

# Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas.

**Methodological proposal for the integral evaluation of seismic vulnerability in peri-urban areas.**

**Alonso Frank, A. <sup>1</sup>, Galdeano Ruiz, M. <sup>1</sup>, Sales, R. <sup>1-2</sup>, Soria, M. V. <sup>1</sup>, Caamaño, G. <sup>1</sup> y Scognamillo, A. <sup>1</sup>**

[afrank@faud.unsj.edu.ar](mailto:afrank@faud.unsj.edu.ar); [dimarianagaldeanodi@gmail.com](mailto:dimarianagaldeanodi@gmail.com); [rsales@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:rsales@mendoza-conicet.gob.ar); [valentinasoria@yahoo.com](mailto:valentinasoria@yahoo.com); [caagabriela@gmail.com](mailto:caagabriela@gmail.com); [argame@gmail.com](mailto:argame@gmail.com)

<sup>1</sup> Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat - IRPHa. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - FAUD. Universidad Nacional de San Juan – UNSJ

<sup>2</sup> Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas, Universidad Nacional de Cuyo, Gobierno de Mendoza, CONICET.

Enviado 25/11/2019 – Aceptado 16/03/2020

Alonso Frank, A., Galdeano Ruiz, M., Sales, R., Soria, M. V., Caamaño, G. y Scognamillo, A. (2020). "Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas". En *Proyección: estudios geográficos y de ordenamiento territorial*. Vol. XIV, (27). ISSN 1852 -0006, (pp. 6 - 25). Instituto CIFOT, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

**Resumen:**

En la búsqueda de una visión holística en la evaluación de la vulnerabilidad, particularmente relacionada con la amenaza sísmica a escala urbana, existen renovadas preocupaciones para que la misma incluya variables físicas y sociales, y sea incorporada a políticas públicas de planificación territorial. En este contexto, el artículo propone abordar una metodología para la evaluación multicriterio de la vulnerabilidad urbana en zonas sísmicas. El mismo se sustenta en los aportes del análisis jerárquico (AHP). A su vez, se utilizan equivalentes numéricos de ponderación que posibilitan una valoración subjetiva de las variables de análisis que incluyen componentes sociales, físicos y funcionales en situaciones existentes. Se concluye que la construcción del índice representa un aporte en materia de instrumento metodológico para la evaluación holística de la vulnerabilidad físico-social de poblaciones bajo riesgo sísmico, siendo insumo para la planificación urbana local y regional de aquellos territorios que podrían verse afectados.

**Palabras claves:** Riesgo sísmico, Evaluación multicriterio, Toma de decisiones, Proceso Analítico Jerárquico.

**Abstract:**

In the search for a holistic vision in the evaluation of vulnerability, particularly related to seismic hazards on an urban scale, there are renewed concerns that it should include physical and social variables, and be incorporated into public policies for territorial planning. In this context, the article proposes to address a methodology for multi-criteria assessment of urban vulnerability in seismic areas. It is based on the contributions of the hierarchical analysis (AHP). At the same time, numerical equivalents of weighting are used that allow a subjective evaluation of the variables of analysis that include social, physical and functional components in existing situations. It is concluded that the construction of the index represents a contribution in terms of a methodological instrument for the holistic evaluation of the physical-social vulnerability of populations under seismic risk, being an input for the local and regional urban planning of those territories that could be affected.

**Key words:** Seismic risk, Multicriteria assessment, Decision making, Analytical Hierarchy Process

## Introducción

Actualmente, a escala global, la preocupación por la gestión del riesgo en el abordaje del territorio comienza a ser entendido como un constructo social concebido desde una perspectiva que nace de la relación sociedad - medio ambiente (Campos-Vargas, Toscana-Aparicio y Campos-Alanís, 2015). Partiendo de una visión holística y de un posicionamiento sistémico-relacional (Gómez Carrizo, 2016), la gestión del riesgo incluye dimensiones sociales, políticas, económicas y ambientales, que trascienden la esfera local producto de la incidencia de la globalización, el sistema económico mundial, la desigualdad social y los tratados socioeconómicos (Calderón y Klaus, 2016).

En América Latina, en la década de 1990, bajo el marco de la lógica neoliberal se presenta con mayor intensidad una reestructuración económica que introdujo profundos cambios en la política urbana y en los modos de diseñar y gestionar las ciudades (Janoschka, 2016). Producto de ello, la acelerada expansión urbana provocó acentuados cambios de uso del suelo generando segregación y fragmentación socio-espacial (Guevara, 2015). Estas consecuencias impactan con mayor fuerza en territorios que presentan un alto grado de vulnerabilidad frente a amenazas. Sumado a ello, investigaciones previas resaltan el poco protagonismo que cobran, en la planificación territorial, las amenazas y sus efectos territoriales en los procesos de asignación del uso del suelo (Olcina Cantos y Morote Seguido, 2018). Con este marco, las relaciones de causalidad entre los modelos de urbanización y los procesos de generación de riesgos han sido analizados desde un enfoque particularmente demográfico-economicista o político-culturalista, sin poder alcanzar aún una visión integral (Lungo, 2001).

En este sentido y al interior de la planificación territorial, cabe destacar la importancia que presenta la gestión del riesgo en zonas urbanas, entendido como un proceso continuo y multidimensional con acciones orientadas a mitigar sus efectos (Cardona, 2012). Esto implica considerar no sólo los daños físicos en edificios e infraestructuras ante la ocurrencia de un evento, sino además contemplar las pérdidas humanas y los aspectos económicos, sociales, organizativos e institucionales del desarrollo de la comunidad (Romero, 2014).

