

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DIGITAL PARA LA EVALUACIÓN SÍSMICA URBANA

Mirta Romero¹ - Aldo Zaragoza²

Palabras claves:

Resumen:

La gestión del riesgo es el conjunto de acciones dirigidas a enfrentar las amenazas naturales, disminuir la vulnerabilidad, establecer la mitigación, desarrollar una estrategia de prevención y facilitar la reconstrucción en caso de producirse un desastre. Se basa en la identificación de las amenazas, la vulnerabilidad y el conocimiento del riesgo que poseen las localidades, los asentamientos, los habitantes, tomando en consideración la capacidad de respuesta que tienen para actuar sobre los factores de riesgo.

El trabajo que aquí se presenta, expone los resultados de un proyecto de investigación del Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa) de la UNSJ, consistentes en la construcción de un modelo para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica a escala urbana, tanto de las construcciones como de las redes de Infraestructura y el diseño de una Metodología de Evaluación del daño físico directo, como etapa imprescindible para el desarrollo de planes para la mitigación del riesgo y la emergencia.

Se han aplicado dichos desarrollos a la evaluación del riesgo sísmico del Gran San Juan, habiéndose estimado la magnitud del daño físico de las construcciones y las pérdidas colaterales en términos de muertos y heridos, así como su distribución espacial, generando distintos escenarios que permiten evaluar las consecuencias de la ocurrencia de terremotos de intensidad diferente en el territorio analizado.

Se ha utilizado la tecnología de los sistemas de información geográfica, que al permitir manejar volúmenes considerables de información, generando su cruzamiento en condiciones controladas, permite la rápida evaluación de distintas situaciones (por ejemplo el considerar diferentes intensidades del movimiento y características de respuesta del suelo o bien, determinados los parámetros de un fenómeno, estimar las pérdidas posibles).

Sólo a partir de este conocimiento es factible proyectar estrategias de reducción del riesgo sísmico urbano y planes para la emergencia.

1. Arquitecta- Magister en Metodología de la Investigación Científica FACSO – UNSJ. Docente e investigadora de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - Universidad Nacional de San Juan, SAN JUAN, Argentina. Subdirectora Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa) - E mail: miromero@farqui.unsj.edu.ar

2. Ingeniero Civil FI – UNSJ. Master en Matemática aplicada de la Universidad de Moscú, Rusia. Docente de la FI e investigador del Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa), FAUD – UNSJ.

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DIGITAL PARA LA EVALUACIÓN SÍSMICA URBANA

Mirta Romero¹, Aldo Zaragoza²

I INTRODUCCIÓN

La gestión del riesgo es el conjunto de acciones dirigidas a enfrentar las amenazas naturales. disminuir la vulnerabilidad, establecer la mitigación, desarrollar una estrategia de prevención y facilitar la reconstrucción en caso de producirse un desastre. Se basa en la identificación de las amenazas, la vulnerabilidad y el conocimiento del riesgo que poseen las localidades, los asentamientos, los habitantes, tomando en consideración la capacidad de respuesta que tienen para actuar sobre los factores de riesgo.

La temática de los desastres ha evolucionado en el tiempo, en función a los niveles de experiencia y conocimiento alcanzados, estando fuertemente vinculada a algunos hitos del desarrollo histórico atravesado por la humanidad

Este proceso se desarrolló en el siglo pasado comenzando en la década de los años 40, con el consenso del término "*emergencia*", muy vinculado a las consecuencias de la segunda guerra mundial, cuando las acciones de recuperación fueron encaradas por los cuerpos de ejército.

En los años 70 se comienza a emplear el concepto de "*desastre*" como la consecuencia de eventos fundamentalmente naturales y peligrosos, difíciles de prevenir y controlar y donde las organizaciones de salud (Cruz Roja Internacional e instituciones ad hoc) centraron su accionar en las labores de recuperación. También en este periodo comienzan a utilizarse los términos preparación, mitigación y prevención.

