



MODELO DECISIONAL DE RIESGO SÍSMICO EN EL DEPARTAMENTO POCITO (SAN JUAN – ARGENTINA)

Luciana Maricel Narváez¹

(Manuscrito recibido el 15 de julio de 2020, en versión final 17 de diciembre 2020)

Para citar este documento

Narvaez, L. M.(2020). Modelo decisional de riesgo sísmico en el departamento Pocito (San Juan – Argentina). *Boletín geográfico*, 42(2), 169-183.

Resumen

El departamento Pocito, está emplazado en una zona tectónicamente activa y de muy alta sismicidad, por ello el tema del riesgo sísmico ha sido ampliamente tratado de manera específica por especialistas de diversas disciplinas. Sin embargo, todos los estudios lo enfocan desde el punto de vista del fenómeno natural que lo ocasiona, o bien teniendo en cuenta solo la vulnerabilidad edilicia. La Geografía de los Riesgos lo enfoca con una visión holística, la cual considera que el riesgo sísmico es igual al producto del peligro sísmico por la vulnerabilidad. Es decir, sobre la base de las áreas diferenciales de peligro sísmico y las áreas de vulnerabilidad se confecciona el mapa de mínimo riesgo sísmico que dará lugar posteriormente al modelo decisional, objetivo de este trabajo. La metodología empleada consiste en la integración de la evaluación multicriterio y de los sistemas de información geográfica. La conjunción de ambas técnicas es potencialmente valiosa para el análisis espacial. El trabajo se complementa con el análisis In-situ, como uno de los varios soportes para la importante etapa de la validación de los resultados propuesto como modelo decisional. Los resultados obtenidos se representan en mapas que muestran las áreas de alto riesgo sísmico que deben ser consideradas para generar políticas de prevención y mitigación. El análisis de la realidad materializada en el terreno brinda mayor confiabilidad al modelo propuesto.

¹Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) Instituto de Geografía Aplicada (IGA) Av. Ignacio de la Roza 230 (O) E-mail: lucianamaricelnarvaez@gmail.com

Palabras clave: riesgo sísmico, modelo decisional, evaluación multicriterio

DECISION-MAKING MODEL OF SEISMIC RISK IN THE POCITO DEPARTMENT (SAN JUAN - ARGENTINA)

Abstract

The Pocito department is located in a tectonically active area with a very high seismicity, for this reason the issue of seismic risk has been extensively dealt with specifically by specialists from various disciplines. However, all studies approach it from the point of view of the natural phenomenon that causes it or taking into account only the building vulnerability. From the Geography of Risks, it is approached with a holistic vision, which considers that seismic risk is equal to the product of seismic hazard due to vulnerability. In other words, on the basis of the differential areas of seismic danger and areas of vulnerability, the minimum seismic risk map gives us a decisional model, which prepared represents the objective of this work. The methodology used consists of the integration of the multi-criteria evaluation and the geographic information system. The conjunction of both techniques is potentially valuable for spatial analysis. The work is complemented by on-site analysis, as one of the several supports for the important stage of validation of the results proposed as a decision model. The results obtained are represented in maps that show the high risk areas that must be considered to generate prevention and mitigation policies. The analysis against the reality materialized in the field provides greater reliability to the proposed model.

Keywords: seismic risk, decisional model, multi-criteria evaluation

Introducción

El estudio de la relación del hombre y el ambiente en Geografía estuvo presente desde tiempos antiguos. Estrabón concibió esta relación con un enfoque antropocéntrico, y Vareño (diecisiete siglos más tarde) si bien trabajó el ambiente natural no descuidó el enfoque humano.

De acuerdo con Aneas, S. (2000) en el siglo XVIII se destacan en el estudio de la relación hombre-medio las obras de Alexander Von Humboldt y Carl Ritter. Desde entonces, la temática ambiental en Geografía se ha trabajado de manera permanente con los posteriores aportes de numerosos geógrafos.

Sin embargo el estudio de los riesgos en Geografía es más reciente y se debe a la preocupación que ha generado la creciente manifestación de estos fenómenos. A mediados del siglo XX, según Aneas, S. (2000) se avanza en este tema con las obras de Gilbert White (1975), de la escuela norteamericana y Jean Tricart (1982) en la escuela francesa. La creciente preocupación por el aumento práctico de los riesgos

naturales y antrópicos en el mundo dio lugar al desarrollo de una nueva línea de investigación: la Geografía de los Riesgos. Un pionero en este cauce es el geógrafo Francisco Calvo García Tornel, quien presenta esta línea de trabajo como un nuevo paradigma en 1984, refiriéndose a sus precursores White y Kollmorgen.