En este marco, urge la necesidad de construir una herramienta metodológica integral de evaluación de las vulnerabilidades, siendo éste el objetivo del presente trabajo en lo referente a la vulnerabilidad sísmica en particular. La misma es concebida como la susceptibilidad o predisposición intrínseca de un elemento o sistema a ser afectado gravemente dado un nivel específico de amenaza sísmica, en conjunto con las fragilidades

sociales y la falta de resiliencia de la comunidad propensa, que está asociada con la capacidad de respuesta y recuperación (Romero y Scognamillo, 2015a; Lavell, 2004; Cardona, 2001). En ello, es fundamental el desarrollo de instrumentos de evaluación adecuados que posibiliten integrar la elevada cantidad de variables, indicadores y componentes críticos que inciden en el concepto de vulnerabilidad. El diseño y aplicación de dichos instrumentos, si son considerados en las políticas públicas de planificación territorial, permitirían no sólo evaluar posibles amenazas, sino además proponer acciones orientadas a la mitigación de las vulnerabilidades y, por tanto, minimizar los daños potenciales ante la ocurrencia de un evento determinado.

En consecuencia, frente a los desafíos que presenta la planificación territorial, particularmente ante el avance acelerado de la mancha urbana, la construcción de modelos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica alcanzaría mejores resultados si se logran integrar variables y dimensiones que permitan evidenciar la estructura urbana, como así también las dinámicas de interacciones en un territorio determinado. En esta línea, en adelante se presenta el índice integral desarrollado, que permite evaluar la vulnerabilidad sísmica urbana en áreas de expansión y crecimiento acelerado, a modo de instrumento para la gestión del riesgo. El mismo se basa en el análisis multicriterio puesto que, éste último, permite resolver problemáticas complejas (Moreno Jiménez, 1998), combinando la objetividad y racionalidad procedimental con la subjetividad de la toma de decisiones del equipo especializado, el cual está formado por actores que atienden a las dimensiones políticas, administrativas, sociales e infraestructurales de la planificación territorial.

De las múltiples técnicas multicriterio existentes, se selecciona el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) desarrollado por Tomas L. Saaty (1980) el cual se sustenta en el uso de comparaciones pareadas en donde, para incorporar las preferencias, se reemplazan las percepciones humanas por valores numéricos con sentido, evaluados en una escala de razón (prioridades). El AHP posee la ventaja de combinar variables cualitativas y cuantitativas, como así la posibilidad de comparar criterios por su importancia relativa, aun sin disponer de datos numéricos. Se destaca que el mismo es empleado a nivel internacional para el análisis del riesgo, entre otros (Cardona, 2001), para ser incorporado en el diseño y aplicación de políticas públicas que apunten a una planificación territorial integral (Peralta Castillo y Ranfla González, 2016). Como toda herramienta metodológica, la propuesta presenta limitaciones en tanto al abordar un sistema complejo y dinámico, las variables a considerar para su elaboración deben estar

Alonso Frank, A., Galdeano Ruiz, M., Sales, R., Soria, M. V., Caamaño, G. y Scognamillo, A | Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas

en continua revisión y reflexión. Sin embargo, numerosos autores afirman que la decisión multicriterio resulta una herramienta útil para identificar elementos que componen respuestas concretas a interrogantes y desafíos que se presentan en la toma de decisiones (Manera Bassa y Blanco, 2004). En este sentido, al cuantificar componentes del sistema complejo, resulta posible ponderar el riesgo y, consecuentemente, identificar las variables que mayor o menor peso cobran en la problemática a abordar.

### **Hacia la construcción del instrumento metodológico.**

*Primer paso: Selección del método en respuesta al enfoque de la problemática.*

En el contexto de la planificación territorial y los escenarios de riesgo socio-ambientales, la construcción de modelos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana presenta en la actualidad un importante desafío, motivo por el cual el abordaje del territorio debe realizarse desde una visión holística y un enfoque sistémico-relacional (Gómez-Carrizo, 2016, Romero y Scognamillo, 2015b). Es por ello que la selección de instrumentos específicos para la toma de decisiones resulta necesaria tanto para el diseño de planes de prevención y mitigación del riesgo en función de la vulnerabilidad que se presenta, como para alcanzar un desarrollo territorial más equitativo, inclusivo y sustentable. Los mismos permiten analizar las características relacionadas con la complejidad del riesgo a través de una perspectiva territorial amplia que conduce a incorporar nuevas estrategias para su gestión (Birkmann, *et al.*, 2010; Daudé, E., *et al.* 2007). Bajo dicha perspectiva, numerosas investigaciones elaboran propuestas para mitigar los riesgos, desagregando la vulnerabilidad en diversas variables (demográficas, socioeconómicas, políticas, etc.), lo que posibilita dimensionar el impacto de las desigualdades sociales y económicas entre las que podemos destacar la cercanía y/o acceso a servicios e infraestructuras básicas, la accesibilidad y conectividad de la red vial, entre otros (Campos-Vargas, 2015). En este marco, es necesaria la construcción de instrumentos metodológicos que no sólo identifiquen, sino que relacionen las variables que componen cada uno de los criterios de análisis, para estimar la incidencia de unos sobre otros.

En procesos de planificación territorial, como se destaca en Carreño (2006) la complejidad y la interdependencia de las variables y criterios, que deben ser considerados para la evaluación del riesgo sísmico de un área urbana determinada, demanda que la ponderación de criterios se realice en base a la mejor combinación de alternativas. El reconocimiento de esta complejidad es posible a través de la toma de decisiones multicriterio, entendida como el conjunto de métodos, modelos, técnicas y herramientas dirigidas a perfeccionar la calidad

integral de los procesos de decisión, mejorando su efectividad, eficacia y eficiencia (Moreno-Jiménez, 2002). Se destaca que estos procesos, representan una importante oportunidad para la elaboración de escenarios de riesgo que puedan anticipar, prevenir y mitigar dinámicas insostenibles de las actuales formas de crecimiento de áreas urbanas (Ruiz & García, 2007). En este sentido, la aplicación de estas técnicas de evaluación debe seguir un proceso en el que la decisión, en función de la elección de variables y su valoración, se va construyendo a través de criterios (Galacho & Ocaña, 2006). Por ello, se emplean diversas técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) que son factibles de ser utilizadas como modelo de evaluación y combinación de variables basadas en el análisis, discusión y jerarquización de alternativas. Dentro de las distintas técnicas (Celemín, 2014), para este trabajo se selecciona el AHP puesto que permitió trasladar la realidad percibida por el investigador a una escala de razón en la que se reflejan las prioridades relativas de los elementos considerados (Moreno-Jiménez, et al. 1998). El mismo es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios y utiliza comparaciones entre pares de elementos, construyendo matrices a partir de éstas, estableciendo prioridades entre los elementos de cada nivel de manera biunívoca. El vector principal, en la construcción de esta matriz es el que define los pesos que reflejan la importancia relativa de los criterios (Márquez Rosales, 1999). De esta manera, el AHP asegura un enfoque sistémico a partir de las interdependencias existentes entre los conjuntos de factores, criterios y alternativas consideradas y analiza las decisiones a partir de la descomposición jerárquica de los problemas en sub-problemas homogéneos a través de una escala de medida en nueve intervalos (Osorio y Orejuela, 2008).

