	-0.59	-0.72	1.19	-0.02	-0.66
64970503	-0.56	-0.73	-0.75	-0.50	-0.74	1.41	-2.74	-0.76
64970504	2.06	-1.39	1.27	1.63	3.22	-0.26	2.09	2.75
64970505	1.98	-1.37	1.25	1.66	2.46	1.02	1.93	2.80
64970506	1.53	-1.33	0.96	1.77	1.88	1.07	0.76	2.61
64970507	0.53	-0.59	0.81	0.96	0.59	-0.16	-0.07	0.39
64970508	0.30	-0.30	-0.25	0.07	-0.21	-0.65	0.02	-0.29
64970509	-0.13	-0.23	-0.34	-0.52	-0.43	-0.23	-0.87	-0.72
64970510	0.87	-0.61	-0.03	0.76	0.36	-1.76	0.77	0.34
64970511	1.29	-1.25	1.12	1.08	1.65	-0.54	0.31	1.32
64970512	0.51	-0.37	0.66	0.98	0.70	0.67	0.39	0.20
64970513	-0.30	-0.20	-0.25	-0.28	-0.39	-0.83	-1.18	-0.59
64970601	0.64	-0.67	0.13	0.25	-0.23	0.95	0.02	-0.28
64970602	-0.20	-0.52	-0.74	-0.45	-0.41	-0.62	-1.62	-0.56
64970603	1.39	-0.95	0.32	1.23	1.20	1.38	1.33	1.22
64970604	-0.45	0.12	-0.37	0.01	-0.83	-0.59	-0.85	-0.53
64970605	0.50	-0.65	0.12	0.38	-0.11	-0.05	-0.27	0.20
64970606	1.20	-1.33	0.91	1.39	0.66	-1.56	-0.09	1.02
64970607	0.88	-0.76	0.24	1.03	0.34	1.13	0.44	0.71
64970610	1.63	-1.35	0.35	1.32	1.40	1.05	0.99	1.22
64970611	-0.06	-0.58	-0.75	-1.38	-0.85	-0.93	-1.44	-0.63
64970612	1.12	-1.05	0.80	0.10	1.31	-0.53	0.37	0.97
64970613	0.39	-0.50	0.14	0.33	0.11	0.25	-0.23	0.86
64970614	0.87	-0.74	0.40	0.62	1.94	-0.04	0.43	1.14
64970701	-1.38	1.45	-0.80	-0.66	-0.67	-0.89	-0.16	-0.76
64970702	-1.34	1.53	-0.34	-1.13	-0.69	-1.97	0.11	-0.83
64970703	-1.60	1.40	0.20	-1.06	-0.83	-1.60	-0.80	-0.87
64970704	-1.48	1.93	-0.66	-1.43	-0.94	-1.01	0.69	-0.87
64970705	-0.90	1.83	-0.69	-1.14	-0.94	-0.85	2.05	-0.82
64970706	-1.65	2.16	-0.78	-1.63	-0.77	-1.60	0.81	-0.87
64970707	-1.16	1.65	-0.93	-1.43	-0.01	-1.66	0.88	-0.87
64970708	-1.67	1.61	-0.28	-0.64	-0.50	-1.40	-0.52	-0.87
64970709	-0.76	1.46	-0.75	-0.18	-0.71	-0.87	1.51	-0.62
64970710	-0.31	0.41	-0.65	-0.49	-0.74	0.66	0.12	-0.76
