

PROPUESTA METODOLÓGICA: CONSTRUCCIÓN DE UN ÍNDICE
DE VULNERABILIDAD GLOBAL ANTE LA AMENAZA SÍSMICA, EN ESPACIOS
REGIONALES, CON EL USO DE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIABLES

METHODOLOGICAL PROPOSAL: CONSTRUCTION OF AN INDEX OF GLOBAL
VULNERABILITY TO THE SEISMIC THREAT IN REGIONAL SPACES WITH THE
USE OF MULTIVARIATE STATISTICAL TECHNIQUES

GABRIEL FERNÁNDEZ

RESUMEN

La vulnerabilidad es un fenómeno multidimensional y multicausal, su determinación requiere del procesamiento de una gran cantidad de variables que permitan caracterizarla, sin embargo las metodologías existentes para la obtención de indicadores de vulnerabilidad ante eventos sísmicos son poco prácticas al momento de ser aplicadas en espacios regionales e inclusive, no consideran variables sociales y económicas, por tanto, el objetivo de este artículo es proponer un indicador de vulnerabilidad global construido a partir de datos levantados por el Instituto Nacional de Estadística, del cual se extraen un conjunto de variables que servirán como indicadores simples que permitirán diferenciar niveles de exposición, fragilidad y poca resiliencia ante la amenaza sísmica. Posteriormente, el procesamiento de los datos se realiza a partir del Análisis de los Componentes Principales, con él se construyen cinco indicadores parciales de vulnerabilidad (física, social, económica, educativa y técnica) y un índice global, con esto se logra categorizar la vulnerabilidad en función de las diferencias estadísticas generadas por cada indicador en sus múltiples facetas. Además, se propone el Análisis Clúster como técnica para generar cinco niveles de clasificación a partir de los indicadores previamente construidos. La unidad de análisis corresponde a la división político territorial y el producto cartográfico final es la zonificación de la vulnerabilidad

siguiendo criterios geográficos. Finalmente se presentan los resultados de la aplicación de esta metodología en el estado Sucre, Venezuela.

Palabras clave: indicador, vulnerabilidad, sismo, región, estadística

ABSTRACT

Vulnerability is a multidimensional and multicausal phenomenon, its determination requires processing of a lot of variables that allow characterize it, however, the existing methodologies for obtaining vulnerability indicators to seismic events are impractical when applied in regional spaces and they don't consider social and economic variables, therefore, the aim of this article is to propose an indicator of global vulnerability built with the data collected by the Instituto Nacional de Estadística, from which a set of variables are extracted that will serve as simple indicators that will allow to differentiate levels of exposure, fragility and resilience to the seismic threat. Subsequently, the data processing is done with the Principal Components Analysis, with which five partial indicators of vulnerability (physical, social, economic, educational and technical) and a global index are constructed, with this it is possible to categorize the vulnerability depending on the statistical differences generated by each indicator in its many facets. In addition, Cluster Analysis is proposed as a technique to generate five classification levels based on previously constructed indicators. The unit of analysis corresponds to the territorial political division and the final cartographic product is the zoning of vulnerability following geographic criteria. Finally, the results of the application of this methodology are presented in Sucre state, Venezuela.

Key words: Indicator, vulnerability, earthquake, region, statistics

INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad ante eventos sísmico son un conjunto de condiciones exclusivas de una población emplazada en una localidad, parroquia, municipio o región, expuesta a la amenaza, frágil y poco resiliente. Este término no debe confundirse con el de vulnerabilidad sísmica, ya que el segundo posee una connotación más ingenieril y debe ser entendido como la predisposición intrínseca de una estructura o de sus componentes a ser susceptibles de sufrir daño o pérdida de su funcionalidad ante la ocurrencia de un evento sísmico determinado (Coronel *et al.*, 2014), dejando a un lado la inclusión de variables socioeconómicas propias del espacio geográfico.

Para facilitar el análisis de la vulnerabilidad, esta puede ser subdividida en 11 dimensiones (cuadro N° 1), de ellos es destacable como la vulnerabilidad física, social, económica, educativa y técnica pueden ser vinculados con variables económicas y sociales, en una relación de causa-efecto, tal como se representa en la figura N° 1, mientras que el resto de las facetas son imposibles de cuantificar por estar relacionadas a aspectos políticos-institucionales, ideológicos y culturales, lo que debilita el cálculo, la precisión y por tanto la exactitud. En cualquier caso, aun cuando los factores pueden ser analizados individualmente, ellos actúan en conjunto, luego, es a partir de su síntesis que se obtiene la vulnerabilidad global, término propuesto por Wilches-Chaux (1993), al respecto, González (2013) establece que “la consecuencia de la interacción de factores y características que exponen un cierto grupo social a la ocurrencia de riesgos es definida como vulnerabilidad global”.

Ahora bien, aun cuando se han hecho esfuerzos para zonificar la amenaza sísmica en estudios regionales e inclusive nacionales, como por ejemplo la zonificación generada por Funvisis (2002) quienes asignan 8 categorías a los distintos municipios de la nación a los efectos de la caracterización de su sismicidad, proceder a discriminar espacios vulnerables en una escala de análisis similar es de gran dificultad, en primer lugar, debido a las limitantes operacionales generadas por la dificultad de levantar la información necesaria en áreas extensas, y en segundo lugar, debido a que la vulnerabilidad es un concepto que engloba una gran cantidad de variables.