*Segundo paso: análisis de la vulnerabilidad sísmica urbana como constructo sistémico*

La construcción del instrumento metodológico se realiza acorde a las siguientes etapas:

*Etapas 1: Determinación de criterios y atributos relevantes en el proceso de evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana.*

En primera instancia se definen los **criterios** para la evaluación holística de la vulnerabilidad físico-social de poblaciones bajo riesgo sísmico: redes de infraestructura, espacio público, usos del suelo y nivel socio-habitacional (ver Figura 1). Según investigaciones previas, los mismos representan los principales ejes implicados en la toma de decisiones sobre la reducción de la vulnerabilidad sísmica urbana (Bussy y Dall' Armellina, 2010; Instituto Nacional de Prevención Sísmica, 2017).

Para cada **criterio se han definido atributos** a los efectos de realizar la evaluación:

a) **Criterio Usos del suelo:** Se refieren a la ocupación de una superficie determinada en función de su potencial desarrollo. Puesto que la vulnerabilidad sísmica varía acorde a las características intrínsecas del territorio, los atributos analizados son: aptitud, restricción y cambio de uso. Además, el uso del suelo se relaciona directamente con el destino de la parcela y las actividades que en ella se desarrollan, que a su vez se encuentran categorizadas en la norma INPRES-CIRSOC 103 "Reglamento Argentino Para Construcciones Sismorresistentes" (2005) según sean las construcciones vitales o no vitales y su correspondiente coeficiente de riesgo sísmico.

b) **Criterio Redes de infraestructura:** Frente a una situación de riesgo sísmico, la vulnerabilidad de la estructura urbana se encuentra directamente afectada por la obstrucción o ausencia de las redes de infraestructura, consideradas como vías de acceso para el aprovisionamiento de los servicios esenciales para el desarrollo de las actividades humanas. Los atributos analizados son: red vial, red de canales y red eléctrica y de comunicación.

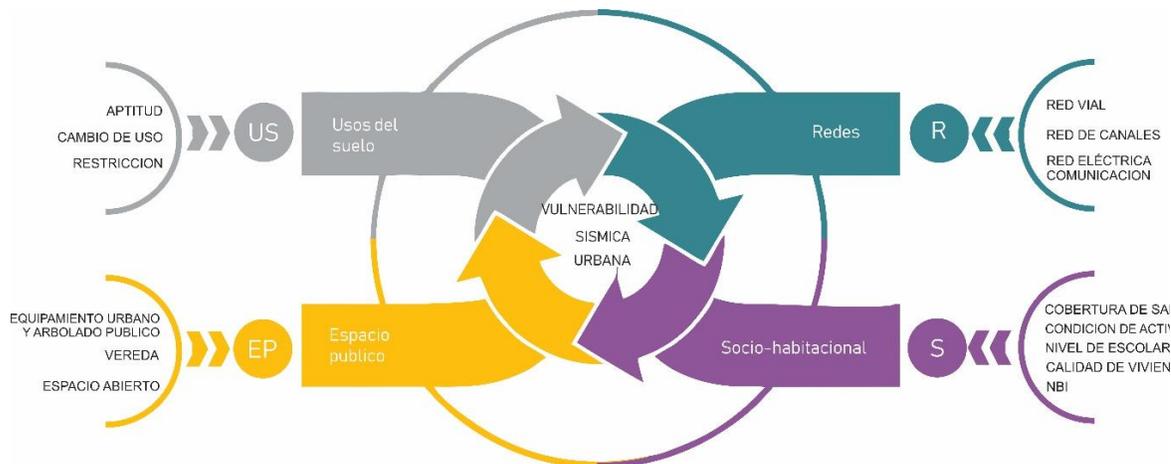
c) **Criterio Espacio Público:** Los sistemas de áreas verdes y espacios exteriores (equipamiento urbano que incluye entidades gubernamentales e institucionales, parques y plazas) en gran medida constituyen las áreas encargadas de proveer seguridad y contingencia. Un ordenamiento de este sistema aporta sustancialmente para minimizar los riesgos, en función de crear posibles rutas de evacuación seguras y sitios menos vulnerables. Los atributos son: vereda, equipamiento urbano y arbolado público y espacio abierto.

d) **Criterio Socio-habitacional:** La vulnerabilidad sísmica tiene una fuerte componente social puesto que se considera que las personas tienen distintos activos y recursos que movilizan según determinadas estrategias para responder a los contextos de cambio y las oportunidades del entorno (Busso, 2001). En esencia, la vulnerabilidad socio-habitacional comprende aquellas situaciones en donde grupos, hogares o individuos, están expuestos a quedar afectados por cambios en sus condiciones de vida, por lo cual se hallan en una situación de mayor inseguridad en comparación a otros grupos, hogares o individuos. Esa condición de vulnerabilidad de determinados grupos o sectores sociales limita su capacidad de prevenir y atender emergencias, así como su rehabilitación y recuperación de los efectos causados por dichos eventos. En términos de Castel, este tipo de vulnerabilidad es el resultado de una creciente yuxtaposición entre la precariedad económica y la inestabilidad

Alonso Frank, A., Galdeano Ruiz, M., Sales, R., Soria, M. V., Caamaño, G. y Scognamillo, A | Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas

social. (Castel, 1991 y 1997). Los atributos considerados para la evaluación de la vulnerabilidad socio-habitacional son: Cobertura de salud, condición de actividad, nivel de escolaridad, calidad de la vivienda y necesidades básicas insatisfechas (NBI).