64970801	-0.42	-0.64	0.15	0.16	-0.72	1.44	-2.31	-0.87
64970802	0.22	-0.26	6.50	0.49	0.51	1.39	-0.09	1.35
64970803	0.22	-0.30	0.20	0.67	-0.32	-0.09	-0.19	-0.10
64971101	-1.04	0.96	-0.83	-0.81	-0.80	-0.37	-0.44	-0.82
64971102	-1.36	1.32	-0.24	-0.47	-0.60	-0.51	-0.41	-0.74
64971103	-0.83	0.77	-0.27	-0.77	-0.40	-1.27	-0.33	-0.79
64971104	-1.23	1.08	-0.65	-0.60	-0.38	-1.22	-0.64	-0.76
64971105	-1.28	1.34	-0.43	-1.05	-0.89	0.01	-0.17	-0.85
64971106	-1.27	1.56	-0.84	-1.07	-0.85	0.45	0.36	-0.84
64971107	-0.77	0.33	-0.40	-0.56	-0.37	-0.39	-1.15	-0.58
64971108	-0.60	0.48	-0.56	-0.50	-0.94	1.22	-0.42	-0.69
64971201	0.70	-0.85	-0.64	0.71	-0.09	-0.21	-0.24	-0.26
64971202	0.88	-1.17	-0.05	0.73	0.93	1.01	-0.52	0.81
64971203	-0.32	-0.14	-0.32	-0.08	-0.45	0.44	-1.10	-0.47
64971204	-0.49	0.14	-0.26	-0.41	-0.82	-1.26	-0.92	-0.68
64971205	0.03	-0.17	0.02	-0.30	-0.46	0.05	-0.36	-0.48
64971206	0.62	-0.63	-0.72	-0.61	-0.72	-0.23	0.07	-0.62
64971207	0.00	-0.53	-0.55	0.37	-0.44	1.85	-1.18	-0.03
64971211	0.88	-1.01	0.10	0.49	1.03	1.26	-0.16	0.01
64971212	1.02	-1.03	-0.93	-1.01	-0.59	-0.97	0.14	-0.69
64971301	1.08	-0.78	0.48	0.63	0.38	0.45	0.89	0.85
64971302	1.17	-0.81	-0.06	1.15	0.61	0.34	1.08	1.45
64971303	0.24	-0.41	-0.73	-0.45	-0.55	-0.06	-0.37	-0.17
64971304	0.13	0.35	-0.71	-0.40	-0.70	-1.05	1.15	-0.37
64971401	-0.09	0.09	-0.08	0.15	-0.44	0.81	-0.06	0.00
64971402	-0.09	-0.01	0.16	0.58	-0.57	0.17	-0.28	-0.15
64971403	0.49	-0.40	-0.34	0.32	-0.43	0.45	0.27	-0.26
64971405	0.31	-0.46	1.35	1.34	0.89	-0.26	-0.32	0.91
64971406	0.04	0.27	-0.52	0.49	-0.29	0.40	0.70	-0.30
64971407	-0.50	0.69	-0.44	-0.89	-0.74	0.59	0.29	-0.74
64971408	-0.95	1.07	-0.52	-0.34	0.31	-0.79	0.04	-0.17
64971409	0.25	-0.24	0.67	0.47	-0.06	1.15	0.02	-0.04
64971410	-0.31	-0.35	0.04	0.19	-0.61	0.91	-1.51	-0.17