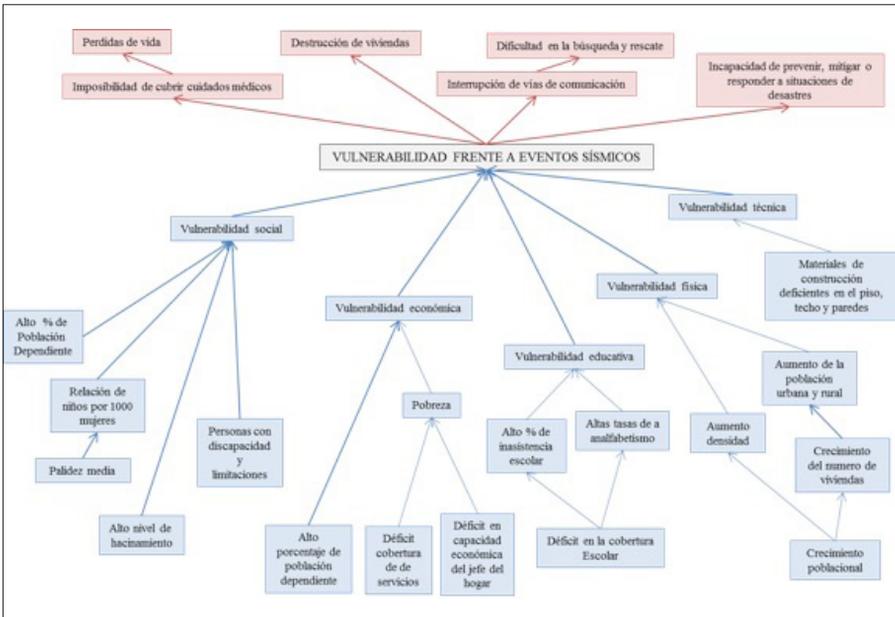
Cuadro 1.
Facetas de la vulnerabilidad

Factores	Descripción
Natural	Relacionada con el tipo y frecuencia de las amenazas naturales que se presenta en una región
Física	<p>Se relaciona con la ubicación de grandes o pequeños asentamientos en zonas de amenaza</p> <p>El crecimiento poblacional provoca una mayor probabilidad de padecer pérdidas humanas y de bienes, ya que con el aumento de la población, también crece el nivel de urbanización y por lo tanto se tienen más zonas potencialmente afectadas. Asimismo las zonas con mayor densidad de población son más vulnerables en base a su exposición.</p> <p>Con respecto a las zonas rurales, estas comunidades tras un desastre tienen mayor problema de recuperación debido a que sus economías son más dependientes de su ámbito geográfico próximo mientras que las zonas urbanas el problema se presenta durante la fase de emergencia ya que la concentración de población afectada hace necesaria una complicada logística de ayuda</p>
Social	Relacionada con el nivel de organización existente en una comunidad expuesta a amenazas, las características de la población van a condicionar tanto la fragilidad intrínseca de la población a padecer los efectos de los desastre como su capacidad de hacer frente al mismo.
Económica	La pobreza aumenta la vulnerabilidad de los sectores más deprimidos, y se expresa en términos de desempleo, insuficiencia de ingresos, explotación, inestabilidad laboral, dificultad de acceso a los servicios de educación, salud y los servicios sociales.
Educativa	Se refiere directamente con la falta de programas educativos que proporcionen información sobre el medio ambiente, sobre el entorno, los desequilibrios y las formas adecuadas de comportamiento individual o colectivo en caso de amenaza o de situación de desastre, su principal indicador es el número de centros de enseñanza ya que indica la capacidad de formación de un área determinada
Técnica	Se refiere a las inadecuadas técnicas de construcción de edificios e infraestructura básica utilizadas en áreas de amenaza
Ideológica	Referida a la concepción que tienen los habitantes sobre los desastres naturales, no es una información que se encuentre procesada en investigaciones académicas ni técnicas, no obstante es deducible por la localización de asentamientos en zonas de riesgo, por la construcción de viviendas sin la utilización de técnicas adecuadas y el deterioro del ambiente, entre otras muchas evidencias.

Factores	Descripción
Cultural	Una alta vulnerabilidad cultural se relaciona con poblaciones que actúan frente los desastres improvisadamente, ejecutando acciones inadecuadas que, generalmente, empeoran la situación.
Institucional	Referente a los obstáculos formales (obsolescencia y rigidez institucionales, burocracia, politización, corrupción de los servicios públicos) que impiden una adecuada adaptación de la comunidad respecto a su realidad cambiante y una rápida respuesta en caso de desastre, demorando el tratamiento de los riesgos o sus efectos.
Política	Está definida por el nivel de autonomía que posee una comunidad para la toma de las decisiones.
Ecológica	Este concepto está relacionado con la forma cómo una comunidad explota los recursos que están disponibles en su entorno, con lo cual debilita la capacidad de los ecosistemas para absorber sin traumatismos las amenazas naturales

Fuente: Con base a Chardón (2004), González (2013), Leal (2008), Ruiz (2012), Thomas (2013) y Wilches-Chaux (1993)

Figura 1.
Árbol de problema



Propuesta metodológica: construcción de un índice de vulnerabilidad global ante la amenaza sísmica, en espacios regionales, con el uso de técnicas estadísticas multivariantes

Con respecto a las metodologías existentes para abordar su estudio, Coronel et al. (2014) explican que siempre ha sido una debilidad la falta de información que permita caracterizar la vulnerabilidad ante la amenaza sísmica, ya que los métodos existentes como el Índice de priorización de edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico, desarrollada también por Funvisis, permite determinar niveles de vulnerabilidad a partir de las características físicas y estructurales que condicionan el desempeño sísmico de un edificio, lo cual dificulta su aplicación en estudios regionales porque requeriría de un gran esfuerzo en la capacitación de inspectores, el desarrollo de la inspección y su posterior revisión y sistematización por cuanto existen miles de edificios que deberían ser inspeccionado, además, este tipo de modelos no consideran variables sociales y económicas.

Por tanto, a continuación se presenta una metodología basada en el análisis multivariable, con ella se busca construir un índice global que permita diferenciar niveles de vulnerabilidad a nivel regional. La misma se divide en tres etapas, siendo la primera de ellas la selección de los indicadores simples de vulnerabilidad, los cuales se obtendrán a partir de la información estadística de mayor fiabilidad, generada por el Instituto Nacional de Estadística, quienes levantaron durante el último censo Nacional de Población y Vivienda (2011) una gran cantidad de variables, cuya unidad de empadronamiento corresponde a las personas, las viviendas y los hogares y que a su vez puede ser consultada para cada estado, municipio y/o parroquia, todas ellas se denominaran indicadores simples.

En segundo lugar, se aplica el Análisis de los Componentes Principales para generar los indicadores preliminares y posteriormente indicadores parciales de vulnerabilidad física, social, económica, educativa y técnica. Las otras dimensiones de la vulnerabilidad no son incorporadas debido a la imposibilidad de ponderar variables que permitan definir las. Con ello se logra establecer relaciones de dependencia entre las variables que caracterizan cada una de las múltiples facetas de la vulnerabilidad cuantificables para obtener un índice sintético multivariable, que resume el comportamiento de las diferentes variables que son seleccionadas como expresión de la vulnerabilidad en cinco facetas y con quien se obtendrá una aproximación de la vulnerabilidad global.

Finalmente, en el tercer y último paso, se aplica el análisis clúster como técnica multivariable que permite agrupar individuos, en este caso los distintos espacios utilizados como unidad de análisis, a partir de los cinco indicadores parciales generados previamente, con esto se busca categorizar la magnitud de la vulnerabilidad y generar clases, heterogéneas entre sí, que permitan visualizar el comportamiento del fenómeno.

METODOLOGÍA EMPLEADA

1. Selección de los indicadores simples de vulnerabilidad

La selección de las variables a utilizar como indicadores simples, las cuales son capaces de representar los distintos niveles exposición, fragilidad y poca resiliencia y además, estar relacionadas con alguno de los factores descritos en el cuadro N° 1, se hizo a partir de las consideraciones teóricas y metodológicas presentes en distintas investigaciones de vulnerabilidad, como la de Vergara (2010), Leal (2008), Wilches-Chaux (1993) y Coronel et al. (2014), quienes permiten justificar y argumentar su escogencia para lograr la explicación del problema en estudio.

De los autores nombrados en el párrafo anterior, es pertinente resaltar el aporte de Coronel et al. (2014), quienes indirectamente sustentan la metodología que se presente en este artículo, y es que ellos también proponen un procedimiento para generar indicadores de vulnerabilidad a partir de la información censal, utilizando como técnica de procesamiento la ponderación simple, y cuya unidad de análisis varía dependiendo de la escala en la que se realiza la evaluación, resaltando la importancia de los estudios de vulnerabilidad a distintas escalas de trabajo, y obteniendo en cualquier caso resultados representativos, haciendo la salvedad de que al variar el nivel de detalle, también varía el análisis que se le dará a los resultados.

Dicho esto, a continuación se explican los indicadores simples seleccionados asociados a las cinco dimensiones de la vulnerabilidad consideradas, quienes de manera general, definen aspectos relacionados con la vulnerabilidad, y están medidas para una unidad político territorial dada, que para estos efectos se asume como el espacio que integra a los distintos centros poblados donde se emplaza la población, los hogares, y las viviendas.

1.1 Indicadores simples de vulnerabilidad física:

La vulnerabilidad física frente a eventos sísmicos está relacionada con la ubicación de los asentamientos poblacionales en zonas de amenazas, los indicadores simples utilizados para la caracterización de esta faceta permiten evaluar la concentración, distribución y dinámica de la población, lo que posteriormente se correlaciona con los niveles de amenaza sísmica existentes en el área de estudio, de esta manera se podrá diferenciar donde se tiene una mayor exposición frente a la misma.

Cuadro 2.