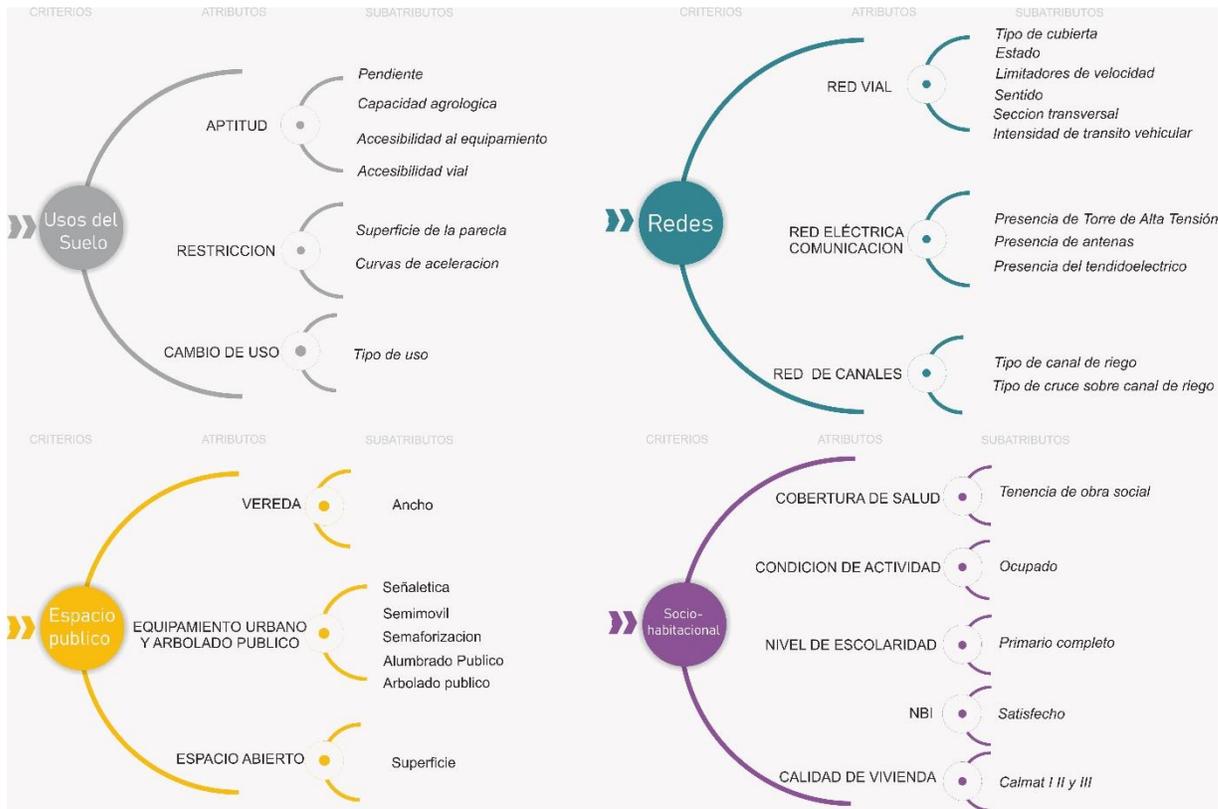
Fig. Nº 1. Criterios y atributos para el análisis de la vulnerabilidad sísmica.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Definidos los criterios y atributos de análisis, se incorporan los sub-atributos para cada atributo, los cuales serán relevados en el terreno y se enumeran en la Figura 2.

Fig. Nº2. Criterios, atributos y sub-atributos de la vulnerabilidad sísmica urbana.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

**Etapa 2: Valoración de las matrices de comparaciones pareadas de los sub-atributos.**

En esta instancia se determina la relevancia en términos relativos que posee cada sub-atributo sobre el resto de los que fueron definidos en la Fig. Nº 2. De acuerdo con el AHP, la utilización de una escala fundamental para establecer los valores (juicios) correspondientes a las comparaciones, es la que permite la valoración numérica y la construcción de matrices cuadradas  $A=(a_{ij})$  que reflejan la dominación relativa de un elemento frente a otro respecto a un sub-atributo (Moreno-Jiménez, 2002). De esta manera, cuantas veces es más relevante un sub-atributo respecto al otro, está determinado por la selección de un valor dentro de un rango de valores entre 1/9 y 9 (ver Tabla Nº1). El resultado de las comparaciones pareadas es una matriz cuadrada,  $A=(a_{ij})$ , positiva y recíproca ( $a_{ij} \cdot a_{ji} = 1$ ).

Posteriormente, a partir de la suma por filas y la división de la suma por la suma total, se obtienen las unidades abstractas válidas para cualquier escala en la que se integran las preferencias que el equipo de expertos obtuvo al comparar (Moreno-Jiménez, 2002). Estos

valores son los coeficientes de puntuación necesarios para la construcción de índices parciales por atributos. Se realiza por último la representación gráfica de los coeficientes para cada sub-atributo, a fin de visualizar rápidamente la dominación relativa de un elemento frente a otro (ver Fig. N°3 – sub-atributos). En dicha figura se observa que los pesos de los coeficientes de puntuación se grafican en círculos de mayor o menor tamaño, acorde a la dominación relativa de unos frente a otros.