En los años 80 toma auge el término "*amenaza*", y se alcanza una valoración científica del problema, dirigiéndose los pasos al conocimiento de los eventos causantes de desastres y la búsqueda de soluciones ingenieriles de protección

En los años 90 y vinculado con el Decenio Internacional para la reducción de Desastres Naturales (IDNDR), se desarrolló el enfoque de la "*vulnerabilidad*" en el ámbito de las ciencias sociales y desaparece la estrecha concepción del evento natural como causa exclusiva del riesgo de las comunidades y territorios. El avance en este campo ha dado origen al enfoque integrado, que aborda como objetivo principal "*la gestión del riesgo*" en todos sus momentos, con amplitud de actores y como parte integrante del propio desarrollo sostenible de las comunidades, localidades, regiones y países en general

En relación al riesgo sísmico, durante los últimos años del siglo pasado se implementaron numerosos programas alrededor del mundo para su reducción, entre ellos:

¹ Mirta Romero. Arquitecta. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. UNSJ. Magíster en Metodología de la Investigación científica FACSO – UNSJ. Candidata a Dra. en Arquitectura FAU - U. Mendoza
Docente e investigadora de la FAUD. Subdirectora Instituto Regional de Planeamiento y Habitat (IRPHa), FAUD – UNSJ
E mail: miromero@farqu.unsj.edu.ar. Tel. 0264 4252625

² Aldo Zaragoza. Ingeniero Civil FI – UNSJ. Master en Matemática aplicada de la Universidad de Moscú, Rusia
Docente de la Fac. de Ingeniería e investigador del Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa), FAUD – UNSJ.
E mail: azaragoza@unsj.edu.ar. Tel. 0264 4234442

- El proyecto "Understanding Seismic Risk around the world", bajo la dirección de GeoHazard International, consistente en la aplicación de un método de evaluación del Riesgo de Desastre Sísmico a nivel urbano, a través de la construcción de un índice relativo, denominado EDRI por sus siglas en Inglés (Earthquake Disaster Risk Index)
- El programa RADIUS (Risk Assessment tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic disaster) que a lo largo de la década desarrolló una serie de herramientas para la determinación del riesgo sísmico y finalmente aplicó en nueve ciudades del mundo, pertenecientes a países en vías de desarrollo con muy alto riesgo, programas de reducción del mismo, sobre la base de una metodología desarrollada por Geohazard Internacional, bajo la supervisión del Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) de Francia, y la OYO Co. de Japón.

Todos estos proyectos han contribuido a la comprensión de:

- La complejidad de los problemas a enfrentar, si realmente se quieren generar estrategias y planes eficaces para la reducción del riesgo
- La importancia del trabajo interdisciplinario y multisectorial y de la generación de conciencia en los distintos sectores de la sociedad
- La necesidad de adaptación de las metodologías y técnicas existentes para la determinación y control del riesgo (la mayoría de las cuales han sido implementadas en los países desarrollados) a las características y condiciones de las ciudades y asentamientos donde se requiere su aplicación, o la generación de otras más acordes.
- La consideración del riesgo en los planes de desarrollo.

II El concepto de riesgo.

Cuando se habla de riesgo de desastre se hace referencia a la magnitud de pérdidas en vidas humanas, económicas e interrupción de actividades sociales de una comunidad, o territorio dado por la conjunción de una amenaza, la vulnerabilidad de los elementos en exposición y la capacidad de sus miembros para evitar su conversión en un evento con magnitud de desastre

Es una variable compleja constituida por las siguientes subvariables¹

- **Amenaza.** Valor o intensidad que puede alcanzar un fenómeno natural o antrópico que se desencadena en un determinado tiempo y espacio creando una situación que modifica la original de forma traumática. Bajo este concepto se incluyen las amenazas naturales, las antrópicas y las socio – naturales (creadas por la interacción de la actividad humana y los ecosistemas naturales o modificados)

En el caso del sismo representa los fenómenos geofísicos que inician la serie de eventos que constituyen el desastre sísmico que afectará a la ciudad.

- **Exposición:** incluye la evaluación de la infraestructura física y de la población (número tamaño, distribución geográfica, etc.)
- **Vulnerabilidad:** define qué tan fácil y qué tan severamente las entidades expuestas de una ciudad, sean físicas o sociales pueden ser afectadas dado un nivel específico de amenaza.

Representa la condición de debilidad de lo expuesto a una amenaza (la población, la economía, el territorio, los inmuebles) y depende de su capacidad de respuesta para enfrentarla. Posee un carácter multidimensional enmarcado en un proceso de causa – efecto.