Matriz de cálculo y promedio del VIM

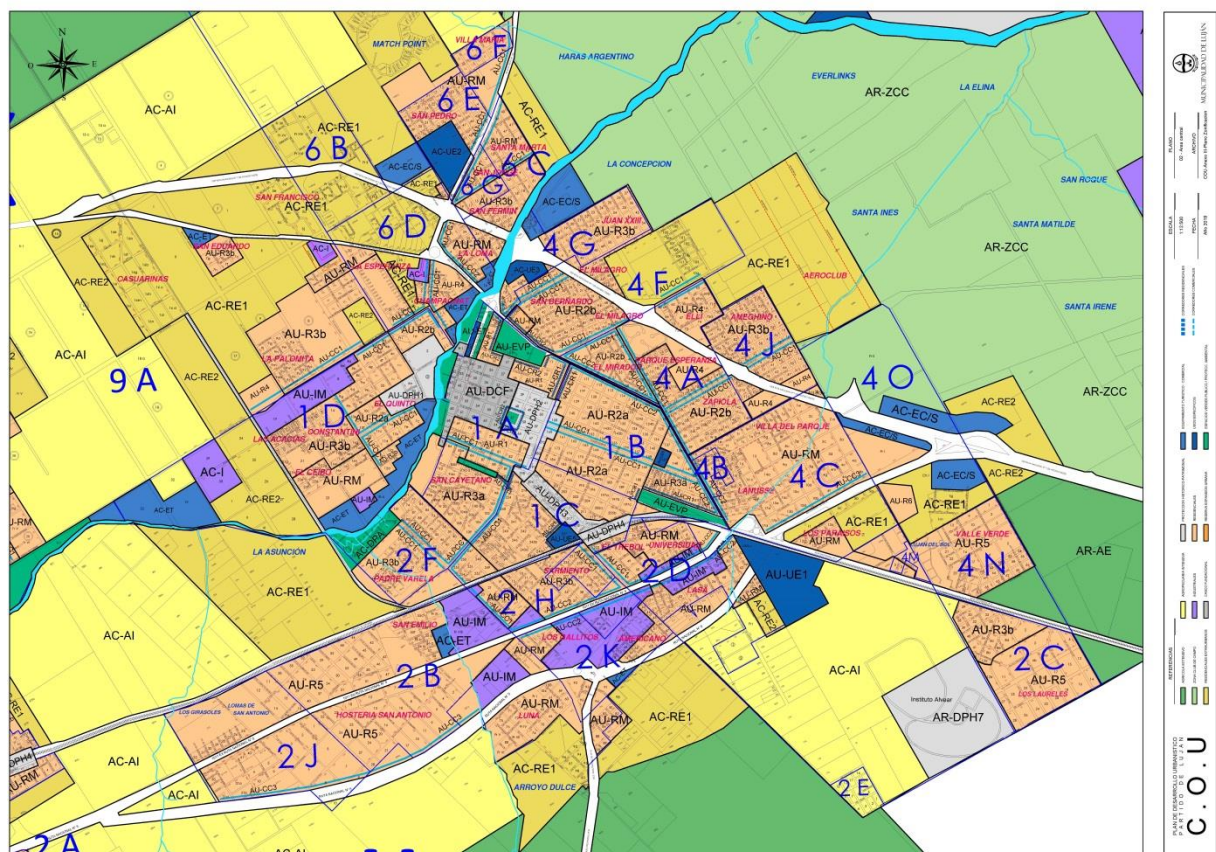
Radio	0-14 %	MAYOR_65 %	TA_ANALF	PRI_CO %	HOG_NBI %	TEN_AGUA %	DESOCUP %	REL_DEP %	CAL_MAT3y4	CCV_INSUFI %	VIM
64970101	1	5	2	1	2	2	2	4	2	2	2.30
64970102	1	4	2	1	2	2	3	1	3	2	2.10
64970103	1	5	3	2	2	2	3	3	2	2	2.50
64970104	1	5	2	2	2	2	1	5	2	2	2.40
64970105	1	5	2	1	2	2	4	4	2	2	2.50
64970106	1	5	2	1	2	2	1	3	2	2	2.10
64970107	1	4	2	1	2	2	3	2	2	2	2.10
64970108	2	3	2	2	3	2	3	1	2	2	2.20
64970109	2	3	3	3	2	2	4	2	3	2	2.60
64970110	3	3	3	3	3	2	5	3	2	2	2.90
64970111	3	3	3	4	3	2	3	3	2	3	2.90
64970112	4	2	3	4	3	3	4	3	3	3	3.20
64970306	4	1	5	5	5	5	2	2	5	5	3.90
64970307	5	1	5	5	5	5	3	5	5	5	4.40
64970308	5	1	5	5	5	5	2	5	5	5	4.30
64970309	5	1	4	4	5	5	4	4	5	5	4.20
64970310	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	4.60
64970311	4	2	5	5	5	5	5	3	5	5	4.40
64970312	3	3	2	3	3	3	1	3	4	3	2.80
64970501	3	2	3	2	2	2	5	1	2	2	2.40
64970502	3	3	3	2	2	2	5	3	2	2	2.70
64970503	2	2	2	3	2	2	5	1	2	2	2.30
64970504	5	1	5	5	5	5	3	5	5	5	4.40
64970505	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	4.60
64970506	5	1	4	5	5	5	5	4	5	5	4.40
64970507	4	2	4	4	4	4	3	3	3	3	3.30
64970508	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2.90
64970509	3	3	3	2	3	2	3	2	2	2	2.50
64970510	4	2	3	4	3	3	1	4	3	3	3.00
64970511	5	1	5	5	5	5	2	3	5	5	4.10
64970512	4	3	4	4	4	3	4	3	4	3	3.60
64970513	3	3	3	3	3	2	2	1	2	2	2.40
64970601	4	2	3	3	3	3	4	3	3	3	3.10
64970602	3	2	2	3	3	3	2	1	2	2	2.30
64970603	5	2	3	5	5	5	5	5	5	5	4.50
64970604	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2.60
64970605	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2.90
64970606	5	1	4	5	4	5	1	3	4	5	3.70
64970607	4	2	3	5	3	4	5	3	4	4	3.70
64970610	5	1	3	5	5	5	5	4	5	5	4.30
64970611	3	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1.90