**Tabla N°1: Escala de medida para la designación de los juicios de valor ( $a_{ij}$ ) – Asignación de la importancia a cada par de factores.**

-9	-7	-5	-3	1	3	5	7	9
Extrema baja	Muy baja	Baja	Media baja	Igual	Media alta	Alta	Muy alta	Extrema alta

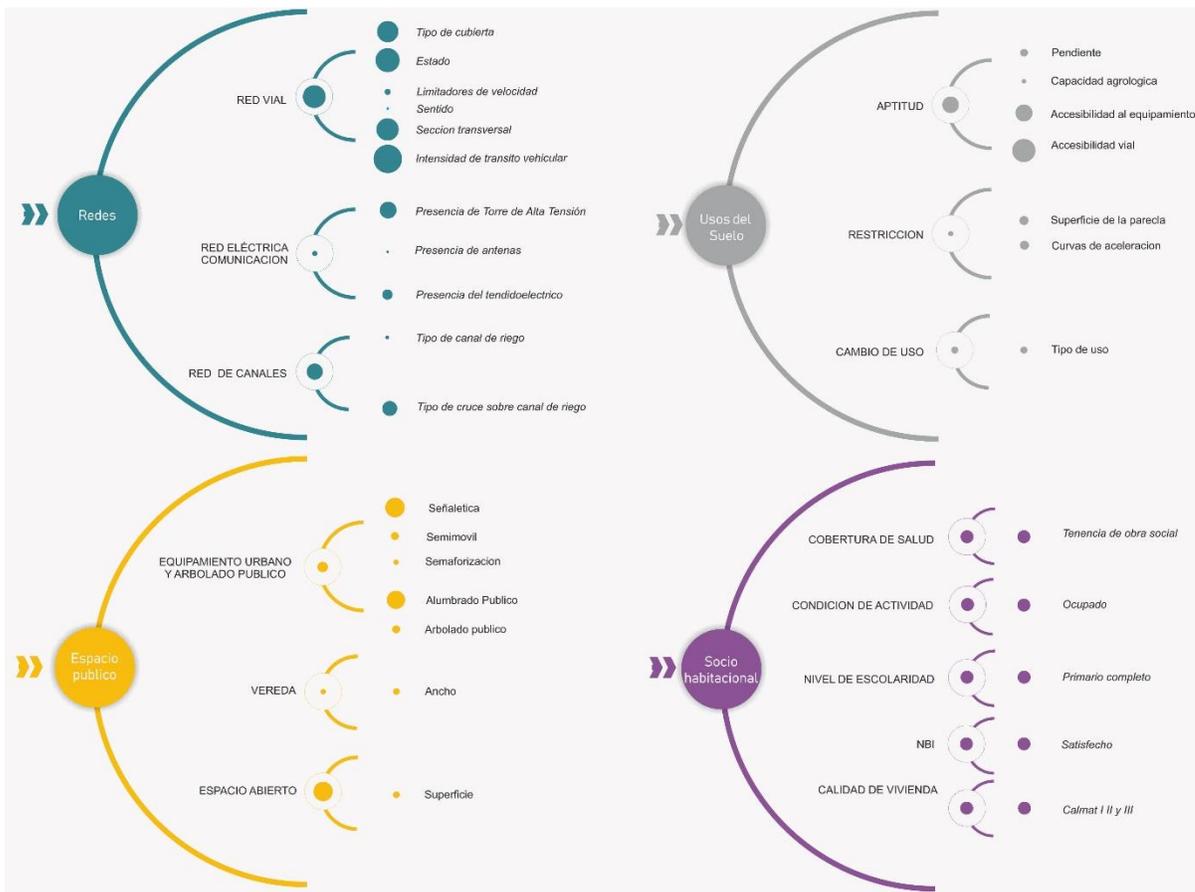
Fuente: Saaty, 1980.

Al respecto puede observarse que, a modo de ejemplo, dentro del atributo Aptitud que integra el criterio Usos del suelo, los sub-atributos “accesibilidad vial” y seguidamente la “accesibilidad al equipamiento”, son los elementos que dominan frente a la “pendiente” y a la “capacidad agrológica”.

***Etapas 3: Valoración para conformar las matrices de comparaciones pareadas de los atributos.***

En continuidad con el procedimiento metodológico, se conforman las matrices de comparaciones pareadas, para realizar la ponderación de los atributos definidos para cada criterio y así determinar la valoración de cada uno de ellos. Posteriormente se realiza de igual manera la representación gráfica de los coeficientes, que permite visualizar los pesos relativos de los atributos definidos para cada criterio (ver Fig. N° 3 sub- atributos).

Fig. Nº3. Ponderaciones de los atributos y sub-atributos para cada criterio considerado.

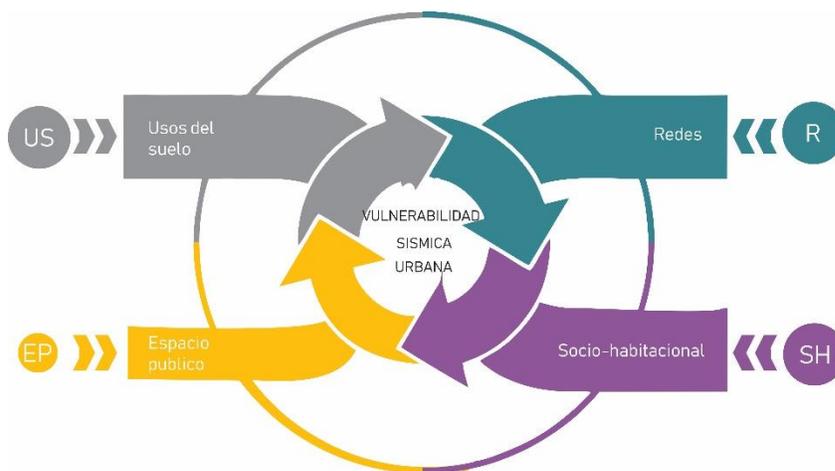


Fuente: Elaboración propia, 2019.

**Etapa 4: Valoración para conformar las matrices de comparaciones pareadas de los criterios.**

Seguidamente se elabora la matriz de comparaciones para la valoración numérica de cada criterio a efectos de reflejar la dominación relativa de cada uno respecto al resto de los definidos para la construcción integral del índice. En la Fig. Nº 4 puede finalmente observarse que los criterios socio-habitacionales, redes y usos del suelo tienen mayor peso frente al espacio público en la vulnerabilidad sísmica.

**Fig. Nº 4: Ponderación de los Criterios.**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

*Etapas 5: Valoración de los sub-atributos.*

Para poder valorar las características que presenta el territorio respecto de cada uno de los sub-atributos esto es, “bueno”, “regular” y “malo”, se desarrolla en la presente investigación un “equivalente numérico de ponderación - EqNP” (empleado en Alonso Frank, 2019) que permite traducir la subjetividad de cada variable, calificando con mayor puntuación a aquellas que sean más beneficiosas, como se detalla en Tabla Nº 2.