El tema principal de análisis en la Geografía de los Riesgos, estuvo desde su inicio centrado en los peligros o amenazas naturales. El primer estudio se relaciona con los riesgos de inundaciones de los territorios en las cuencas de los ríos Mississippi y Missouri en Estados Unidos. Posteriormente las investigaciones siguieron aumentando vinculadas a otras áreas y abarcando distintos peligros.

A inicios del siglo XXI se comienza a gestar el estudio de la vulnerabilidad como parte del riesgo, haciéndose necesario tratar a éste, desde distintas dimensiones con enfoques multidisciplinarios. Los cambios mundiales de principio de siglo globalizaron el riesgo y se planteó la necesidad de trabajarlo en forma holística, es decir el ambiente natural con la sociedad en su conjunto. Cardona (2001) afirma:

El riesgo no ha sido conceptualizado de forma integral, sino de manera fragmentada de acuerdo con el enfoque de cada disciplina involucrada. Para estimar el riesgo de acuerdo con su definición es necesario tener en cuenta, desde un punto de vista multidisciplinar, no solamente el daño físico esperado, las víctimas o pérdidas económicas equivalentes, sino también factores sociales, organizacionales e institucionales, relacionados con el desarrollo de las comunidades. (p. 14).

El estudio de los riesgos en Geografía, se enmarca en el enfoque metodológico de la complejidad con aplicaciones sistémicas. Ello permite construir un marco integrador con las amenazas y la vulnerabilidad, considerando que los riesgos no son solo el resultado de un fenómeno natural, sino de un conjunto de procesos interrelacionados. De esta manera, los riesgos se relacionan con las amenazas o peligros en un espacio y un tiempo específico y con los aspectos de vulnerabilidad de la población y del ambiente.

En el caso de la provincia de San Juan, se destaca entre los principales riesgos ambientales, el riesgo sísmico debido a los eventos ocurridos en los años 1894, 1941, 1944, 1952 y 1977, lo cual supone la probabilidad de ocurrencia actual de dicho riesgo. Por otro lado, a los riesgos se los conoce mejor si se los evalúa en manifestaciones locales o en reducidas superficies. Desde ahí que el objetivo de este trabajo es determinar áreas diferenciales de riesgo sísmico en el departamento Pocito (Provincia de San Juan).

Por lo expresado anteriormente desde la Geografía de los Riesgos conceptualizamos al riesgo sísmico de la siguiente manera: *Riesgo sísmico = peligro sísmico X vulnerabilidad.*

Se presentan algunas aclaraciones conceptuales sobre el tema:

Peligro o amenaza: factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el

medio ambiente, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en cierto período de tiempo. (Cardona, 1993, p. 49).

Vulnerabilidad: predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas, y por lo tanto su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso. (Cardona, 1993, p. 50).

Riesgo sísmico: las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado del fallo de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por los esfuerzos estructurales derivados de la acción de un terremoto. (Quirós, 2017, p. 13).

Diferentes investigadores han concentrado sus esfuerzos en el desarrollo de metodologías de medición, con el fin de dimensionar los riesgos ambientales en diferentes escalas espaciales, para proveer a los planificadores e instituciones políticas y a las poblaciones una herramienta predictiva de escenarios de impactos futuros y, a la vez, un medio para identificar áreas necesarias de intervención, según los niveles delimitados. Aun así, no se ha desarrollado una única metodología para evaluar el riesgo, y las aplicadas por diferentes autores en general carecen tanto de análisis espacial como de validación de los modelos elaborados. Por esta razón se propone la aplicación de la técnica de evaluación multicriterio (EMC) enmarcado en el paradigma de la decisión multicriterio con enfoque de la teoría de la decisión. Esta técnica opera sobre el dato temático y unido a los sistemas de información geográfica (SIG) se potencia la operación del dato geográfico, logrando modelo decisional de riesgo sísmico mediante el análisis espacial. A su vez la EMC ofrece diferentes técnicas para la generación de modelos, adoptando en este estudio el método de riesgo mínimo, que reduce la posibilidad de tomar una decisión incorrecta. Por otra parte, se adopta el método de validación In-situ para darle credibilidad al modelo espacial elaborado, resultando de esta manera más confiable el método de EMC.