Indicadores simples de vulnerabilidad física

Nivel de amenaza sísmica
Densidad de población para el año 2011
Población total 2011
Población nacida en otra entidad o en el exterior
Población urbana
Población rural
Población indígena urbana
Población indígena rural
Crecimiento poblacional 2001-2011
Crecimiento del número de viviendas familiares 2001-2011
Crecimiento del número de hogares 2001-2011

Esta faceta de la vulnerabilidad destaca por ser la única que requiere de variables calculadas, no levantadas por el censo, como es el caso de los crecimientos absolutos de población, viviendas y del número de hogares entre dos periodos de referencia, así como de variables generadas previamente por el investigador, o en otras investigaciones, como es el caso del nivel de amenaza sísmica, ya que previo a la aplicación del método, se debe realizar un análisis de la amenaza presente en la región o área de estudio, donde cada unidad de análisis generada en la zonificación debe corresponder a la unidad de análisis utilizada por el INE en el levantamiento de la información censal.

Ahora bien, las variables de esta faceta, así como de las siguientes, tienen una relación causa y efecto con respecto a los niveles de vulnerabilidad, es decir, sus magnitudes inciden también en un aumento de la misma, por ejemplo, en aquellas áreas con altos valores de densidad poblacional, también existe una alta vulnerabilidad por cuanto indica que las masas poblacionales se concentran en una extensión limitada del territorio, lo cual puede conllevar a un incremento del número de viviendas y demás construcciones con materiales de mala calidad, en este mismo orden de ideas, Lavell (2002) establece que si un centro poblado “centraliza las funciones económicas, sociales y políticas de una región, zona, país o internacionalmente, la vulnerabilidad se ve acentuada ante tal concentración, por el impacto que la destrucción o daño sufrido podría tener para el espacio mayor en su conjunto”, es decir, una alta concentración de la población se complementa con una

alta densidad de actividades económicas y de infraestructuras, lo cual, en caso de un sismo de grandes proporciones, garantiza innumerables pérdidas.

Asimismo, la población nacida en otra entidad o en el exterior es un indicador que permiten evaluar la migración histórica y así saber cuáles municipios han tenido un mayor asentamiento de población inmigrante, originarios de otros estados del país u otro país, por cuanto aumenta la vulnerabilidad si dichas personas se dirigen a zonas de alta amenaza.

Por su parte la distribución de la población urbana y rural, son indicadores del nivel de urbanización, con respecto a las zonas rurales, estas cuentan con la característica de que, tras la ocurrencia de un evento sísmico “tienen mayores problemas de recuperación debido a que sus economías son más dependientes de su ámbito geográfico próximo” (Ruiz y Grimalt, 2012), además estas cuentan con características propias como la inaccesibilidad, siendo este un indicador fundamental por cuanto es la manera de acceder al resto de los servicios: aquellos centros poblados que se encuentren aislados pueden tener problemas con respecto al acceso de los servicios de emergencia para atender algún tipo de urgencia generada por un evento sísmico y/o de iniciar la recuperación luego de darse el mismo.

No obstante, aun cuando pueden existir diferencias en el nivel de vulnerabilidad existente entre una población urbana y una rural, es necesario el análisis de otros indicadores para corroborar si efectivamente existe una relación de dependencia entre la población rural y el aumento de la vulnerabilidad, ya que es posible que las zonas rurales no concentren la mayor proporción de pobres o de viviendas construidas con materiales de mala calidad sino que este fenómeno sea eminentemente urbano.

Por último, las variables asociadas al crecimiento población, del número de viviendas y del número de hogares son el resultado de la diferencia de los datos poblacionales en los años 2001 y 2011. Como resultado de dicho incremento, se puede presentar un aumento de la vulnerabilidad siempre y cuando la expansión haya sido no planificada y la concentración se de en áreas expuestas a las mayores amenazas sísmicas, un crecimiento poblacional puede dar como resultado la presencia de vulnerabilidades sociales, educativas, económicas y técnicas, estas relaciones podrán ser apreciadas en el análisis de los componentes principales y serán sintetizadas en el Índice Global de vulnerabilidad.

1.2 Indicadores simples de vulnerabilidad social:

La siguiente faceta de la vulnerabilidad corresponde a la vulnerabilidad social que está en función de las características demográficas que conllevan a tener grupos poblacionales más propensos a sufrir los daños ante un evento sísmico (cuadro

N° 3), Gonzales (2010) explica que “la vulnerabilidad social se relaciona con los grupos socialmente vulnerables; acerca de la debilidad que tienen estos grupos para enfrentarse a riesgos o peligros y a su incapacidad de adaptarse a nuevas realidades”.

Cuadro 3.
Indicadores simples de vulnerabilidad social

Población menor de 15 años
Población mayor de 64 años
Relación de feminidad
Relación niños(as) por mil mujeres
Paridez media
Número de personas con una discapacidad
Número de personas con dos discapacidades
Número de personas con tres y más discapacidades
Número de personas con limitación para movilidad
Número de personas con limitación para autocuidado
Número de personas con limitación para relaciones interpersonales
Promedio de personas por hogar
Hogares con déficit según hacinamiento
Número de hogares que no poseen radio
Número de hogares que no poseen TV
Número de hogares que no poseen teléfono fijo por enchufe
Número de hogares que no poseen teléfono fijo por línea

En primer lugar, la importancia de determinar la distribución de los grupos poblacionales dependientes (número de personas menores de 15 años y número de personas mayores a 64 años) es que la misma genera diferencias en la capacidad de respuesta que se tiene frente a una amenaza sísmica, Ruiz y Grimalt (2012) establecen que “de forma genérica se puede afirmar que los jóvenes y los ancianos poseen la mayor vulnerabilidad, aunque cada desastre tiene un perfil diferente”, es decir, una población joven es más vulnerable por cuanto no poseen la experiencia ni el conocimiento necesario para responder a las consecuencias de un sismo, mientras que los ancianos tienden a tener condiciones físicas y psíquicas, como por ejemplo problemas crónicos de salud, que dificultan su resistencia y recuperación frente

al mismo. En igual forma, Delgado (2007) establece que se puede caracterizar la susceptibilidad a partir del envejecimiento:

La edad es un indicador importante para determinar la sobrevivencia de un individuo, habida cuenta que, de acuerdo con la experiencia recogida de múltiples desastres, el individuo con más posibilidades de sobrevivir está en el grupo de los adultos en edad económicamente activa y para varios tipos de desastres, la población más susceptible son los niños entre 0 y 7 años, porque son el grupo más dependiente, que no posee conocimiento, experiencia y es más frágil física, aunque todavía se discute si emocionalmente

Por otra parte, el género incide en el aumento de la vulnerabilidad ya que “Las mujeres constituyen las personas que presentan mayor vulnerabilidad, especialmente por el rol de sustento familiar que desarrolla, en relación al cuidado de hijos, trabajo en el campo y mantenimiento del hogar” (Ruiz y Grimalt, 2012), sin embargo en caso de un evento sísmico no existe una discriminación que hace a las mujeres más afectadas que los hombres, las diferencias que puedan generarse según el sexo están en función de la fortaleza y resistencia física, así como con la actividades que desarrollan las personas, Delgado (2007) explica que los grupos menos vulnerable, en cuanto a susceptibilidad, es el de los adultos varones en edad económicamente activa, mientras que el género femenino es el más vulnerable en todas las edades.

Asimismo, los indicadores de discapacidad y posteriormente de limitaciones ayudan a caracterizar la situación de salud de la población, su caracterización es de importancia ya que “los desastres no llevan implícita la aparición de nuevas enfermedades, ni producen tantas epidemias como comúnmente se piensa. Lo que sí ocurre, es que se agudizan y se hacen más visibles los problemas que padece la comunidad en condiciones normales” (Wilches-Chaux, 1993). Además, al evaluar las discapacidades o limitaciones desde el punto de vista de la resiliencia, Delgado (2007) afirma que:

Un grupo familiar en el cual haya personas minusválidas o enfermas en forma circunstancial o permanentemente, es menos capaz de responder y de recuperarse, superado la etapa inicial post desastre, debido a que tiene que atender especialmente a personas con discapacidades en un contexto donde el desplazamiento y la autonomía de movimiento es requisito fundamental para mejorar la calidad de vida

Ahora bien, no se hará distinción del tipo de discapacidad que pueda presentar una persona (visual, auditiva, neurológica...) ya que se usara una nueva categoría generada por el INE, que está en función de la(s) discapacidad(es) que presenta un individuo, denominada limitaciones.