64970612	5	1	4	3	5	5	2	3	5	4	3.70
64970613	3	2	3	3	3	5	3	3	4	4	3.30
64970614	4	2	3	4	5	5	3	3	5	5	3.90
64970701	1	5	2	2	2	2	2	3	2	2	2.30
64970702	1	5	3	1	2	2	1	3	2	2	2.20
64970703	1	5	3	1	2	2	1	2	2	2	2.10
64970704	1	5	2	1	2	2	1	4	2	2	2.20
64970705	2	5	2	1	2	2	2	5	2	2	2.50
64970706	1	5	2	1	2	2	1	4	2	2	2.20
64970707	1	5	2	1	3	2	1	4	2	2	2.30
64970708	1	5	3	2	2	2	1	2	2	2	2.20
64970709	2	5	2	3	2	2	2	5	2	2	2.70
64970710	3	3	2	3	2	2	4	3	2	2	2.60
64970801	3	2	3	3	2	2	5	1	2	2	2.50
64970802	3	3	3	3	4	5	5	3	4	5	3.80
64970803	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3.10
64971101	1	4	2	2	2	2	3	3	2	2	2.30
64971102	1	5	3	3	2	2	2	3	2	2	2.50
64971103	2	4	3	2	3	2	1	3	3	2	2.50
64971104	1	5	2	2	3	2	1	2	2	2	2.20
64971105	1	5	3	1	2	2	3	3	2	2	2.40
64971106	1	5	2	1	2	2	3	3	2	2	2.30
64971107	2	3	3	2	3	2	3	1	2	2	2.30
64971108	2	3	2	3	2	2	5	3	2	2	2.60
64971201	4	2	2	4	3	3	3	3	3	3	3.00
64971202	4	1	3	4	4	4	5	2	4	4	3.50
64971203	3	3	3	3	3	2	3	1	3	3	2.70
64971204	3	3	3	3	2	2	1	2	2	2	2.30
64971205	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2.90
64971206	4	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2.40
64971207	3	2	2	3	3	3	5	1	3	3	2.80
64971211	2	1	3	3	5	5	3	5	3	3	3.40
64971212	5	1	2	1	2	3	2	3	3	2	2.40
64971301	5	2	3	4	3	4	3	4	3	4	3.50
64971302	5	2	3	5	4	5	3	5	4	5	4.10
64971303	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2.80
64971304	3	3	2	3	2	3	1	5	3	3	2.80
64971401	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3.10
64971402	3	3	3	4	2	3	3	3	3	3	3.00
64971403	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.00
64971405	3	3	5	5	4	4	3	3	4	4	3.80
64971406	3	3	2	3	3	3	4	2	3	3	2.90
64971407	3	4	3	2	2	2	4	3	2	2	2.70
64971408	2	5	2	3	3	2	2	3	2	3	2.70
64971409	3	3	4	3	3	3	5	3	3	3	3.30
64971410	3	3	3	3	2	3	4	1	3	3	2.80