En la determinación de la vulnerabilidad de los asentamientos y la población intervienen factores económicos, físicos ambientales, ideológicos y culturales, que se definen a continuación:

- **Económicos** (incluye la falta de recursos o la mala utilización de los disponibles) Segmentos de población involucrada, capacidad de gastos, tenencia y propiedad de inmuebles, ocupación y empleo, actividad económica, prioridad de inversiones, entre otros.
 - **Ambientales o ecológicos** (relativo a las modificaciones del uso del medio natural). Práctica agrícola, uso y dependencia de agroquímicos, uso de producciones contaminantes, flujos de sustancias peligrosas, calidad del agua tratada, desechos sólidos y disposición, niveles de deforestación, entre otros.
 - **Físicos** (relativos a la ubicación espacial de los asentamientos, calidad constructiva, aprovechamiento del ambiente y sus recursos). Modalidad de ocupación, zonificación de asentamientos y dotación de servicios, uso de suelo y de las edificaciones, materiales y sistemas constructivos, antigüedad, nivel de mantenimiento, entre otros
 - **Ideológicos culturales** (abarca visión, conceptos y prejuicios, rol social, identidad, pertenencia). Mitos, leyendas, percepción del riesgo, conocimiento, conciencia, costumbres, memoria histórica, modelos patrones de adaptación al entorno
- **Contexto externo:** describe cómo los daños en una ciudad o asentamiento afectan a personas y actividades fuera del mismo.
- **Capacidad de respuesta ante una emergencia y capacidad de recuperación:** permite medir cuán efectiva y eficientemente puede responder y recobrase una ciudad a través de actividades organizadas y formales que se ejecutan antes o después de un terremoto.
- Son los recursos de los individuos, las familias y las comunidades o de una sociedad en su conjunto para enfrentar una amenaza o resistir al impacto de una amenaza.

III Caracterización sismológica de la provincia de San Juan (Amenaza)

La provincia de San Juan está situada en la región Centro-Oeste de la República Argentina, al Oeste de la cordillera de los Andes. Es una de las zonas de mayor actividad sísmica del país. Fue sacudida por cinco grandes terremotos en los últimos 108 años, los que causaron gran cantidad de muertos y heridos así como graves daños en construcciones, redes de infraestructura, caminos, vías férreas, etc.

La ciudad de San Juan se localiza aproximadamente a 350 Km al Este del límite entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana. A lo largo de este borde la Placa de Nazca, que se mueve hacia el Este, se subduce bajo la Placa Sudamericana, que se desplaza al Oeste. La profundidad de la subducción es de aproximadamente 100 Km debajo de la provincia de San Juan. La sismicidad en esta región está caracterizada por:

- Alta concentración de actividad sísmica en la trinchera Peruano-Chilena.

- Gran actividad sísmica en la zona de corteza (en los primeros 65 km), al Este de los Andes.
- Existencia de numerosas fallas activas, que han sido las responsables de los 5 terremotos ocurridos en esta zona en la última centuria.
- Zona de Benioff con gran actividad, ubicada profundamente bajo la Provincia de San Juan (100 km)
- Una zona de ausencia de actividad sísmica entre los 70 y 100 km de profundidad, sugiriendo una zona asísmica de deformación denominada zona dúctil.
- Ocurrencia de moderados a muy grandes terremotos en la zona de corteza (65 km).

Fallas activas:

Existen cientos de fallas en la provincia de San Juan, pero las fallas consideradas activas o sea con evidencia geológica de actividad en los últimos 100 000 años existen sólo ocho.

Ellas son: El Tigre, Precordillera Oriental, Punilla-La Bolsa, Pismanta, Niquizanga, Maradona-Deheza, Las Chacras-Valle Fértil y La Cantera

Estas han sido localizadas y profusamente estudiadas por los investigadores de nuestra Universidad y del INPRES.

Terremotos:

Las fallas activas antes mencionadas han sido las responsables de los 5 terremotos ocurridos en esta zona en la última centuria. Dichos eventos ocurridos en 1894, 1941, 1944, 1952, 1977, tuvieron una magnitud de 7.5-8.0 (estimada), 6.3, 7.8, 7.0 y 7.4 en la escala Richter y produjeron intensidades (en área epicentral) IMM IX, VII, IX, VIII y IX respectivamente. En la ciudad de San Juan, las intensidades respectivas fueron VIII, VI, IX, VII y VIII.

De ellos, el ocurrido 15 de Enero de 1944, tuvo una magnitud de 7.8 en la escala Richter y produjo intensidades IMM= IX en la ciudad de San Juan que fue la zona epicentral. Dejó un saldo de más de 10.000 muertos (5% de la población), la ciudad totalmente en ruinas y afectó todas las estructuras de la provincia.