Por otra parte, el promedio de personas por hogar es una medida del nivel de dependencia que presenta un conjunto familiar, por cuanto a mayor cantidad de personas que se tiene un hogar, mayor será la responsabilidad del jefe o jefa del mismo. Los últimos indicadores considerados en esta faceta de la vulnerabilidad corresponden a la no disponibilidad de recursos y/o herramientas como el radio, la televisión, el teléfono fijo por enchufe o el teléfono fijo por línea en los hogares, lo que aumenta la vulnerabilidad en zonas de amenaza debido a que la ausencia de estos elementos se dificulta la transmisión de la información que pueda ayudar a prevenir pérdidas cuando ocurra un sismo, al respecto Ruiz y Grimalt (2012) consideran que “El contar con información rápida y veraz sobre los peligros naturales puede suponer un factor determinante en la reducción de los efectos negativos de un desastre”, asimismo, Delgado (2007) explica que la presencia de telefonía y de radio “son recursos útiles para mantener una adecuada capacidad de respuesta y recuperación”.

1.3 Indicadores simples de vulnerabilidad económica:

La vulnerabilidad económica está en función de la pobreza y del inaccesso a los servicios básicos, saber la distribución de estas características es de importancia ya que “los sectores económicamente más deprimidos de la humanidad son, por esa misma razón, los más vulnerables frente a los riesgos naturales” (Wilches-Chaux, 1993), en este mismo orden de ideas, Gómez y Sáenz (2009) consideran que estos grupos “no cuentan con los recursos o las capacidades para superar o aminorar los impactos negativos ante crisis de diferente naturaleza”, es decir, son poblaciones en los que predomina la condición de fragilidad. Los catorce indicadores simples se indican en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Indicadores simples de vulnerabilidad económica

Índice de estructura de la población activa
Población dependiente (<15 años y >64 años)
Número de personas con limitación para trabajar
Número de viviendas familiares
Promedio de hogares por vivienda
Viviendas familiares que no poseen servicio de agua por acueductos o tuberías
Viviendas familiares que no poseen servicio eléctrico
Viviendas familiares cuyos desechos sólidos no son recogidos por el servicio de aseo urbano
Viviendas familiares que no poseen poceta conectada a cloaca o a pozo séptico
Hogares con déficit de servicios
Hogares con déficit de capacidad económica y educativa de el(la) Jefe(a)
Hogares pobres no extremo
Hogares pobres extremo
Número de hogares que no utilizan gas directo o electricidad para cocinar

A partir de la cantidad de población dependiente se caracteriza la carga económica de la cual es responsable la porción productiva de la población, por otra parte, el índice de estructura de la población activa surge de dividir subgrupos poblacionales: (15 a 39 años) y (40 a 64 años), es un indicador del grado de envejecimiento de la población en edad activa que permite analizar el comportamiento de los grupos poblacionales en edad activa, ya que un posible envejecimiento de la población incide en la vulnerabilidad presente porque paulatinamente existirá un incremento de población dependiente mayor a 64 años

Una vivienda familiar es una estructura “destinada al alojamiento de una o más personas, con o sin vínculos familiares entre sí, y que conforman uno o más hogares” (INE, 2013), la misma representa la unidad de asentamiento de la población descrita hasta ahora. A partir de ella se puede evaluar el acceso a los servicios básicos, con lo cual se podrá analizar la cobertura de los mismos e inferir los niveles de calidad de vida que posee la población:

Con respecto al servicio de agua, las viviendas que no posean tuberías conectada directamente a la red pública, tienen una dependencia de elementos externos que se traduce en vulnerabilidad, ya que en caso de un evento sísmico, existe una mayor dificultad para el suministro de este vital líquido, fundamental para poder satisfacer

las necesidades de la población, al respecto, Delgado (2007) establece que “el sistema de acueducto es el sistema más necesario para la atención y recuperación de las zonas afectadas por desastres, debido a que, para los efectos de la salud, el abastecimiento de agua es indispensable”.

En segundo lugar, evaluar la cobertura del sistema eléctrico es de gran importancia ya que “todos los demás sistemas dependen en alguna medida del suministro de energía eléctrica para su funcionamiento” (Op. Cit.), asimismo, este puede ser considerado como el más vulnerables debido a la cantidad de elementos que lo conforman en todas sus etapas: generación, transmisión, distribución y comercialización, por lo que es posible que en una vivienda pueda verse interrumpido debido a múltiples causas en caso de un evento sísmico, por tanto, el análisis de vulnerabilidad que se realiza en base a este indicador simple es el siguiente: una vivienda familiar sin servicio eléctrico indica que no está conectada a la red pública (con medidor o sin medidor), esto permite inferir la cobertura del servicio, así como de la pobreza existente.

Con relación al servicio de recolección de basura, el indicador se refiere a la forma como se eliminan los desperdicios generados en las viviendas, en aquellas donde no son recogidos por el servicio de aseo urbano, se deben utilizar técnicas y métodos que aceleran la degradación ambiental (depositándola en terrenos baldíos, ríos o quebradas, quemándola o enterrándola) y por lo tanto incide en la vulnerabilidad de las localidades.

El último servicio considerado es el servicio de cloacas, las viviendas que no poseen pocetas conectada a la red pública de cloacas o a pozo séptico, deben acudir a alternativas que fomentan la contaminación debido a que no existen mecanismos que aseguren su adecuado manejo por medio de plantas de tratamiento, como es el caso de las pocetas sin conexión a cloacas o pozo séptico y los excusado de hoyo o letrina, o simplemente no tener ningún sistema de eliminación de excretas y descargar las aguas servidas hacia colectores que terminan drenando libremente a la red hidrográfica y/o al mar.

Por su parte el número de hogares que no utilizan gas directo o electricidad para cocinar es un indicador que está relacionado con la fuente de energía o combustible utilizado en la preparación o calentamiento de las comidas en la vivienda, un hogar que no posea conexión directa de gas o electricidad para cocinar debe acudir a combustibles cuyo manejo los hace vulnerables, como las bombonas, la leña o el carbón, con respecto a las bombonas, si su almacenamiento es en depósitos improvisados e inseguros se da un aumento de la vulnerabilidad, además “Las zonas asistidas por bombonas de gas son más vulnerables porque se corta el suministro”

(Op. Cit.). Sin embargo, las áreas conectadas a redes de tuberías de gas no se eximen de ser afectadas en caso de un evento sísmico.

En otro orden de ideas, se tiene a los hogares con déficit de capacidad económica y educativa de él (la) Jefe(a), se considera que el mismo posee déficit en su capacidad económica y educativa si su escolaridad es menor a tres años de educación formal y si de él o ella dependen económicamente tres o más personas. La importancia de esta variable recae en que la capacidad económica “facilita el acceso a los recursos y reduce en tiempo y en intensidad los efectos negativos” (Ruiz y Grimalt 2012), es decir, es un indicador de susceptibilidad y de la capacidad de hacer frente a los efectos de los sismos.