El riesgo ambiental es considerado una construcción social con manifestación continua. Por lo tanto, para reducirlo, las políticas gubernamentales no deben estar dirigidas a la acción después del desastre, sino preferentemente apuntar hacia las acciones de prevención. Por esto, la idea central de este trabajo, es el aporte de una cartografía que represente la distribución espacial del riesgo sísmico, siendo el primer paso para intervenir en las áreas con mayor riesgo y que necesiten una pronta formulación de estrategias de mitigación.

Área de estudio.

El departamento Pocito está localizado (Figura 1) en el sector centro-oeste del Valle de Tulúm aproximadamente a 17 km al sur de la ciudad de San Juan. Se encuentra conformado por tres unidades geomorfológicas claramente delimitadas correspondientes a: la sierra Chica de Zonda que forma parte de precordillera, la bajada pedemontana de dicha sierra conformada por abanicos aluviales,

pedimentos y/o glacis y la depresión del Valle compuesta con niveles sedimentarios del abanico aluvial del río San Juan.

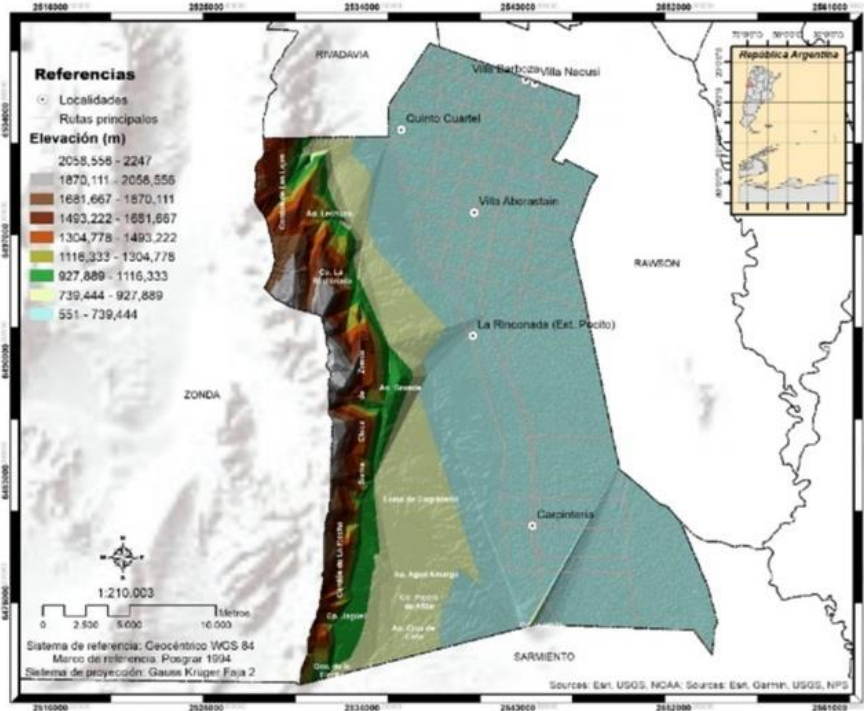


Figura 1. Localización del departamento Pocito. **Fuente:** elaborado en base al Atlas socioeconómico de San Juan, 2016. Centro de Fotogrametría, Cartografía y Catastro (CEFOCCA). UNSJ-FI. Instituto Geográfico Nacional.

La actividad antrópica se desarrolla en esta última unidad, en donde la variedad de suelos y características de las aguas subterráneas imprimen a esta unidad un carácter especial y temporal heterogéneo, que propicia o condiciona las distintas actividades desarrolladas sobre la misma. Del total de superficie que posee de 515 km², solo 315 km² corresponden al oasis cultivado, es decir que prácticamente la mitad del Departamento está ocupado por serranías y piedemonte. La superficie efectivamente cultivada es 12378 has, esto nos indica que se utiliza más del 45% del oasis para la producción agrícola.

Con respecto a las características poblacionales, según el último censo realizado en octubre del 2010, Pocito tiene una población de 53.464 habitantes, lo que representa un peso poblacional de 7,89 % en relación al total provincial, concentrando Villa Aberastain, cabecera departamental, aproximadamente 19.089 habitantes. En segundo lugar, las localidades más pobladas son Villa Naucusi y Villa Barboza de aproximadamente 17.852 habitantes. La densidad de población de San Juan es de 8,4 hab/km² y la de Pocito está por encima con 103,8 hab/km². Las

mayores densidades de población se concentran en la zona norte de Pocito en las localidades de Villa Nacusi y Villa Barboza y en la cabecera departamental.