En 1952 otro fuerte terremoto afectó nuevamente a San Juan. Éste fue de una magnitud e intensidad menor ($M_s=7.0$ y $IMM=VIII$) que el de 1944. Las estructuras que habían sido construidas en el período entre los citados movimientos se comportaron bien, tanto que no hubo que lamentar víctimas por el colapso de estructuras sismorresistentes.

El evento más reciente fue el terremoto de Caucete (San Juan) con una magnitud $M_s=7.4$ (Richter) e intensidades $IMM= XI$ en el área epicentral y $IMM= VIII$ en la ciudad de San Juan. Las estructuras construidas de acuerdo al código vigente tuvieron una performance adecuada con algunas excepciones en edificios escolares, que tuvieron daños desde leves hasta severos con el colapso de alguno de ellos. En este terremoto murieron más de 100 personas y 250 fueron heridas.

IV DEFINICIÓN DE UN MODELO PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA URBANA.

Un equipo de investigadores del IRPHA², han definido un modelo y metodologías para evaluar tanto la Vulnerabilidad de la edificación como de las infraestructuras urbanas. En la presente ponencia

sólo se desarrollará lo referente a la vulnerabilidad edilicia.

El modelo construido a tal efecto es un modelo complejo, debido a su cualidad de dinámico. Se conformó por los seis (6) departamentos del Gran San Juan. Cada uno de los ellos posee un subsistema que se define por inclusión de sus elementos (fracción, radio, manzana, parcela y edificio).

Tanto el radio como la fracción censal son unidades territoriales constituidas en función del número de población. Un conjunto de radios constituye una fracción. La manzana es la unidad territorial limitada por cuatro calles, típica del trazado en cuadrícula. Para las manzanas, parcelas y edificios se tomó la base existente del Sistema de Información Territorial de la Provincia de San Juan (SITCAT) pero las mismas debieron ser adaptadas y codificadas para poder incorporar información existente en las bases de datos del IRPHa. En el caso de la fracción y el radio no se contaban con bases digitales por lo que debieron ser dibujadas y creadas sus respectivas bases de datos asociadas a la información gráfica.

Tabla N° 1 – Número de edificios existentes en el Gran San Juan

Departamento	Fracciones	Radios	Manzanas	Parcelas	Edificios
Capital	7	115	1190	32027	77271
Chimbab	3	39	609	13416	26706
Pocito	4	25	426	6686	7642
Rawson	7	73	1048	22190	50067
Rivadavia	5	51	659	17278	33446
Santa Lucia	4	35	362	10842	23035

Los edificios en la ciudad de San Juan fueron clasificados en grupos de edificios factibles de sufrir similares características de daños o pérdidas ante un evento sísmico, dentro de un stock de tipologías edilicias obtenidas a partir de los datos existentes

El hecho de trabajar sobre una base de datos que se confeccionó con un objetivo de valuación inmobiliaria, hizo que las categorías de las variables que esta base contiene, no respondieran exactamente a la clasificación desde un punto de vista sismorresistente. No obstante, este trabajo constituyó una buena aproximación a la determinación de los daños a la edificación. Posteriormente, ante la posibilidad de realización de un censo para el Dpto. Zonda, se trabajó en forma combinada con el Gobierno de la Provincia de San Juan en la confección de un sistema que incluyera la consideración de variables específicas para la determinación del grado de vulnerabilidad edilicia.

Los siguientes parámetros fueron considerados esenciales en relación con la ocurrencia de daño edilicio y a las características de las pérdidas:

- **Tipo de mecanismo resistente:** características de planos resistentes verticales y horizontales
- Altura de la edificación
- Destino de la edificación
- Criterios de diseño sísmico.

Tipo de mecanismo resistente y Destino de la edificación: (Tabla N° 2)

Se interrelacionaron estas dos variables, con sus subvariables y categorías. Todas las combinaciones obtenidas a partir del cruce ambas, fueron reducidas a seis Tipos Edilicios.

Tabla N° 2 - Tipos Edilicios de la ciudad de San Juan.