**Tabla 2: Equivalentes numéricos de ponderación.**

VALORACIÓN	BUENO	REGULAR	MALO
EQUIVALENTE NUMÉRICO DE PONDERACIÓN	5	3	1

Fuente: Elaboración propia, 2019.

De esta manera, para cada sub-atributo, las valoraciones se explicitan en Tabla Nº 3.

**Tabla Nº3: Equivalentes numéricos de ponderación de los sub-atributos.**

CRITERIOS	ATRIBUTOS	SUB-ATRIBUTOS	VALORACIONES		
			BUENA	REGULAR	MALA
			EqNP=5	EqNP=3	EqNP=1
REDES	Red vial	Tipo de la carpeta de rodado	Pavimentada	Consolidado	Tierra
		Estado de la carpeta de rodado	Bueno	Regular	Malo
		Reductores de velocidad	Inexistencia		Existencia

Alonso Frank, A., Galdeano Ruiz, M., Sales, R., Soria, M. V., Caamaño, G. y Scognamillo, A | Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas

		Sección transversal	Mayor de 12m	De 6m a 12m	Menor de 6m		
		Sentido	2 sentidos		1 sentido		
		Intensidad de tránsito vehicular (en 10 minutos)	Hasta 20 autos/motos	Entre 21 y 40 autos/motos	Más de 41 autos/motos		
		Tipo de canal de riego		Impermeabilizado	No impermeabilizado		
	Red eléctrica y de comunicación	Red de canales	Tipo de cruce sobre canal de riego	Puente H°A° o similar	Entubado	Puente precario	
			Torre de Alta Tensión (ubicación)			Existencia en áreas residenciales	
		Ubicación de antenas			Existencia en áreas residenciales		
		Material del poste del tendido eléctrico	Hormigón	Metálica	Madera		
		ESPACIO PÚBLICO	Vereda	Ancho (borde de calle a LM)	Más de 3 metros	Hasta 3 metros	Inexistencia
			Equipamiento urbano y arbolado público	Señalética	Inexistencia		Carteles fuera de la línea de calle
Semaforización	Inexistencia				Colgante sobre calle		
Semimóvil	Inexistencia				Carros para venta ambulante / Contenedores de residuos		
Alumbrado público	Inexistencia				Colgante sobre calle		
Arbolado público (de gran porte)	Inexistencia			Grande/en buen estado	Grande/viejo/en mal estado		
Espacio abierto	Superficie		Más de 5000 m <sup>2</sup>	De 2500 a 5000 m <sup>2</sup>	Menos de 2500 m <sup>2</sup>		
USOS DEL SUELO	Aptitud	Pendiente	Hasta 3%	De 3% al 20%	Más de 20%		
		Capacidad agrológica	Alta (todo tipo de cultivo)	Media (restricciones para algunos cultivos)	Baja (limitada a pocos cultivos)		
		Accesibilidad a equipamiento	Dotada	Levemente dotada	Poco dotada		
		Accesibilidad vial	Conectado	Levemente conectado	Poco conectado		
	Cambio de uso	Tipo de uso	Variación baja	Variación media	Variación alta		
	Restricción	Superficie de la parcela	Mayor de 1000m <sup>2</sup>	Entre 500m <sup>2</sup> y 1000m <sup>2</sup>	Menor a 500m <sup>2</sup>		
		Curvas de aceleración	Baja	Media	Alta		
SOCIO-HABITACIONAL	Cobertura de salud	Tenencia de obra social	Más de 70%	De 50 A 70 %	Menos de 50%		
	Condición de actividad	Ocupado	Más de 70%	De 50 A 70%	Menos de 50%		
	Nivel de escolaridad	Primario completo	Más de 30%	De 20 A 30%	Menos de 20%		
	Calidad de la vivienda	CALMAT I, II y III	Más de 60%	De 40 A 60%	Menos de 40%		
	Necesidades básicas insatisfechas (NBI)	Sin NBI	Más de 95%	De 85 A 95%	Menos de 85%		

Fuente: Elaboración propia, 2019

Alonso Frank, A., Galdeano Ruiz, M., Sales, R., Soria, M. V., Caamaño, G. y Scognamillo, A | Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas

Tercer paso: elaboración del índice integral de vulnerabilidad sísmica urbana.

De la metodología AHP se obtienen los coeficientes de puntuación (ver Tabla N° 4) y de los equivalentes numéricos (ver Tabla N° 2) las valoraciones subjetivas de cada sub-atributo, los cuales permiten en primer lugar, construir los siguientes índices de vulnerabilidad sísmica: socio-habitacional, redes, usos del suelo y espacio público (ver Ecuaciones 1 a 4).

Tabla 4: Ejemplo: Coeficientes de puntuación del IIVSU.

	REDES	ESPACIO PÚBLICO	USOS DEL SUELO	SOCIO-HABITACIONAL	TOTAL	COEFICIENTES DE PONDERACIÓN
REDES	1	3	1	1	6	0,3
ESPACIO PÚBLICO	0,33	1	0,33	0,33	2	0,1
USOS DEL SUELO	1	3	1	1	6	0,3
SOCIO-HABITACIONAL	1	1	3	1	6	0,3
<b>TOTAL</b>					20	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

$$\text{Índice Redes (IR)} = (0,537 * EqNP_{red\ vial} + 0,083 * EqNP_{red\ eléctrica\ y\ comunicación} + 0,378 * EqNP_{red\ de\ canales})$$

Ecuación 1

$$\text{Índice Espacio Público (IEP)} = (0,051 * EqNP_{vereda} + 0,335 * EqNP_{equip.\ y\ arbolado} + 0,613 * EqNP_{esp.\ abierto})$$

Ecuación 2

$$\text{Índice Uso del Suelo (IUS)} = (0,578 * EqNP_{aptitud} + 0,362 * EqNP_{restricción} + 0,059 * EqNP_{cambio\ de\ uso})$$

Ecuación 3

$$\text{Índice Sociohabitacional I (IS)} = (0,20 * EqNP_{cobertura\ de\ salud} + 0,20 * EqNP_{condición\ de\ actividad} + 0,20 * EqNP_{nivel\ de\ escolaridad} + 0,20 * EqNP_{NBI} + 0,20 * EqNP_{calidad\ de\ la\ vivienda})$$