Materiales y método

Los sistemas de información geográfica han servido tradicionalmente para realizar modelaciones de la realidad, pero presentan carencias en la resolución de problemas espaciales complejos en el entorno del análisis espacial. Como solución a este hecho, surge la posibilidad de integrar los SIG con técnicas de ayuda a la decisión, como las de evaluación multicriterio (EMC), incrementándose así la potencia operativa de los SIG en determinados procesos de planificación y gestión. “La evaluación multicriterio puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones” (Barredo, 1996, p. 46).

En el campo de la decisión territorial, donde debemos tomar en cuenta con especial interés el componente espacial de los datos, los procedimientos de EMC no muestran un desarrollo destacable. Esto es debido a que no han sido pensados para trabajar con datos geográficos. De igual manera, la alta especialización que muestran los paquetes de SIG en cuanto al análisis de la componente espacial de dato geográfico, han dejado rezagadas en esta evolución a algunos procedimientos de análisis que permiten un adecuado tratamiento de la componente temática, al menos en el campo de la toma de decisiones. “Así, la integración de estos dos elementos (SIG y EMC) permitiría llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico, espacial y temático, proporcionando soluciones a problemas espaciales complejos” (Barredo, 1996, p. 38).

La aplicación del paradigma decisional multicriterio en la gestión del riesgo presenta una interesante vía metodológica al tratamiento de esta problemática ambiental. El territorio como un sistema complejo, que presenta múltiples intervenciones de variables de carácter natural y humano y que generan a la vez desequilibrios ambientales, ha encontrado en la metodología de la EMC un modelo de gran operatividad.

Etapas metodológicas.

Etapas 1. Diseño, selección y generación de los criterios (factores y restricciones) que conformarán la Geodatabase de análisis.

En función del objetivo general propuesto, considerado simple dentro de la teoría de la EMC, se seleccionarán los criterios. “Un criterio es cierta base para la toma de decisión, que puede ser medida y evaluada. Es la evidencia sobre la cual se basa una decisión” (Eastman et al. 1993 citado por Barredo, 1996, p. 59). Los criterios se clasifican en dos tipos: factores y restricciones o limitantes. “Un factor es un criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración, éste por lo tanto debe ser medido en una escala continua” (Eastman, et al. 1993 citado por Barredo, 1996, p. 59). “El

limitante restringe la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada; con este tipo de criterio se excluyen varias categorías de la capa analizada para la evaluación; es decir, se genera una capa binaria (0,1)” (Barredo, 1996, p. 59).

Etapa 2. Procesado de los datos mediante el método de EMC. Modelo decisional.

Una decisión locacional en la cual se minimiza el riesgo de seleccionar un lugar inadecuado se lleva adelante a través de aplicar uno de los procesos de mayor selectividad, es decir, trabajar exclusivamente con mapas de restricciones o mapas de limitaciones. Esto significa que cada uno de los factores (f) utilizados debe quedar estandarizado de acuerdo a la lógica booleana, llevando sus valores a números digitales (DN, digital number) en dos categorías: DN=0 (áreas de menos riesgo) y DN=1 (áreas de mayor riesgo), de esta manera, cada mapa estará definido únicamente por lo que sea evaluado como sus peores áreas a intervenir.

Posteriormente el método trabaja por correspondencias espaciales que se logra a través de la superposición de los mapas mediante operaciones matemáticas simples que se realizan considerando los valores internos de clasificación para cada localización (celdas). La solución estaría dada por (ecuación 1):

$$A = f_1 \times f_2 \times f_3 \dots \times f_n = \prod f_x \quad (1)$$

Dónde: A es el resultado que obtendrían las localizaciones (celdas) del mapa final, donde tendrá el valor 1 cuando coincidan con el valor 1 todos los factores y 0 cuando haya un 0 en alguno de ellos. La estandarización con lógica booleana y la multiplicación de matrices (AND), muestra un resultado único y preciso de los sitios con mayor riesgo, pues allí coinciden las peores condiciones de cada factor. Como resultado de la estandarización booleana y la multiplicación de matrices se obtiene un mapa de riesgo mínimo, que indica localizaciones seleccionadas con el mínimo riesgo de equivocarse (Figura 2).