Tipos edilicios	Destino	Mecanismo Resistente	
		Estructura -Techo	Muros
I	Vivienda; Hotel Sanatorio; Negocio; Banco, Oficina Pública Club Deportivo	Estructura de H° A° No Convencional Losas de H° A° Planas	Hormigón Armado o Ladrillo prensado.
II	Fábrica, bodega, taller, garaje, estación de servicio.	Estructura de H° A° sismorresistente. Cubierta C/Estructura metálica	Mampostería de ladrillos
III	Vivienda; Hotel Sanatorio; Negocio; Banco, Oficina Pública C. Deportivo	Estructura de H° A° sismorresistente. Losas de nervios pretensados Tirantería de madera o machimbre	Ladrillo común cerámico.
IV	Fábrica, bodega, taller, garaje, estación de servicio.	Estructura metálica sismorresistente, Cubierta de madera, cubierta de chapa	Cierre de chapa sobre estructura metálica
V	Vivienda o mixta (vivienda y comercio)	Sin estructura sismorresistente. Chapa fibrocemento o cinc	Adobe, Block o Ladrillo sin estructura sismorresistente, Madera.
VI	Vivienda o mixta (vivienda y comercio)	Sin estructura sismorresistente. Palos y cañas, tablas, cartón	Chapa, cañizo, otros.

Altura de la edificación:

Los rangos de altura se establecieron como:

- Bajo: 1 a 3 niveles;
- Medio: 4 a 7 niveles y
- Alto: ≥8 niveles

Criterios de diseño sísmico: Para la construcción de esta variable se tuvo en cuenta el año de la construcción ya que está asociada al Código Sismorresistente adoptado en el diseño estructural y construcción, reflejando de alguna manera el estado del arte en el momento de la ejecución de la obra. **Se establecieron cinco** intervalos de tiempo, correspondientes a los periodos de vigencia de las distintas normas de diseño sismorresistente: INPRES CIRSOC 103, NAA 80, CONCAR 70, Código de edificación de la Provincia de San Juan. En función de los criterios de diseño imperantes y del estado del arte en ese periodo, se asignaron factores de reducción de la capacidad sismorresistente.

Así se elaboró la Matriz correspondiente al Código (Tabla N° 3).

Tabla N° 3: Matriz correspondiente al Código.

Periodo	Edad	Código	Factor
1988 - actual	< 13 años	INPRES CIRSOC 103	0 %
1980 - 1988	14 a 21 años	NAA 80	0.80 %
1970 - 1980	22 a 31 años	CONCAR 70	0.70 %
1945 - 1970	32 a 57 años	Código de Edificación	0.50 %
antes de 1944	mas de 58 años	Sin código	0.33 %

Método de estimación del Daño Físico Directo de la construcción:

El método utilizado permite la determinación del daño físico en las construcciones, conociendo el Tipo Edificio, los Criterios de Diseño Sísmico utilizados, la Altura de la Edificación y los Espectros de Respuesta (en nuestro caso se usó el espectro de pseudoaceleración).

Para el análisis de daños se utilizaron las matrices relativas al Daño Estructural vs. IMM propuesta en ATC13: Earthquake Damage Evaluation Data for California³. Estas matrices fueron convenientemente calibradas y modificadas para la aplicación a nuestro medio, adoptándose los valores que pueden observarse en la Tabla N° 4.

El Índice de Daños (DR: Damage Ratio) se define como el cociente entre el costo de reparación y el costo de reemplazo. Las curvas de daños vs IMM propuestas por varios autores fueron consultadas, adaptadas y utilizadas en este análisis⁴.

Los siguientes **estados de daños** fueron adoptados para la estimación de daños en la ciudad. Los valores corresponden a los valores medios de la distribución normal.