Ecuación 4

Las ecuaciones ponen de manifiesto la importancia relativa de la red vial y red de canales en el Índice Redes, el espacio abierto en el Índice Espacio Público y la aptitud y restricción

Alonso Frank, A., Galdeano Ruiz, M., Sales, R., Soria, M. V., Caamaño, G. y Scognamillo, A | Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas

en el Índice Uso del Suelo. A su vez, todos los sub-atributos de la componente socio-habitacional manifiestan igual comportamiento en dicho Índice. Por último, se elabora el índice integral de vulnerabilidad sísmica urbana (ver Ecuación 5), objeto de este estudio, que sintetiza cuantitativamente los criterios enunciados.

$$IIVSU = (0,30 * IR + 0,10 * IEP + 0,30 * IUS + 0,30 * IS)$$

Ecuación 5

El índice integral visibiliza la preponderancia de los criterios Redes, Uso del Suelo y Socio-habitacional por sobre el Espacio Público.

### Primer paso para la aplicación del instrumento metodológico

Para poder aplicar el instrumento metodológico propuesto, se requiere de un relevamiento *in situ* de los sub-atributos arriba descriptos. En función de lo enunciado en Tabla 2, se obtiene la valoración de cada uno de ellos. Dichas valoraciones, traducidas en los equivalentes numéricos, se reemplazan en las ecuaciones 1 a 5, obteniendo de esa manera los índices correspondientes a cada uno de los criterios, como así al IIVSU.

### Conclusiones

La planificación territorial, a través de planes y acciones concretas, resulta una herramienta clave para alcanzar niveles de sostenibilidad y equidad territorial deseables. Para ello, entre las medidas con las que se pretende ordenar el territorio, resulta posible advertir el incipiente protagonismo de los criterios de reducción del riesgo como una variable más para considerar al momento de identificar alternativas de uso del suelo más seguras y sostenibles. En este marco, se advierte que numerosas investigaciones abordan la gestión del riesgo sísmico, no obstante, aún queda pendiente por avanzar en herramientas metodológicas concretas que, bajo una mirada holística, permitan evaluar la dimensión física y social de poblaciones bajo riesgo. En esta línea, el presente artículo propone una herramienta metodológica que tiene como producto un índice integral de vulnerabilidad sísmica urbana. La construcción del índice se basa en la evaluación multicriterio a través del AHP, como así en el empleo de equivalentes numéricos de ponderación (EqNP) que permiten cuantificar la subjetividad de cada variable cualitativa medida en “bueno”, “regular” y “malo”. De esta manera el índice sintetiza los principales ejes implicados en las tomas de decisiones sobre la vulnerabilidad sísmica urbana. Los resultados exponen que las variables usos del suelo, redes y la componente socio-habitacional tienen un mismo peso (=0,30), no así el espacio público (=0,10), producto de los atributos y sub-atributos que los

Alonso Frank, A., Galdeano Ruiz, M., Sales, R., Soria, M. V., Caamaño, G. y Scognamillo, A | Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas

componen. Se concluye que la propuesta metodológica realiza un aporte a la elaboración de herramientas con enfoque territorial, sustentado en la toma de decisiones de los investigadores locales especializados. Por último, se afirma que la espacialización de los criterios enunciados posibilitaría la elaboración de un Sistema de Información Geográfica que aborde las áreas de expansión y crecimiento no planificado, a modo de instrumento para la gestión del riesgo.

### Referencias bibliográficas.

ALONSO FRANK, Alción (2019). Herramienta integral de valoración de la eficiencia energética de edificios de vivienda particulares en altura en etapa post-ocupación. El habitante como eje fundamental. Casos de estudio en Ciudad de San Juan, Argentina. Tesis Doctoral. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

BIRKMANN Jörn y von TEICHMAN Korinna (2010). Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: key challenges—scales, knowledge, and norms. *Sustainability Science*, vol. 5, pp. 171–84.

BUSSO, Gustavo (2001). Mercado, Estado y Sociedad: Vulnerabilidad Social, Nociones e Implicancias de Políticas para Latinoamérica a inicios del Siglo XXI. Documento presentado en Seminario Internacional “Las Diferentes expresiones de la Vulnerabilidad Social en América Latina y el Caribe”, Santiago de Chile.

BUSSY Jorge, F. y DALL' ARMELLINA, Mónica (2010). *El riesgo de desastres en la planificación del territorio: primer avance* [en línea]. Buenos Aires: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD. [Fecha de consulta: 3 de junio de 2019]. URL <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/El-Riesgo-de-Desastres-Planificacion-Territorio.pdf>

CALDERÓN, Daniel R.; FREY, Klaus (2016). El ordenamiento territorial para la gestión del riesgo de desastres naturales en Colombia [en línea]. *Revista Proyección*, n°36, 239-264. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2019]. URL <http://www.scielo.org.co/pdf/terri/n36/n36a11.pdf>

CAMPOS-VARGAS, Milagros; TOSCANA-APARICIO, Alejandra; CAMPOS-ALANÍS, Juan (2015). Riesgos siconaturales: vulnerabilidad socioeconómica, justicia ambiental y justicia

Alonso Frank, A., Galdeano Ruiz, M., Sales, R., Soria, M. V., Caamaño, G. y Scognamillo, A | Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas

espacial [en línea]. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, vol. 24, n° 33, pp. 53-69. [Fecha de consulta: 5 de abril de 2019]. URL <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v24n2/v24n2a4.pdf>

CARDONA, Omar D. (2012). *Determinants of risk: exposure and vulnerability*. En FIELD, C.B., V. BARROS, T.F. STOCKER, D. QIN, D.J. DOKKEN, K.L. EBI, M.D. MASTRANDREA, K.J. MACH, G.-K. PLATTNER, S.K. Allen, M. TIGNOR, and P.M. MIDGLEY (Eds.). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 65-108.

CARDONA, Omar D. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals I Ports, Barcelona.

CARREÑO, Martha L. (2006). *Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

CASTEL, Robert, (1991). Los Desafiliados. Precariedad del trabajo y vulnerabilidad social, *Topia*, I: III, 28-35.