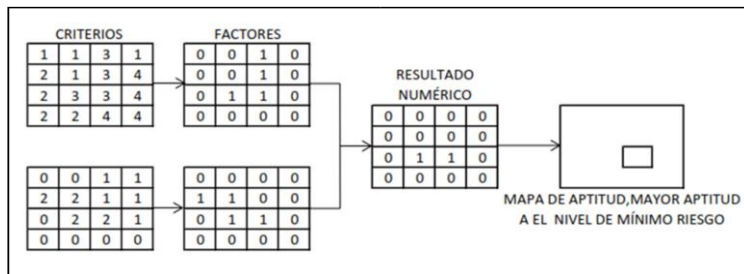


Figura 2. Modelo de nivel de riesgo mínimo. **Fuente:** Buzai & Baxendale (2011)

Etapa 3. Validación de los resultados.

Existen distintas formas de validar los resultados, en este trabajo se optó por hacer la validación In-Situ.

La determinación de hacer la validación In-situ se tomó, debido a que ésta es muy efectiva porque se contrasta lo determinado en el modelo decisional (terreno, rutas, edificaciones, suelos. etc.) directamente con el mundo real.

Discusión y resultados

Los criterios seleccionados y que se explican a continuación, fueron transformados en capas temáticas para poder ser tratados en un SIG con estructura raster (100 m. de resolución). Para transformar los criterios en factores y limitantes se realizó un buffer a algunas capas temáticas con las condiciones que se detallan más adelante y en los restantes solo fue necesaria una reclasificación. Esta es la forma en la que se debe estandarizar con la técnica booleana, según la cual se le asignó un valor de 1 a los elementos considerados con mayor riesgo y valor de 0 al resto, es decir sin riesgo.

Restricciones.

❖ Criterio: **Mapa de aceleración y licuefacción** (referente al peligro sísmico)

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de mayor aceleración y licuefacción alta: 1

Fuera del área de mayor aceleración y alta licuefacción: 0

Según la zonificación del INPRES (1989) el área de estudio se ubica en la zona 4 (muy elevado peligro sísmico) pero a escala de la microzonificación se presentan diferentes niveles de aceleración del suelo, por ello es fundamental identificar la población que está asentada en áreas con elevada aceleración del suelo, puesto que cabe recordar que el riesgo depende de la mayor o menor exposición de las comunidades y sus bienes, ante la manifestación de la amenaza.

Por otro lado, es importante identificar la población que vive o no en la zona con peligro de licuefacción, puesto que a la primera se le agrega la probabilidad de sufrir otros daños derivados de la licuefacción tales como: formación de grietas, conos de arena, hundimientos del terreno, agrietamientos, fluido de agua, etc.

❖ Criterio: **Epicentros** (referente al peligro sísmico).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de mayor frecuencia: 1

Fuera del área de mayor frecuencia: 0

Resulta evidente que aquellas poblaciones que se encuentran cerca del epicentro de un terremoto tienen mayor probabilidad de sufrir daños en caso de que este suceda. Por esto, se tuvo en cuenta la densidad de los epicentros. Así el hecho de que haya una gran concentración de terremotos aumenta la vulnerabilidad de un espacio. Aunque los terremotos no sean de gran magnitud, si se producen una gran

cantidad de ellos a un espacio reducido, es posible que se agraven sus consecuencias.

❖ Criterio: **Edificaciones precarias** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de edificaciones precarias: 1

Fuera del área de edificaciones precarias: 0

Se refiere a la escasa capacidad que poseen ciertas estructuras físicas para absorber los efectos de un evento sísmico y generar daños a la población.

❖ Criterio: **Líneas vitales** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de 500 m: 0

Fuera del área de 500 m: 1

Se analiza la red vial, por considerar que la inexistencia de circuitos de tránsito fluidos, genera interrupciones que saturan las vías de circulación, creando redes poco prácticas y eficaces que dificultan los desplazamientos, lo que seguramente en caso de desastre generará atascamientos a la hora de evacuar. El comportamiento de estos sistemas se ha convertido en una preocupación desde el punto de vista de la planificación de emergencias y de la necesidad de una fluida circulación hacia lugares estratégicos (hospitales, lugares de albergue).

Factores.

❖ Criterio: **Densidad de población** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de densidad mayor a la mediana de 30,85 hab./km²: 1

Fuera del área de densidad mayor a la mediana de 30,85 hab./km²: 0

La presencia de espacios densamente poblados lo hace más vulnerables que aquellos en los que vive menos población y de forma más dispersa. Además la concentración y congestión de personas dificulta su movilización en caso de traslado.