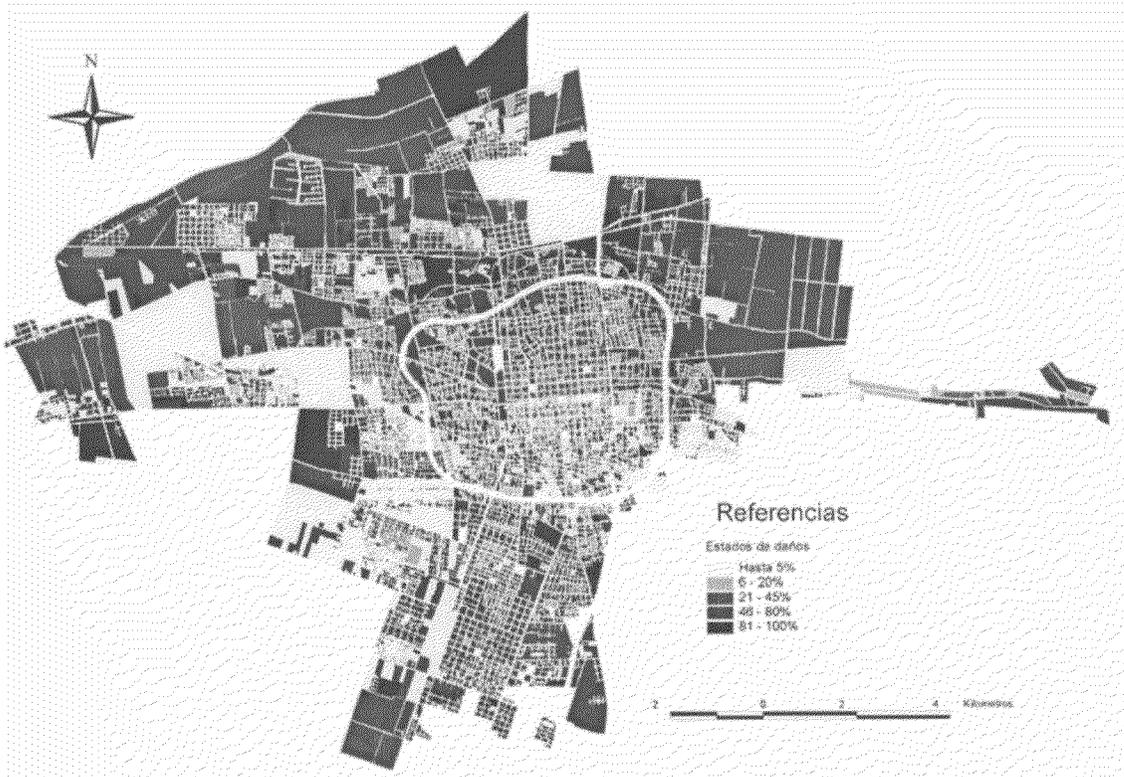
Tabla N° 4 – Índice de Daños en la edificación

ESTADO DE DAÑOS	DR: Índice de Daños (%)
1- Sin daño o con pequeños daños localizados en componentes no estructurales	Hasta el 5 %
2- Moderado. Daño en componentes no estructurales. Pequeños daños en componentes estructurales.	6% al 20 %
3- Grande. Daños sustanciales en componentes estructurales	21% al 45 %
4- Extensivo. Daños importantes en componentes estructurales	46 % al 80 %
6- Completo. Gran daño en componentes estructurales. Colapso	81% al 100 %

Las matrices calibradas fueron combinadas con el escenario propuesto (IMM IX en la ciudad de San Juan), lo que equivale a un epicentro en las cercanías. Esta hipótesis es perfectamente posible, debido a la historia sísmica que San Juan posee. Como resultado de la aplicación de lo anteriormente expuesto se obtuvo una Matriz de Daños en la Edificación, que permitió no sólo la determinación del daño esperado para cada uno de los edificios del Gran San Juan, sino la construcción de un mapa continuo, que posibilitara la identificación de sectores urbanos con rango de daños similares.

Si bien la unidad de análisis mínima es el edificio, cuando se quiere efectuar un análisis a nivel urbano, esta unidad resulta excesivamente pequeña. Dado que una parcela puede contener más de una edificación, a efectos de poder efectuar este análisis, se trabajó asignando a la parcela (unidad de análisis espacial continua) el valor del estado de daños correspondiente al polígono o edificación de la parcela de mayor superficie cubierta. Plano N° 1.

Plano N° 1. Estado de Daños en el Gran San Juan



V DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS COLATERALES

La cantidad de muertos y heridos resultantes de los terremotos se deben principalmente a fallas en las construcciones que efectúan los hombres.

La determinación del estado de daños de la edificación ante un terremoto de IMM IX, permitió estimar, además de los costos económicos que esto ocasionaría, las pérdidas colaterales provocadas por el evento. Entre ellas, las principales se refieren al daño que sufre la población del lugar, en términos de heridos y muertos.

Luego de un análisis profundo de los antecedentes existentes y de acuerdo a los rangos del estado de daños adoptado en el trabajo, se establecen los siguientes parámetros.