Para finalizar, se tienen los indicadores simples de pobreza según las necesidades básicas insatisfechas (NBI), utilizando las siguientes variables: hogares con niños en edad escolar que no asisten a la escuela, hogares que presentan más de tres personas por cuarto para dormir, hogares que habitan en ranchos, casas de vecindad, trailer o remolque, embarcaciones, carpa o cueva, hogares que presentan inaccesibilidad al agua potable o a los servicios de eliminación de excretas, hogares con jefes o jefas cuya escolaridad es menor a tres grados de educación y donde, el número de personas por cada ocupado es mayor a tres (INE, 2013). Los hogares pobres no extremo presentan al menos uno de los indicadores de NBI, mientras que los pobres extremos serán aquellos que poseen dos o más.

La importancia de estos indicadores radica en que la pobreza es una variable que aumenta los niveles de vulnerabilidad, como lo explica Ruiz y Grimalt (2012) “Los sectores económicamente más deprimidos y con condiciones sociales precarias, poseen un nivel de resiliencia menor por lo que es una de las causas que los hace más vulnerables frente a los impactos ocasionados por eventos naturales”, es decir, la pobreza es uno de los factores de mayor influencia en el impacto de un evento sísmico, por cuanto existen dificultades para la reconstrucción tras un desastre en las zonas donde predomine esta condición. Sin embargo, la situación de pobreza no debe ser estudiada como un fenómeno homogéneo con respecto a la vulnerabilidad, ya que siempre existirán grupos poblacionales más vulnerables que otros, de ahí la importancia de estudiar en conjunto las cinco facetas de la vulnerabilidad.

1.4 Indicadores simples de vulnerabilidad educativa:

La vulnerabilidad educativa está en función de la preparación que recibe la población en cuanto al comportamiento que se debe tener antes, durante y después de un evento sísmico, “la educación de la población frente a los riesgos, amenazas y vulnerabilidades se considera un factor clave de la vulnerabilidad. Una población

bien informada sabe anticiparse al peligro, sabe reaccionar ante la emergencia” (Ruiz y Grimalt, 2012).

Es por ello que Funvisis posee un plan para la preparación y concientización de la población ante los eventos sísmicos llamado “Aula Sísmica Madeleilis Guzmán” en honor a una docente fallecida durante el terremoto de Cariaco en el año 1997, y que se encarga de concientizar a las comunidades escolares y no escolares para que adquieran actitudes preventivas ante este fenómeno natural y así disminuir los niveles de vulnerabilidad.

Ahora bien, las siete variables consideradas para medir la vulnerabilidad educativa (cuadro N° 5) no dicen por sí solas si efectivamente existen programas educativos para concientizar a la población acerca de la amenaza sísmica, es decir, si existe o no una preparación que atenué los niveles de vulnerabilidad, a partir del mismo se logra obtener una aproximación acerca de la capacidad de la población para asimilar y comprender la información acerca de cómo actuar, antes, durante y después de un evento sísmico

Cuadro 5.
Indicadores simples de vulnerabilidad educativa

Inasistencia escolar inicial (3 a 6 años)
Inasistencia escolar primaria (7 a 12 años)
Inasistencia escolar secundaria (13 a 17 años)
Población 10 años y más analfabeta
Número de personas con limitación para el aprendizaje
Número de personas con limitación para educación
Hogares con déficit en educación

Una gran cantidad de niños y adolescentes en edades escolares (3 a 17 años) que no asistan a centros de educación, ya sea público o privado, asegura que una parte de la población no tendrá acceso al aprendizaje del comportamiento que les permita actuar adecuadamente en caso de un evento sísmico. Además, la deserción escolar es un indicio de vulnerabilidades económicas y sociales, ya que este fenómeno posee causas diversas, como por ejemplo “necesidad o problema económico, interés del joven por trabajar, falta de motivación por el estudio y, en el caso de las jóvenes mujeres, embarazo y maternidad” (Raczynski et al., 2002), es decir, una alta cantidad de niños y

adolescentes que no asistan a un centro de enseñanza indica que en determinada área sus pobladores tienen la necesidad de fuentes de ingreso alternativas que conllevan a los jóvenes a buscar algún trabajo.

En la misma forma, el indicador de analfabetismo permite establecer donde se encuentra la mayor cantidad de población que tenga 10 años o más y no posea la capacidad de leer y escribir un párrafo sencillo en un idioma cualquiera, este indicador, al igual que en anterior, posee una interpretación que va más de la dimensión educativa; el analfabetismo debe entenderse como un concepto complejo que se relaciona directamente con vulnerabilidades sociales y aún más, económicas, ya que el mismo es el resultado de uno o más de los siguientes factores: “la pobreza, la desnutrición, los problemas de salud, el trabajo infantil, la migración y la falta de acceso a entornos de enseñanza y aprendizaje en forma continua” (Martínez y Fernández, 2010)

Por tanto, las consecuencias del analfabetismo y la deserción escolar también inciden en las vulnerabilidades social y económica ya que son el reflejo de una deficiencia en la estructura política, económica y cultural, que tiene como consecuencia la exclusión de las poblaciones en dicha situación, al respecto los investigadores (Op. Cit.) presentan un estudio de la CEPAL donde se afirma que:

La vulnerabilidad a la que se encuentran expuestos los analfabetos afecta su autoestima y aumenta la probabilidad de que tengan sentimientos de riesgo, inseguridad e indefensión, todo lo cual restringe su capacidad de respuesta individual y de beneficiarse de las opciones que le ofrecen la sociedad y las organizaciones sociales para hacer frente a dicho riesgo. En resumen, las personas analfabetas son más vulnerables por ambos componentes, tienen mayores riesgos y menor capacidad de respuesta

Por último, los grupos poblacionales con limitaciones para el aprendizaje y la educación presentan discapacidades que imposibilitan o dificultan la instrucción de las técnicas de prevención y del que hacer antes, durante y después de un sismo, lo que conlleva a una incapacidad de reaccionar de forma adecuada cuando este se concreta.

1.5 Indicadores simples de vulnerabilidad técnica:

La vulnerabilidad técnica está relacionada con la vulnerabilidad sísmica de una estructura, pero en esta metodología estos términos no deben ser utilizados como sinónimos; ya que la vulnerabilidad técnica está en función de la deficiencia de los

materiales de construcción de las infraestructuras (viviendas), lo que aumenta la propensión de ser dañada en caso de darse un evento sísmico, este concepto puede parecer muy general si se compara con el de vulnerabilidad sísmica de una estructura, el cual es de gran complejidad por la cantidad de variables que utiliza en su estudio: se requiere evaluar la vulnerabilidad física estructural (referida al grado de seguridad sísmica que tienen los diferentes elementos que conforman una estructura: vigas, columnas, muros de corte, losas, escaleras y cimientos) y la vulnerabilidad física no estructural (referida al grado en el que pueden verse afectados los sistemas arquitectónicos de las edificaciones, lo cual puede llevar a caída de partes de una edificación) (González, 2010)

Por tanto, debido a la ausencia de datos en el XIV Censo Nacional de Población y Vivienda 2011 que permitan caracterizar una vulnerabilidad sísmica de una estructura, solo se evalúa la vulnerabilidad técnica como lo establece Madrigal et al. “La vulnerabilidad técnica puede resumirse en los siguientes aspectos: diseño estructural y calidad de los materiales”

Es por ello que se usan veintitrés variables que caracterizan en primer lugar los distintos tipos de viviendas, que serán considerados como los distintos diseños estructurales, y en segundo lugar, los materiales constructivos de las viviendas familiares usados en el piso, el techo y las paredes para evaluar su calidad. Estos elementos en conjunto constituyen los componentes estructurales más importantes con respecto a la resistencia de una estructura, ya que “las edificaciones que se construyen con deficiencias en alguno o en ambos de estos aspectos, amenazan con colapsar en caso de un fenómeno natural, aumentando la vulnerabilidad de las personas que las habitan” (1991).