❖ Criterio: **Superficie edificada** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de edificaciones mayor a la mediana de 46,3238 m²: 1

Fuera del área de edificaciones mayor a la mediana de 46,3238 m²: 0

La presencia de áreas densamente edificadas, refleja el grado de concentración edilicia y la dificultad en la circulación para la movilización de personas.

❖ Criterio: **Humano** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Dentro del área del indicador mayor a la mediana de 130,65 habitantes: 1

Fuera del área del indicador mayor a la mediana de 130,65 habitantes: 0

$$H = \frac{M_{14}(0,75) + M_{65}(0,75) + D(1)}{\sum P_i} \quad (2)$$

Dónde:

M14= menores de 14 años

M65= mayores de 65

D= discapacitados

P_i = suma de los pesos

“Se ha comprobado que la vulnerabilidad se relaciona significativamente con la edad, los niños (0-14 años) y los ancianos (65 años y más) son los más vulnerables ante cualquier peligro” (Aneas, Cattapan, Torres & Peregrina, 2011, p.102).

En el caso del grupo de personas con discapacidad necesitan atención y requieren la ayuda de un adulto para movilizarse y sostenerse económicamente.

❖ Criterio: **Necesidades básicas insatisfechas** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área mayor a la mediana de 36,6 hogares: 1

Fuera del área mayor a la mediana de 36,6 hogares: 0

Las NBI reflejan un nivel socioeconómico bajo de la población, lo que los convierte en más vulnerables frente al riesgo. Es decir a mayor NBI mayor la pobreza y la vulnerabilidad.

❖ Criterio: **Población con secundario incompleto** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área mayor a la mediana de 199 habitantes: 1

Fuera del área mayor a la mediana de 199 habitantes: 0

La información que recibió una persona puede influir en su conducta frente a un peligro. En este caso al no haber recibido educación formal o tener la mínima instrucción puede que su forma de actuar no sea la adecuada, en comparación con otras personas que tienen un mayor nivel educativo.

❖ Criterio: **Escuelas** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de 500 m: 0

Fuera del área de 500 m: 1

Las escuelas son un equipamiento clave para el resguardo, o alojamiento temporal de personas en caso de emergencia.

❖ Criterio: **Clubes deportivos** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de 500 m: 0

Fuera del área de 500 m: 1

Los clubes también son una infraestructura clave frente a un peligro, ya que pueden utilizarse para el rescate o resguardo como alojamiento temporal para atención masiva en caso de emergencia.

❖ Criterio: **Espacios verdes** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de 500 m: 0

Fuera del área de 500 m: 1

Los espacios verdes también podrían utilizarse como alojamiento temporal o para atención masiva en caso de emergencia.

❖ Criterio: **Uniones vecinales** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de 500 m: 0

Fuera del área de 500 m: 1

La falta de organización en comunidad como por ejemplo una unión vecinal, hace más difícil encontrar apoyo en un grupo que persiga el mismo objetivo concerniente a la búsqueda de los medios para recuperarse después de un desastre.

❖ Criterio: **Centros de salud de atención primaria** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de 500 m: 0

Fuera del área de 500 m: 1

Los CAPS son equipamientos indispensables para atención de personas heridas.

❖ Criterio: **Iglesias** (referente a la vulnerabilidad).

Punto de corte de la capa temática:

Adentro del área de 500 m: 0

Fuera del área de 500 m: 1

Las iglesias pueden ser lugares de rescate o resguardo, es decir que deberían utilizarse como alojamiento temporal o para atención masiva en caso de emergencia.

Seguidamente se procedió a realizar el modelo decisional con mínimo riesgo, ecuación (2), resultando el siguiente mapa (Figura 3):