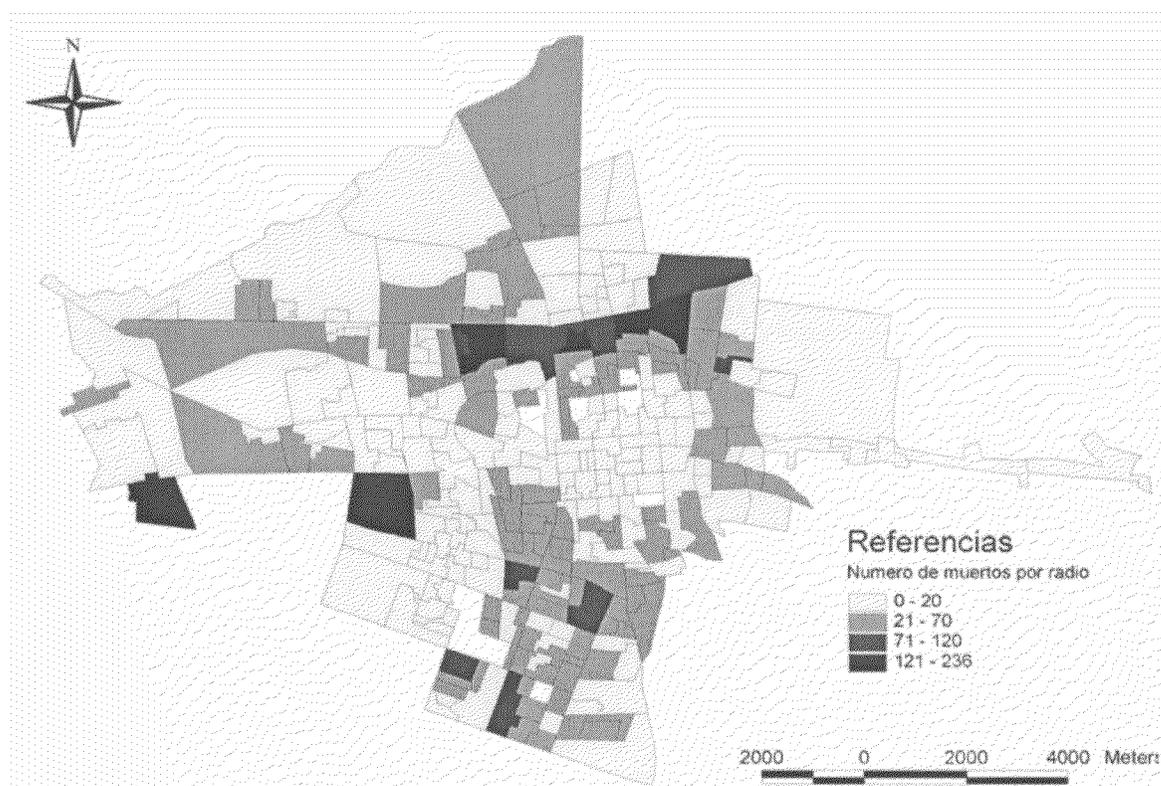
Tabla N° 5 - Número de muertos y de heridos leves y graves en función del Estado de Daños.

Estado de Daños	DR: Factor de Daños (%)	Rangos del Estado de Daños	HERIDOS		Muertos
			Leves	Graves (*)	
1	0 %	0 - 5%	3/10 000	1/25.000	1/100.000
2	0.5 %	6 - 20 %	3/1.000	1/2.500	1/10.000
3	5 %	21 - 45 %	3/100	1/250	1/1.000
4	20 %	46 - 80%	3/10	1/25	1/100
5	45 %	81 - 100%	4/10	1/2.5	2/10

Esto permitió estimar las siguientes pérdidas colaterales para un sismo IMM IX.

Departamento	N° Habitantes	Área	N° Heridos Leves	N° Heridos Graves	N° Muertos
Capital	120.828	26.678.252,17	11 245	6 904	3267
Chimbas	48.123	32.307.417,82	4.954	1.465	598
Santa Lucía	38.126	54.337.323,10	4.830	1.272	499
Rawson	89.465	289.007.640,11	9.099	4.750	2208
Rivadavia	54.802	27.047.769,90	4.787	2.082	937
TOTALES	351.344	429.378.403,10	34.915	16.473	7.509