CASTEL, Robert (1997). *Las Metamorfosis de la Cuestión Social. Una crónica del salariado*, Buenos Aires: Paidós.

CELEMÍN, Juan P. (2014). El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: un análisis comparativo [en línea]. *Geografía y sistemas de información geográfica*, n° 6, pp. 47-63. [Fecha de consulta: 20 de febrero de 2019]. URL [https://docs.wixstatic.com/ugd/79758e\\_eb3633af2e944768b5747a2279e8c10e.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/79758e_eb3633af2e944768b5747a2279e8c10e.pdf)

DAUDÉ, E., PROVITOLLO, D., DUBOS-PAILLARD, E., GAILLARD, D. ELIOT, E. , LANGLOIS, P., PROPECK-ZIMMERMANN, E., SAINT-GÉRARD, T. (2007). Spatial risks and complex systems: methodological perspectives. European Conference Complex Systems EPNACS'07, Emergent Properties in Natural and Artificial Complex Systems.

GALACHO, Federico B. y OCAÑA, María C. (2006). Tratamiento con SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales. *XII Congreso nacional de tecnologías de la información*

Alonso Frank, A., Galdeano Ruiz, M., Sales, R., Soria, M. V., Caamaño, G. y Scognamillo, A | Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas

geográfica: *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas* (Actas). Granada: Editorial Universidad de Granada, pp. 1509 -1525.

GÓMEZ CARRIZO, Heliana (2016). El territorio y la gestión del riesgo: enfoques y dimensiones [en línea]. *Revista Proyección*, vol. X, n° 20, p9. 1-5. [Fecha de consulta: 10 de abril de 2019]. URL <https://core.ac.uk/download/pdf/95052065.pdf>

GUEVARA, Tomás (2015). Abordajes teóricos sobre las transformaciones sociales, económicas y territoriales en las ciudades latinoamericanas contemporáneas [en línea]. *Revista EURE - Revista De Estudios Urbano Regionales*, vol. 41, n° 124, pp. 5-24. [Fecha de consulta: 18 de marzo de 2019]. URL [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-71612015000400001](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612015000400001)

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA (2017). *Manual de prevención sísmica del Instituto Nacional de Prevención Sísmica. San Juan, Argentina*. San Juan: INPRES.

JANOSCHKA, Michael (2016). Gentrificación, desplazamiento, desposesión: procesos urbanos claves en América Latina [en línea]. *Revista INVI*, vol. 31, n° 88, pp. 27-71. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2019]. URL <http://www.revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/1087>

LAVELL, Allan. (2004). Las Perspectivas de la Gestión del Riesgo y la Evolución Conceptual. En actas ARQUISUR. XXIII ENCUESTRO VII CONGRESO. Arquitectura en Zonas de Alto Riesgo.

LUNGO, Mario (2001), Expansión de las ciudades en Centroamérica y generación de riesgos urbanos. *Realidad: revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 2001, n°79, pp. 41-62.

MANERA BASSA, J. y BLANCO, F. J. (2004). Análisis multivariante para las ciencias sociales. Madrid: Dykinson.

MÁRQUEZ ROSALES, H. (1999). Métodos matemáticos de evaluación de factores de riesgo para el patrimonio arqueológico: una aplicación GIS del método de jerarquías analíticas de T.L. Saaty. SPAL: *Revista de prehistoria y arqueología de la Universidad de Sevilla*, n° 8, pp 21-37.

**Alonso Frank, A., Galdeano Ruiz, M., Sales, R., Soria, M. V., Caamaño, G. y Scognamillo, A** | Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas

MORENO-JIMÉNEZ, J. M., AGUARÓN, J., CANO, F., & ESCOBAR, M. T. (1998). Validez, robustez y estabilidad en decisión multicriterio. Análisis de sensibilidad en el proceso analítico jerárquico. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 4, n° 92, pp. 387-397.

MORENO-JIMÉNEZ, José M. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico. Fundamentos, Metodología y Aplicaciones. En CABALLERO, R. y FERNÁNDEZ, G.M. Toma de decisiones con criterios múltiples. España: Tirant lo Blanch, pp. 21-53.

OLCINA CANTOS, Jorge y MOROTE SEGUIDO, Álvaro (2018). Evaluación de los riesgos naturales en las políticas de ordenación urbana de los municipios de la provincia de Alicante. Legislación y cartografía de riesgo [en línea]. *Cuadernos Geográficos*, vol. 3, n°57, pp. 152-176. [Fecha de consulta: 29 de mayo de 2019]. URL <http://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/6390>

OSORIO, Juan C. y OREJUELA, Juan P. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*, n° 38, pp. 247-252.

PERALTA CASTILLO, Francisco y RANFLA GONZÁLEZ, A. (2016). Evaluación multicriterio en el transporte sustentable para una ciudad fronteriza México-USA. *Revista Proyección*, vol. X, pp. 198-215.

ROMERO, Mirta (2014). Mitigación de la vulnerabilidad física y social de sectores urbanos de alto riesgo. *Revista Andina*, vol. 2, n° 4, pp. 25-34.

ROMERO, Mirta y SCOGNAMILLO, Amelia (2015a). Riesgos socioambientales y gestión territorial. Ponencia presentada en VI Congreso iberoamericano de ingeniería de proyectos, Medellín, Colombia, 24 de noviembre-4 de diciembre.

ROMERO, Mirta y SCOGNAMILLO, Amelia (2015b). Aportes para la construcción de una metodología para la recuperación y rehabilitación de barrios. Ponencia presentada en VI Congreso iberoamericano de ingeniería de proyectos, Medellín, Colombia, 24 de noviembre-4 de diciembre.

**Alonso Frank, A., Galdeano Ruiz, M., Sales, R., Soria, M. V., Caamaño, G. y Scognamillo, A** | Propuesta metodológica para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica en áreas periurbanas

RUIZ, Cristian y GARCÍA, Gerardo (2007). Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental. *Scripta Nova*, vol. XI, n° 245, pp. 1-17.

SAATY, Thomas L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill: New York.