Cuadro 6. **Indicadores simples de vulnerabilidad técnica**

Número de quintas casa-quintas
Número de casas
Número de apartamentos
Número de ranchos
Número de viviendas indígenas
Número de viviendas familiares de otra clase
Número de viviendas colectivas
Promedio de personas por vivienda

Casas con piso de tierra o tablas
Apartamentos con piso de tierra o tablas
Ranchos con piso de tierra o tablas
Viviendas indígenas con piso de tierra o tablas
Quintas o casas quintas con techo de láminas asfálticas, láminas metálicas, láminas de PVC, asbesto, palma, latón, tablas o similares
Casas con techo de láminas asfálticas, láminas metálicas, láminas de PVC, asbesto, palma, latón, tablas o similares
Apartamentos con techo de láminas asfálticas, láminas metálicas, láminas de PVC, asbesto, palma, latón, tablas o similares
Ranchos con techo de láminas asfálticas, láminas metálicas, láminas de PVC, asbesto, palma, latón, tablas o similares
Viviendas indígenas con techo de láminas asfálticas, láminas metálicas, láminas de PVC, asbesto, palma, latón, tablas o similares
Casas con paredes de madera aserrada, PCV, de tapia o bahareque, palma, láminas de zinc, cartón, tablas o similares
Apartamentos con paredes de madera aserrada, PCV, de tapia o bahareque, palma, láminas de zinc, cartón, tablas o similares
Ranchos con paredes de madera aserrada, PCV, de tapia o bahareque, palma, láminas de zinc, cartón, tablas o similares
Viviendas indígenas con paredes de madera aserrada, PCV, de tapia o bahareque, palma, láminas de zinc, cartón, tablas o similares
Viviendas familiar con más de 29 años de construida
Hogares con déficit según calidad de la vivienda

Asimismo, los tipos de viviendas familiares pueden ser categorizadas de menor a mayor vulnerabilidad frente a eventos sísmicos como se indica en el cuadro N° 7. Por su parte, las viviendas indígenas son construcciones que reflejan el modo de vida tradicional propio de la comunidad indígena, y no poseen un patrón constructivo general que permita diferenciarlas, pero que en definitiva, dada la naturaleza de los materiales constructivos utilizados, pueden ser consideradas como vulnerables, de manera similar, ocurre con las viviendas familiares de otra clase, las cuales son estructura que se encuentran habitadas de forma temporal o permanente, aun cuando no han sido construida para fines de alojamiento, por ejemplo trailers, embarcaciones, cuevas o carpas.

Cuadro 7. Vulnerabilidad de los tipos de vivienda familiares

Tipo	Vulnerabilidad ante eventos sísmicos
Quinta casa quinta	Estructuras desarrolladas por un estrato social alto o medio alto, que puede contar con la asesoría técnica de un ingeniero civil, por lo tanto se infiere que fueron hechas cumpliendo las normas oficiales de diseño y construcción
Apartamento	Estructura de desarrollo vertical que deben cumplir con las normas sismo resistentes para la época de su construcción
Casa	Viviendas desarrolladas sin cumplir con las normas oficiales de diseño y de construcción. Son obras de autoconstrucción por maestros de obras especializados o no-especializados que no contaron con la asesoría técnica de un ingeniero civil
Rancho	Viviendas de construcción precaria que fueron hechas sin cumplir con las normas oficiales de diseño y de construcción, utilizando materiales de muy baja calidad

Fuente: Información tomada de Coronel *et al.* 2014, p. 10

Con relación a las viviendas colectivas, estas se consideran como “Local o conjunto de locales destinados para el alojamiento de un grupo de personas sin vínculos familiares que, en general, hacen vida en común por razones de salud, enseñanza, religión, disciplina, trabajo u otras causas” (INE, 2013), con respecto a ellas Delgado (2007) aclara que en esos espacios “nos encontramos con que estas personas no tienen vínculo sentimental ni histórico con el entorno urbano donde apenas duermen, por lo cual poco o nada saben de cómo funciona su ambiente físico-natural” es decir su vulnerabilidad va más allá de la faceta técnica.

Con respecto a los indicadores simples que indican el material predominante en las paredes, el techo y el piso, el INE genera distintas categorías en cada caso, por lo que se selecciona dentro de la lista de variables aquellas que indican una menor calidad por cuanto presentan mayor vulnerabilidad ante la amenaza sísmica. Sin embargo, la ausencia de otras categorías de las variables únicamente indica que las otras viviendas tienen mejores materiales de construcción, pero no por ello son menos vulnerables frente a un evento sísmico, al respecto Wilches-Chaux (1993) aclara que:

No existen tales construcciones totalmente anti-sísmicas, en el sentido de que siempre habrá un terremoto de unas características y de una magnitud tales, que podrá destruir cualquier edificación, por bien construida que esta esté. A

lo máximo que se puede aspirar es, entonces, a ampliar el rango de “tolerancia” dentro del cual una estructura es capaz de absorber la energía liberada por un movimiento sísmico, evitando así que este se convierta en desastre

Finalmente, se tiene a las viviendas familiar con más de 29 años de construida (con respecto al año 2011), indicador que permite relacionar la edad de las viviendas con la normas de construcción vigentes al su momento de construcción, en Venezuela hubo modificación de las mismas en los años 1947, 1966, 1967, 1982 y 2002, al respecto Delgado (2007) explica que “La norma COVENIN 1756 – 98 y 2002, mejoran notablemente las consideraciones referentes a la zonificación sísmica de Venezuela”, es por ello que, a partir de cada una se puede establecer que la menor susceptibilidad se atribuye a las edificaciones construidas con la última norma y así sucesivamente, por tanto se consideran vulnerables aquellas viviendas construidas antes del año 1982 por cuanto las normas de construcción que regían a la nación en aquella época no eran las más idóneas (Coronel et al. 2014), además, la edad de una vivienda también indica vulnerabilidad, debido a que con el paso del tiempo es probable que exista un deterioro de los materiales de construcción de ellas.

El último indicador, permite determinar en cuales municipios se tienen más hogares con déficit según calidad de la vivienda, el INE (2013) define esta variable como aquellos hogares que al momento del empadronamiento declararon como tipo de vivienda, rancho, caso de vecindad, tráiler o remolque, embarcaciones, y similares. Finalmente, a partir de las 72 variables presentadas, se procede a construir una “Matriz de Indicadores Simples”, de orden nx72, es decir n individuos (estados, municipios, parroquias) y 72 variables (indicadores simples), se calcula la media aritmética y la desviación típica para cada variable y se procede a tipificar cada una de ellas (formula N° 1), de esta manera se genera una nueva “Matriz de Indicadores Simples tipificados”

Formula N° 1

$$tp = \frac{x_i - Mx}{Sx}$$

x_i valor medido de la variable x para el municipio i

Mx media aritmética de la variable x

Sx desviación típica de la variable x

Cuadro 8.
Ejemplo de Matriz de indicadores simples

	Variable X	Variable Y
Unidad de análisis ₁	Valor x_1	Valor y_1
Unidad de análisis ₂	Valor x_2	Valor y_2
Media aritmética	Mx	My
Desviación típica	Sx	Sy

Cuadro 9.
Ejemplo de Matriz de indicadores simples tipificados

	Variable X_1	Variable Y
Unidad de análisis ₁	$Tp x_1$	$Tp y_1$
Unidad de análisis ₂	$Tp x_2$	$Tp y_2$

La matriz tipificada generada será subdivida en cinco nuevas matrices que tendrán las siguientes características:

- Matriz de Indicadores Simples tipificados de vulnerabilidad física, orden $n \times 11$
- Matriz de Indicadores Simples tipificados de vulnerabilidad social, orden $n \times 17$
- Matriz de Indicadores Simples tipificados de vulnerabilidad económica, orden $n \times 14$
- Matriz de Indicadores Simples tipificados de vulnerabilidad educativa, orden $n \times 7$
- Matriz de Indicadores Simples tipificados de vulnerabilidad técnica, orden $n \times 23$

Los indicadores simples tienen una importancia equivalente al momento de construir los indicadores parciales, es decir, no existe un peso relativo en ellos, los cuales no deben considerarse más o menos importantes con respecto al conjunto de variables, luego, mediante el análisis de los componentes principales se logra “Obtener medidas sintéticas que reflejan la máxima información posible proporcionada por el sistema de partida” (Domínguez et al. 2011) y a su vez, será el método quien le asigne un mayor peso a las variables más altamente correlacionadas con el conjunto de variables restantes en el sistema.