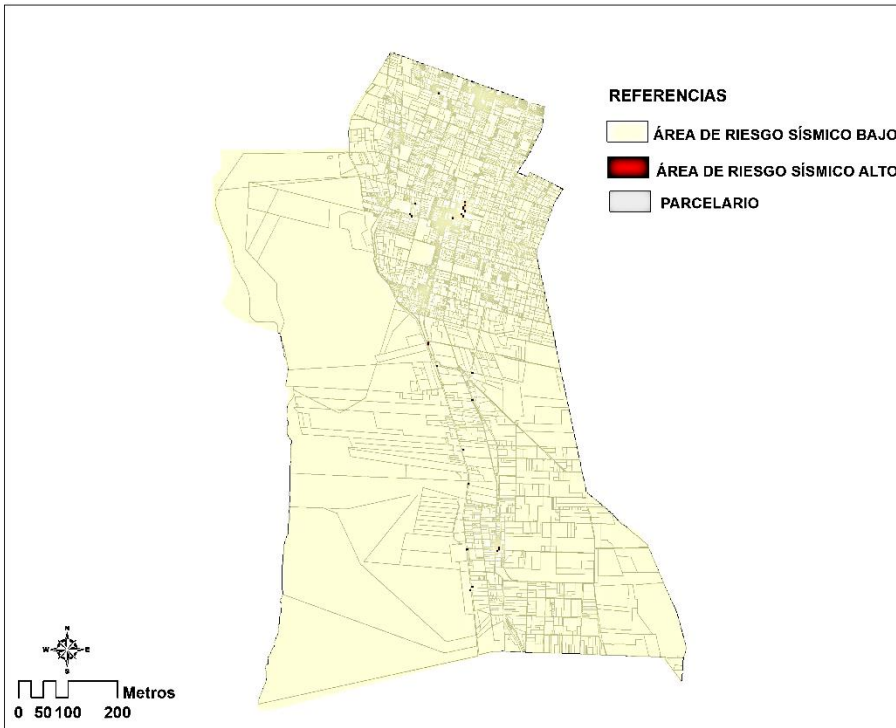


Figura 3. Mapa de mínimo riesgo sísmico **Fuente:** elaborado en base a información de UNSJ, Municipalidad de Pocito, Dirección Provincial de Vialidad, INDEC (2010), Dirección de Geodesia y Catastro de la provincia de San Juan (2019) y Ministerio de Desarrollo Humano y Promoción Social (2008 a 2009) en: Atlas Socioeconómico de la Provincia de San Juan (2016).

Análisis In-situ.

Para la realización de la validación del modelo de mínimo riesgo sísmico se extrajeron coordenadas aproximadas de las zonas y con ayuda de un navegador se rastrearon las mismas hasta llegar a ellas. Se realizó una observación In-situ de las situaciones habitacionales y medición de distancias necesarias hacia las instalaciones vitales. A continuación, se muestran algunas imágenes de las zonas relevadas (Figura 4). Mediante el método de riesgo mínimo, se identificaron dos áreas diferentes correspondientes a las áreas con riesgo sísmico bajo y las áreas con riesgo sísmico alto (Figura 3 y Figura 4).



Figura 4. Modelo decisional de riesgo sísmico sobre la base de riesgo mínimo contrastado en el terreno. **Fuente:** elaboración propia en base a relevamiento año 2019. Cobertura digital del terreno.

Áreas con riesgo sísmico alto: se localizan en forma dispersa y en sentido norte-sur preferentemente. Correspondiendo a las áreas en que las alternativas obtuvieron valores desfavorables (1) en el mapa binario de cada una de los criterios combinados. Es decir, que son de alto riesgo porque presentan edificaciones precarias regular, valor alto en el indicador humano (población mayor de 65 años, menores de 14 años y discapacitados), necesidades básicas insatisfechas, población con secundario incompleto, escuelas a más de 500 m, clubes a más de 500 m, CAPS a más de 500 m, iglesias a más de 500 m, rutas a más de 500 m, espacios verdes a más de 500 m, zonas con alta licuefacción y aceleración del suelo y con frecuencia alta de epicentros.

Áreas con riesgo sísmico bajo: son las áreas que dominan en extensión en el departamento, presentando valores (0) favorable frente a un sismo en el mapa binario de cada una de las variables. Esto es, no presentan edificaciones precarias regular, indicador humano bajo, sin necesidades básicas insatisfechas, población con secundario completo, escuelas a menos de 500 m, clubes a menos de 500 m, CAPS a menos de 500 m, iglesias a menos de 500 m, rutas a menos de 500 m, espacios

verdes a menos de 500 m, zonas con baja licuefacción y baja aceleración y con baja frecuencia de epicentros de sismos.

Conclusiones

La aplicación del análisis espacial con la técnica de evaluación multicriterio en conjunto con los sistemas de información geográfica, permitió confeccionar una cartografía de áreas diferenciales de riesgo sísmico en el departamento Pocito, demostrando ser muy eficaz para generar modelos decisionales en la gestión del riesgo.