Rango	Calificación VIM
Menor a 2.50	1
Entre 2.50 y 3	2
Entre 3 y 3.5	3
Entre 3.5 y 4	4
Mayor a 4	5

Apéndice 2. Plano de zonificación de la ciudad de Luján

Plano de zonificación de la planta urbana de Luján, disponible en el anexo III del Código de Ordenamiento Urbano (COU) aprobado por decreto N°1946. Municipalidad de Luján. El COU completo está disponible en la página web del municipio: <http://www.lujan.gob.ar/?p=1761>

El COU es de aplicación en todo el Partido de Luján. La Autoridad de Aplicación es la Secretaría de Infraestructura, Obras y Servicios Públicos de la Municipalidad de Luján, específicamente la Dirección de Planeamiento.



Apéndice 3. Simulación de crecimiento urbano 2010-2020 con validación

A continuación se presentan los diferentes pasos metodológicos desarrollados para obtener un mapa de expansión urbana al año 2020 con el complemento MOLUSCE. Se realizó la misma secuencia de procedimientos que el trabajo de investigación para modelar el crecimiento urbano al 2030. El detalle de cada paso puede encontrarse en el capítulo 5, apartado 5.5.

1. Datos de entrada

Tiempo 1: Uso urbano 2000

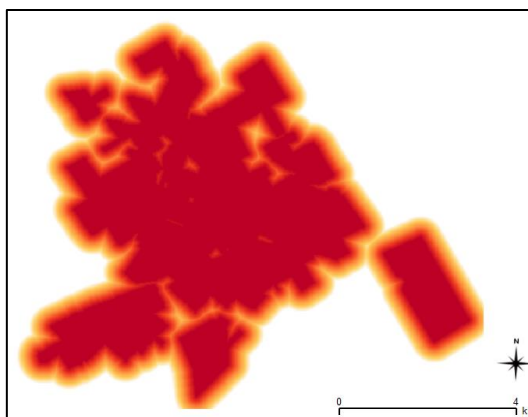


Tiempo 2: Uso urbano 2010

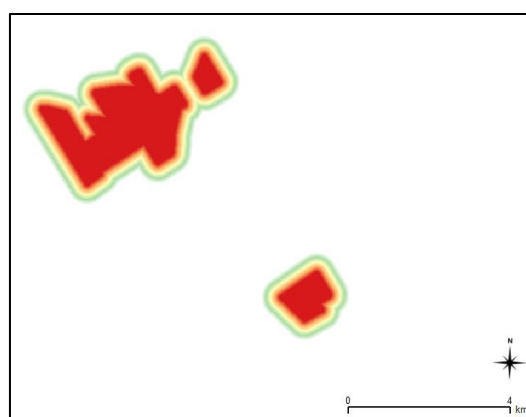


Factores

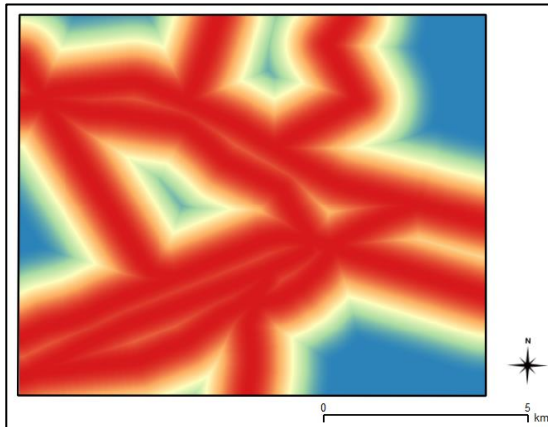
Distancia al área urbana 2010