A cada una de las cinco matrices nombradas, se le aplica el Análisis de los Componente Principales (ACP) individualmente para obtener los cinco indicadores parciales de vulnerabilidad, como se explica en el siguiente punto:

2. Aplicación del Análisis de los Componentes Principales para la obtención de los indicadores preliminares, parciales y el índice de vulnerabilidad global

El ACP es una técnica estadística cuya premisa establece que “(...) dadas n observaciones de p variables, se analiza si es posible representar adecuadamente esta información con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales” (Barrios y Siso citando a Peña, 2008), es decir, se trata de sintetizar y dar una estructura a la información contenida en una matriz de datos, y así reducir su dimensionalidad, de modo que se representa la información con un número menor de variables representadas como combinaciones lineales de las variables originales.

Las combinaciones lineales denominadas componentes o factores son las nuevas variables que expresan la información contenida en el conjunto original de datos, cada uno posee un autovalor o valor propio, que son las medidas de inercia captadas por cada componente, de modo que la primera componente será definida por la combinación lineal de las variables originales con varianza máxima; la varianza de la componente es una expresión de la cantidad de información que lleva incorporada (Barrios y Siso, 2010), es decir, cuanto mayor sea su varianza, mayor será la cantidad de información que tendrá dicho factor, además, los componentes son linealmente independientes (no están correlacionados), lo que asegura la estructuración de las variables iniciales, de tal manera que cada una tenga una importancia diferencial y conocida en la explicación de la varianza total.

Es importante resaltar que a continuación solo se hará referencia a los productos finales que genera cada método, mientras que los procedimientos matemáticos-estadísticos relacionados al ACP y posteriormente al AC, no se explicarán por no ser parte fundamental de este artículo, además, dada la cantidad de datos que se procesarán, se recomienda el uso de paquetes estadísticos para aplicar las técnicas de análisis multivariable.

Dicho esto, teniendo en consideración los aspectos teóricos del método, se procede a construir cinco indicadores preliminares, cinco indicadores parciales y finalmente un índice sintético, logrando así medir, definir, clasificar y explicar el comportamiento de la vulnerabilidad y reducir la cantidad de variables que inicialmente se consideran, siendo la única condición para la aplicación del método que los indicadores simples seleccionados para explicar el fenómeno tengan alta correlación entre sí o entre grupos de ellos.

El procedimiento para obtener el primer indicador parcial de vulnerabilidad física es el siguiente:

a. Se debe correr el método ACP solo con las variables consideradas para dicha faceta de la vulnerabilidad, de esta manera se obtendrá el primer componente principal, que tendrá un valor de correlación (r) con cada uno de los indicadores simples de vulnerabilidad física en el intervalo $r \in [-1; +1]$, por tanto cada columna (variable) de la Matriz de Indicadores Simples tipificados de vulnerabilidad física será multiplicado por la correlación que tenga ella con el primer componente principal, de esta manera, variables con una alta correlación se mantendrán representativas en el análisis, mientras que variables con correlaciones cercanas a cero hará que la contribución de las mismas en la construcción del indicador preliminar de vulnerabilidad física se minimice. De esta operación se obtendrá la “Matriz de Indicadores Simples tipificados de vulnerabilidad física multiplicados por la correlación variable-factor”

Cuadro 10.

Ejemplo de la matriz de Indicadores Simples tipificados de vulnerabilidad física multiplicados por la correlación variable-factor

	Variable X	Variable Y
Municipio ₁	$(Tp\ x_1) * r(X, componente_1)$	$(Tp\ x_1) * r(Y, componente_1)$
Municipio ₂	$(Tp\ x_2) * r(X, componente_1)$	$(Tp\ x_2) * r(Y, componente_1)$
Municipio _n	$(Tp\ x_n) * r(X, componente_1)$	$(Tp\ x_n) * r(Y, componente_1)$

b. Posteriormente se realiza una suma horizontal de cada una de los nuevos valores generados en la Matriz de Indicadores Simples tipificados de vulnerabilidad física multiplicados por la correlación variable-factor, y se obtiene una nueva columna denominada: indicador preliminar de vulnerabilidad física, que luego al ser multiplicado por el autovalor del primer componente (el primer valor propio, asociado al primer componente principal, será el que explique la mayor variabilidad total de los datos, por tanto, con la multiplicación se asegura que se conservará la información y variabilidad estadística de las variables altamente correlacionadas) dará como resultado el Indicador Parcial de vulnerabilidad física:

Formula N° 2

$$I_{vf} = \sum x_1 + Y_1 + \dots + z_n$$

Donde I_{vf} corresponde al indicador preliminar de vulnerabilidad física de cada una

de los municipios y X_1, Y_1, Z_n corresponden a las variables, luego:

Formula N° 3

Indicador parcial de vulnerabilidad física = αI_{vf}

Donde α es el autovalor o valor propio de la primera componente principal

El procedimiento descrito en los puntos (a) y (b) se repetirá para las otras cuatro dimensiones de la vulnerabilidad consideradas, obteniendo así los cinco indicadores parciales de vulnerabilidad física, social, económica, educativa y técnica. Por último, el índice sintético multivariable que permite tener una aproximación de la vulnerabilidad global (INDVUL) propuesto para cada unidad de análisis (estado, municipio o parroquia), es una combinación lineal de los indicadores de vulnerabilidad física, social, económica, educativa y técnica. El índice sintético es el resultado de la suma los indicadores parciales:

Formula N° 4

$$INDVUL = \alpha I_{VF} + \beta I_{VS} + \gamma I_{VE} + \delta I_{VD} + \varepsilon I_{VT}$$

Donde INDVUL es el índice sintético multivariable de vulnerabilidad global para cada unidad territorial y I_{vf} , I_{vs} , I_{ve} , I_{vd} y I_{vt} son los indicadores preliminares de vulnerabilidad física, social, económica, educativa y técnica respectivamente, multiplicados por, α , β , γ , δ , ε , letras griegas que representan los autovalores correspondientes a sus respectivos primeros componentes principales.

De cada uno de los indicadores parciales de vulnerabilidad, se puede afirmar que:

Cuadro 11.
Interpretación de los indicadores construidos

Indicador	Interpretación
Vulnerabilidad física	Permite delimitar aquellas zonas donde se tenga mayor exposición a la amenaza.
Vulnerabilidad social	Permite estudiar la distribución de los grupos poblacionales más propensos a sufrir los efectos de un evento sísmico, así como de los hogares hacinados y sin tecnologías
Vulnerabilidad económica	Permite apreciar las diferencias en la fragilidad económica que poseen los habitantes emplazados en los distintos centros poblados de las unidades de análisis consideradas, que afecta la recuperación de los mismos, porque genera una incapacidad de reaccionar de forma adecuada cuando se concreta una amenaza sísmica, y en segundo lugar, debido a un déficit en el acceso a los servicios básicos conlleva a tener poco bienestar social y nivel de desarrollo.
Vulnerabilidad educativa	Logra establecer la magnitud del analfabetismo y de los demás inconvenientes que conllevan a un aumento de la vulnerabilidad debido a que, al no tener acceso a la educación formal, se imposibilita la adquisición de las aptitudes necesarias para sobreponerse en caso de un sismo. Así mismo, la persistencia de la deserción escolar y del analfabetismo, genera problemas económicos que en definitiva conllevan al retraso regional, y a la existencia de vulnerabilidades sociales, económicas y técnicas.
Vulnerabilidad técnica	Resume la información acerca de los distintos diseños estructurales presentes en la entidad, así como de la baja calidad de los materiales que predisponen a las viviendas a sufrir daños en caso de un evento sísmico, categorizando los espacios según la imposibilidad para recuperar las condiciones normales de vida por cuanto en caso de un evento sísmico, se verán afectadas las estructuras donde reside la población, es decir, con él se categoriza la fragilidad.