Plano N° 2. Estimación del N de muertos en el Gran San Juan ante un sismo IMM IX



VI RESULTADOS

La determinación del daño físico directo de la construcción permitió determinar, en función de los distintos escenarios, la magnitud del daño físico y la distribución (especialización) del daño

Resulta oportuno destacar que el estado de daños a la edificación en el Gran San Juan, estimado de acuerdo al método descrito anteriormente, es muy superior al observado durante el evento de 1977. Ello se debe a que en esa oportunidad la IMM en la ciudad fue VII a VIII, y en esta ocasión se ha trabajado bajo la hipótesis de un grado más de agitación sísmica (IMM IX) Para este caso hipotético se observa gran daño estructural concentrado en las edificaciones de adobe (existentes en la periferia del ejido capitalino) y daño pequeño a moderado en la edificación de mampostería y aporticada realizada antes de 1970. Asimismo se observa que las construcciones realizadas en los últimos 20 años se comportan de manera adecuada con índice de daños entre 4 a 15 %.

VII CONCLUSIONES

En la realización de este tipo de estudios, los Sistemas de Información Geográficos (S.I.G.), al permitir relacionar datos gráficos (planos o mapas urbanos) con otros datos o atributos alfanuméricos (demográficos, geológicos, características de la edificación, etc.) que pueden ser permanentemente actualizados, se transforman en una herramienta imprescindible. Nos permiten suponer un escenario y obtener de manera inmediata sus consecuencias. Se pueden crear escenarios antes y después del evento, conociendo los valores, o intervalos de valores, entre los cuales se mueven las variables.

Al permitir manejar volúmenes considerables de información, generando su cruzamiento en condiciones controladas, es posible la rápida evaluación de distintas situaciones (por ejemplo al considerar diferentes intensidades del movimiento y características de respuesta del suelo). Esta rapidez y flexibilidad aparecen como la mayor ventaja de la utilización del sistema

Generado el escenario probable, es factible visualizar la distribución geográfica del daño físico de la edificación, así como el de las redes de infraestructura, analizar sus interrelaciones y determinar las pérdidas directas e indirectas.

Sólo a partir de este conocimiento es factible proyectar estrategias de reducción del riesgo sísmico urbano y planes para la emergencia.

VIII BIBLIOGRAFÍA

- BENJAMIN J.R. Estimation of earthquake losses to buildings. USGS. Algermissen
- BLUME J. A. Damage Prediction of an earthquake in Southern California.
- FAH D BACHMAN H et all. 2000. Earthquake scenarios for Switzerland. 12th World Conference on Earthquake Engineering Proceeding. Pág. 205.
- HAFEN D. 1971 Correlation between Ground Motion and Building Damage San Fernando earthquake.
- SCHOLL R.E. Low-Rise Building Damage from low amplitude Ground Motion, Bulletin of the Seismological Society of America.
- SCHOLL R.E. Damaging Response of Low-Rise Building, Proceedins of the VI WCEE (India).
- WHITMAN Robert V. 1973, Damage Probability Matrix for Prototype Buildings. Structures Publication Nº 380, Dept. Of Civil Engineering, M.I.T. Boston, Massashuetts.
- WONG Earl Hom, 1975, Correlation Between Earthquake Damage and Strong Ground Motion, Michigan.

IX REFERENCIAS

-
- ¹ La siguiente categorización corresponde a la metodología de evaluación del riesgo sísmico urbano aplicada en el Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPha) de la UNSJ, para la determinación del Índice de riesgo relativo de la ciudad de San Juan, en el marco del proyecto "Understanding Seismic Risk around the world" de la Secretaria de Naciones Unidas. Dicho índice fue desarrollado por. DAVIDSON, Rachel. Earth Disaster Risk Index (E D R I) Documentos de la Stanford University y Geohazard International. E.E. U U 1999
- ² Romero Mirta, Zaragoza Aldo y Martín Gustavo.
- ³ Applied Technology Council (ATC). 1985- ATC-13 FEMA, Earthquake Damage Evaluation Data for California Redwood city, California: Applied Technology Council.
- ⁴ Anagnostopoulos S., Whitman R. 1977. On Human Loss Prediction in Buildings during Earthquakes. Proceedings of the Sixth World Conference on Earthquake Engineering, New Delhi, India, Whitman R., Cornell C., Taleb-Agha, G. 1975. Analysis of Earthquake Risk for Lifeline Systems Proceedings of the U.S. National Earthquake Engineering Conference, Ann Arbor, Michigan