La EMC fue pensada para apoyar a las decisiones de los organismos del gobierno, en donde las pautas son complejas e intervienen múltiples criterios. Los métodos de EMC en el entorno de los SIG pueden ser utilizados en procesos de datos espaciales que requieran ser valorados, ordenados o bien clasificados según determinados criterios, ofreciendo así estas técnicas una herramienta adicional a las existentes en los SIG. Los métodos de EMC permiten un adecuado y eficaz uso del aspecto temático de los datos espaciales, bien sea en el modelo vectorial o en el raster. Por ello, la técnica de EMC potencia las operaciones en un SIG haciendo posible la elaboración de modelos espaciales complejos, siendo estos una herramienta fundamental para la toma de decisión en el campo de los riesgos ambientales.

Los resultados obtenidos mediante el método de riesgo mínimo demostraron ser muy confiables en cuanto se ajustan a la realidad del riesgo sísmico del departamento, según el análisis de la validación en el terreno. Además, permitieron delimitar dos áreas contrapuestas, muy representativas y claras para la gestión. El área de menor riesgo sísmico es la que domina en extensión en el departamento y habiendo conseguido valores favorables en cada uno de los factores y restricciones evaluados. Opuesta a ella, el área de mayor riesgo sísmico, se ubica en sentido nort-sur preferentemente y en forma dispersa, representando viviendas particulares, algunas ubicadas en asentamientos, barrios y otras en villas. Siendo estas las que tienen la posición desfavorable en cada alternativa de los criterios procesados, frente a un sismo.

El análisis In-situ, realizado mediante la observación directa en el terreno es considerado un método muy confiable para evaluar los modelos decisiones. Aun así, en este tema su aporte debería incluir encuestas dirigidas hacia aquellas variables que se deben medir mediante la información brindada por la gente, como por ejemplo, el nivel educativo, cantidad de menores de 14 años, discapacitados, entre otros.

Las herramientas empleadas resultaron ser eficaces para aportar información muy valiosa a los responsables de las políticas de planeamiento y desarrollo territorial y realizar tomas de decisiones más informadas y fiables. Toda esta información generada debería ser utilizada para comprender mejor el problema estudiado, prerequisite en cualquier toma de decisiones, es decir ante de implementar una política o un proceso de planificación.

Con este estudio y sus resultados, se ha tratado de reafirmar la importancia de investigar y avanzar en métodos de evaluación del riesgo en forma integral, detectando las fragilidades de una comunidad expuesta a los peligros, teniendo en cuenta que la seguridad no está garantizada sólo con una estructura sismorresistente, sino que es imprescindible que todo el sistema territorial funcione en la emergencia y luego de ella se reponga rápidamente.

Bibliografía

- Aneas, S. (2000). *Riesgos y Peligros: Una visión desde la Geografía*. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias sociales. N° 60. Universidad de Barcelona. Recuperado de <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>
- Aneas, S., Cattapan, S., Torres E. & Pelegrina, C. (2011). *El hombre frente a los riesgos del ambiente*. San Juan. Editorial Universidad Nacional de San Juan.
- Atlas Socioeconómico de la Provincia de San Juan, (2016). Centro de Fotogrametría, Cartografía y Catastro (CEFOCCA). Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan.
- Barredo, J. (1996). *Sistema de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid. Editorial RA-MA.
- Buzai, G., & Baxendale C. (2011). *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica*. Buenos Aires. Editorial Lugar.
- Cardona, O. (1993) Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. En Maskrey, A. (Comp.) *Los desastres no son naturales*. . Colombia, LA RED. Recuperado de www.desenredando.org
- Dirección de Geodesia y Catastro de la Provincia de San Juan (2019). República Argentina.
- Dirección Provincial de Vialidad (2019). Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Provincia de San Juan. República Argentina.
- Ministerio de Desarrollo Humano y Promoción Social (2008 a 2009). Provincia de San Juan. República Argentina.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (2010) recuperado de <http://www.indec.gov.ar/>
- INPRES (1989). Instituto Nacional de Prevención Sísmica (1989). *Microzonificación Sísmica del Valle de Tulum. Provincia de San Juan. Republica Argentina*. Poder Ejecutivo Nacional. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Secretaria de Obras Públicas.
- Quirós, L. (2017). *Modelizaciones y Analisis de sensibilidad en la evaluación integral del riesgo sísmico a escala urbana. Aplicación a la ciudad de Lorca*. (Tesis especial de Doctorado en Ingeniería Sísmica: dinámica de suelos y estructuras). Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Tricart, J. (1982) *L' homme et les cataclismes*. en Hérodote, N° 24. Paris. Pp.12-39
- White, G. (1975) *La investigación de los riesgos naturales* en Chorley, R. Ed. Nuevas Tendencias en Geografía. IEAL. Madrid.