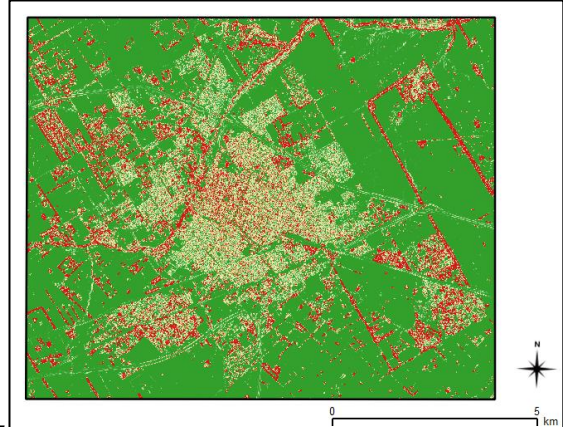
Distancia a las áreas complementarias



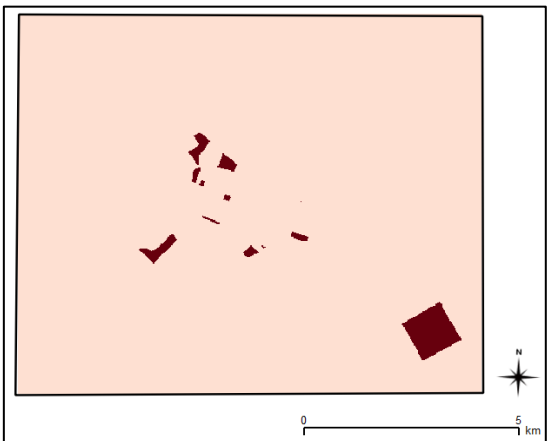
Distancias a vías de comunación



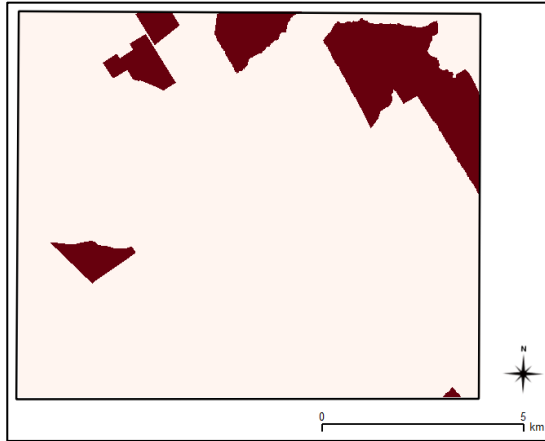
Pendiente del terreno



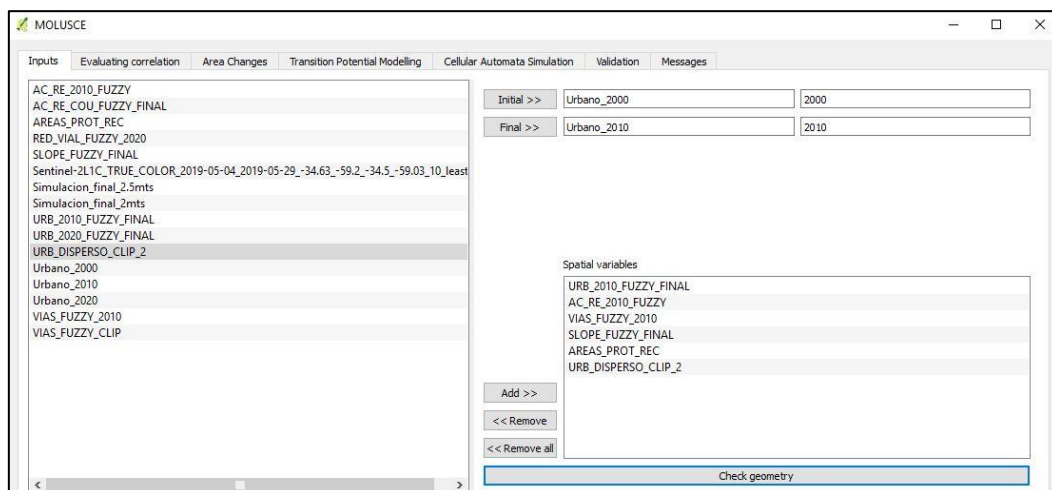
Áreas protegidas y de recreación



Uso del suelo urbano disperso

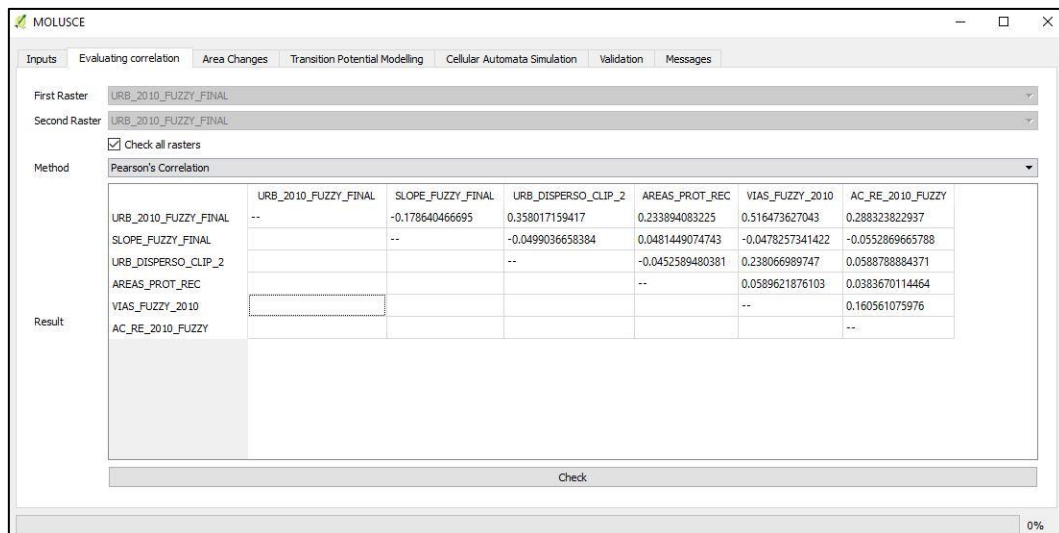


Definiciones iniciales en MOLUSCE



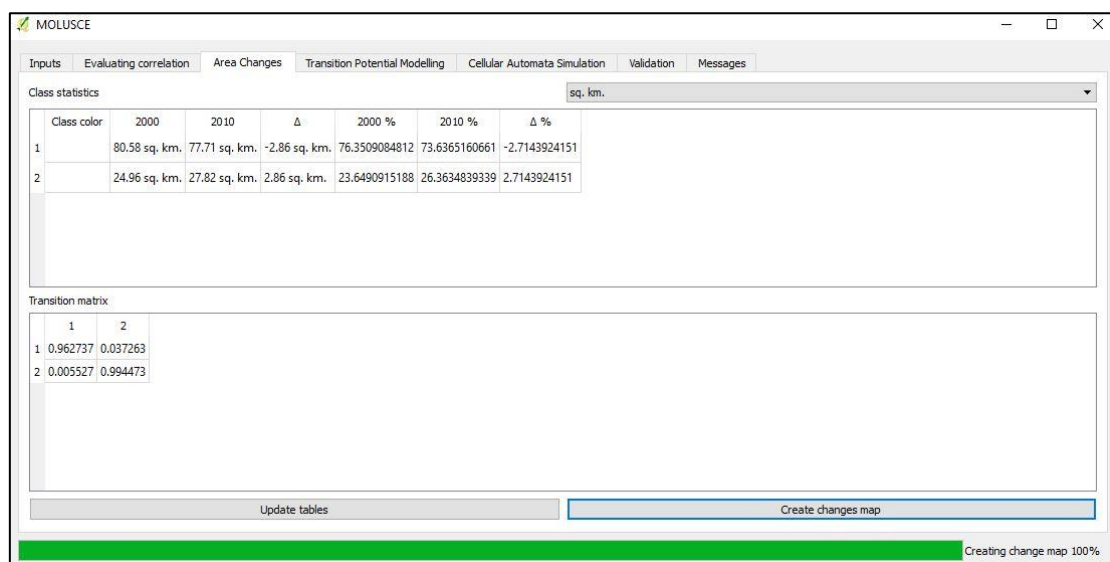
2. Evaluación de la correlación

Matriz de evaluación entre la correlación de variables

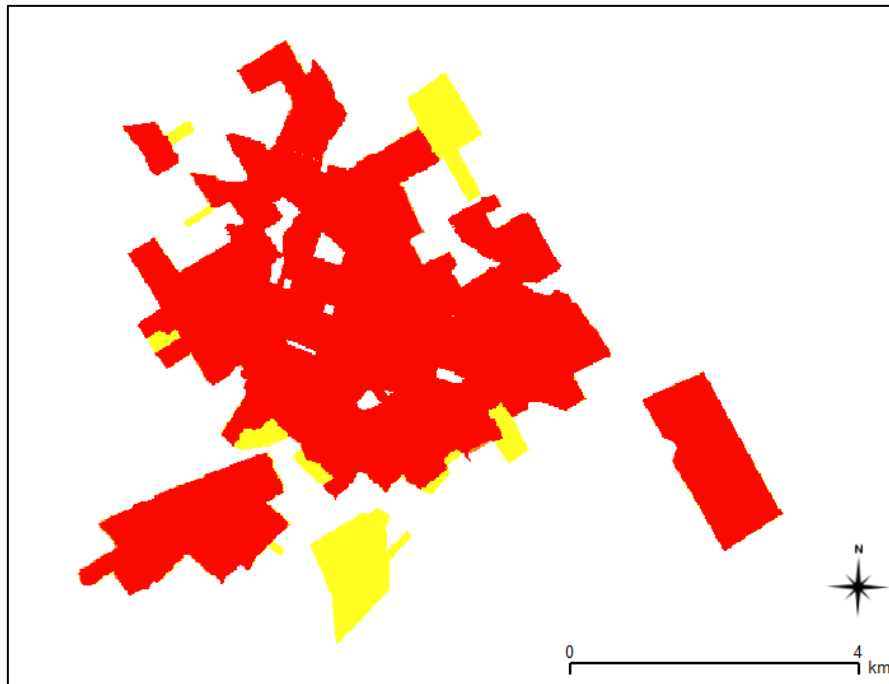


3. Cambios de área

Áreas de cambios de usos del suelo (urbano y no urbano)

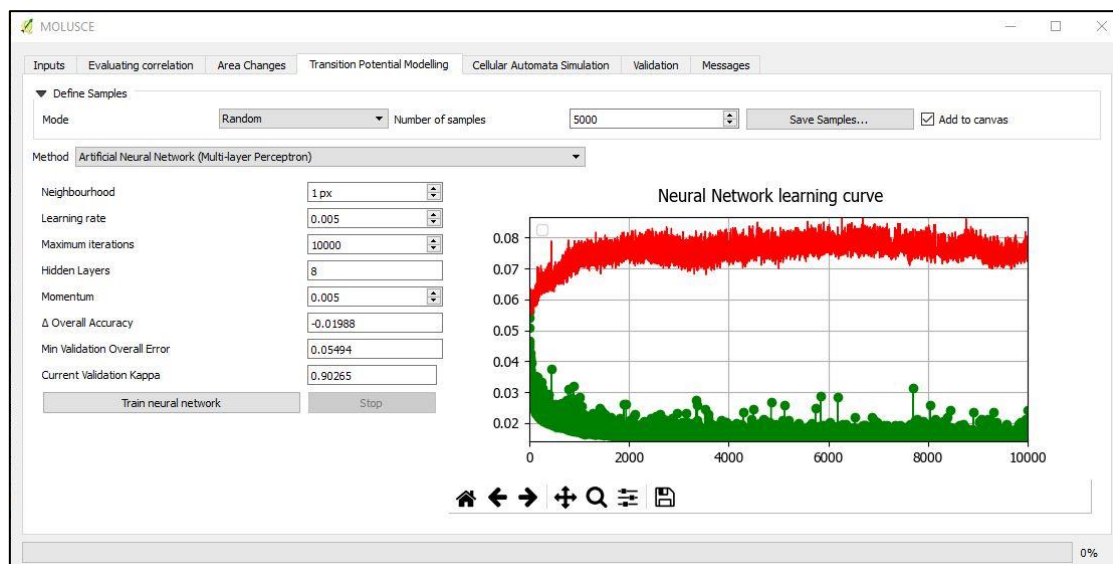


Mapa de cambios: 2000-2010



4. Modelo de transición

Resultado del entrenamiento de la red neuronal artificial



5. Simulación de uso del suelo

Simulación de expansión urbana al 2020

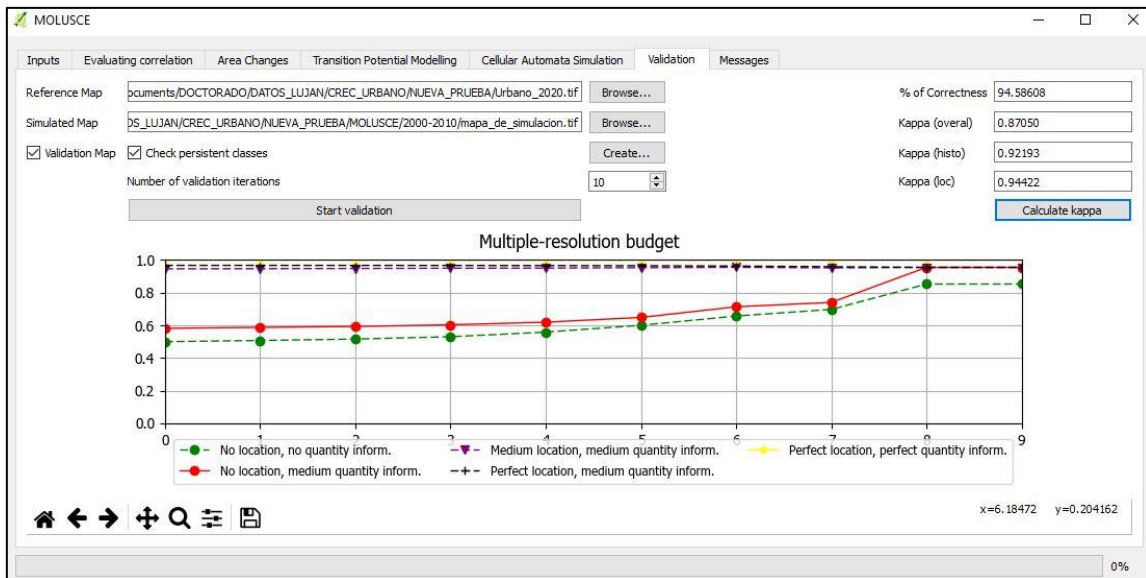


6. Validación de la simulación

Mapa real utilizado para la validación



Resultado de la validacion



Se obtuvo una correspondencia entre el mapa simulado y el mapa real de 94,59% y un índice Kappa de 0.87 lo que indica un muy buen resultado en la simulación.