Gabriel Fernández

Ahora bien, a partir del ACP en las cinco dimensiones de la vulnerabilidad descritas hasta ahora se ha logrado una reducción de las 72 variables iniciales en cinco nuevas variables consideradas como indicadores parciales de cada faceta de la vulnerabilidad, durante este procedimiento se perdió información de algunas de ellas, pero se logró caracterizar y categorizar las dimensiones de la vulnerabilidad.

Asimismo, los valores de los cinco indicadores preliminares y parciales así como del índice global son adimensionados, cuya magnitud es el resultado de la suma de los

distintos indicadores simples tipificados y ponderados en función de la correlación que posee la variable con el primer factor generado en el ACP en cada caso. Las diferencias generadas entre una y otra categoría están en función de la magnitud y la contribución de las variables.

Es importante resaltar que el ACP no permite zonificar, únicamente categorizar en cuales estados/municipios/parroquias se tiene un mayor o menor nivel de vulnerabilidad, por lo tanto, el siguiente método utilizado será el análisis clúster, técnica multivariable que tiene como objetivo, conglomerar a los individuos en grupos homogéneos en función de sus similitudes, donde cada uno estará constituido por un conjunto de individuos parecidos entre sí, y diferentes al resto. El procedimiento será el siguiente:

3. Aplicación del Análisis Clúster

El análisis clúster permite agrupar a los individuos (unidades de análisis) con nivel de vulnerabilidad similar, sintetizando el fenómeno en cinco nuevas categorías de clasificación (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), que expresan de forma simple cuales son aquellas áreas en situación crítica en caso de un evento sísmico, siendo este el producto final de la metodología. Para ello se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se construye una nueva matriz de orden $n \times 5$, donde n corresponde al número de filas (individuos) y las cinco columnas corresponden a los valores de los indicadores parciales de vulnerabilidad física, social, económica, educativa y técnica generados previamente mediante el ACP.
2. Se aplica un criterio de agrupación jerárquico, mediante el cual se agrupan los individuos sucesivamente hasta crear cinco conglomerados. La clasificación está en función de dos ejes factoriales que son seleccionados según el aporte de los factores en la inercia total de los datos:

Las clases generadas (muy alta, alta, moderada, baja, muy baja) están localizadas en un plano cartesiano, la cercanía o lejanía entre cada una de ellas, así como su distancia euclídea con respecto al centro de gravedad, indican similitudes o diferencias en el comportamiento de las variables que definen la vulnerabilidad global. Asimismo, cada uno de los individuos también poseen coordenadas, y se distribuyen en torno a las cinco clases, teniendo cada uno de ellos una distancia con respecto al centro de la clase al cual fue asignando mediante el método de agrupación, por tanto, en el plano factorial será apreciable la distribución de cada uno de los elementos.

Finalmente, otro componente que permite visualizar gráficamente este proceso es el dendograma donde se apreciará la conexión mediante enlaces de los individuos en los cinco clúster, los cuales serán homogéneos internamente en lo que respecta al comportamiento estadístico de las variables y por lo tanto de la vulnerabilidad, y heterogéneo con respecto a las clases restantes.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA METODOLOGÍA

La presente metodología es aplicada por Fernández (2016) en el estado Sucre, utilizando como unidad de análisis la división político municipal de la entidad, sin embargo, la misma bien podría ser realizada con una división político territorial parroquial, aumentando con ello el nivel de desagregación espacial al momento de diferenciar los espacios vulnerables.

De los resultados obtenidos en dicha investigación surgen algunas inquietudes que deben ser consideradas, la primera de ellas es que la metodología establece que se requiere de un indicador asociado al nivel de amenaza sísmica cuya unidad de análisis corresponda con la unidad de análisis de los indicadores simples restantes. Sin embargo, el dato utilizado en esa oportunidad corresponde a un nivel de amenaza sísmica generado previamente por Montezuma (2010), cuya zonificación está demarcada mediante los límites municipales, asumiendo que el fenómeno abarca de forma homogénea la extensión de cada unidad territorial, sin hacer distinción de las características inherentes al espacio geográfico, ya que en ella se utiliza una división político territorial, creada por el hombre, para zonificar un fenómeno físico que desconoce algún tipo de delimitación social.

Asimismo, en la figura N° 4 es apreciable como al superponer el sistema de fallas y la sismicidad histórica sobre las categorías de clasificación creadas por Montezuma (2010), no existe concordancia entre las características geoestructurales y la zonificación sísmica presentada. Por tanto, esto puede conllevar a errores de interpretación sino se analiza de manera adecuada, es por ello que, en este caso, el índice de amenaza sísmica solo debe ser utilizado como una referencia inicial, requerido por el método, más no como un resultado que refleja fehacientemente el comportamiento real de la amenaza sísmica en la región.

Dicho esto, mediante el índice de vulnerabilidad global generado (cuadro N° 12, figura N° 5) se obtiene una medida que permite tener una aproximación al comportamiento del fenómeno, el cual no es más que la suma de los indicadores parciales de vulnerabilidad física, social, económica, educativa y técnica.

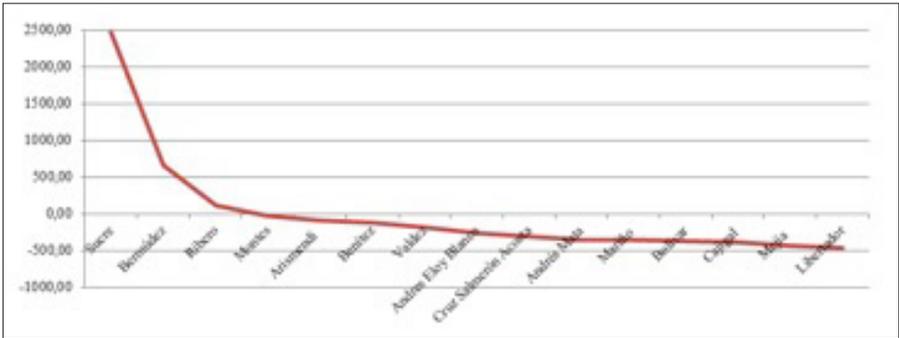
Cuadro 12.**Construcción del Índice global de vulnerabilidad antes eventos sísmicos**

	IPARVF	IPARVS	IPARVEC	IPARVED	IPARVT	INDVUL
Andrés Eloy Blanco	-22,7	-84,0	-53,6	-17,2	-78,7	-256,2
Andrés Mata	-29,4	-106,3	-50,5	-26,5	-137,8	-350,5
Arismendi	-14,4	-16,7	-2,2	-5,1	-41,0	-79,4
Benítez	-13,8	-65,7	-11,3	-11,8	-8,4	-111,0
Bermúdez	45,1	239,4	120,7	41,0	228,9	675,1
Bolívar	-26,2	-66,3	-82,5	-26,6	-155,5	-357,0
Cajigal	-28,6	-105,2	-72,5	-23,5	-153,5	-383,2
Cruz Salmerón Acosta	-19,3	-60,9	-60,4	-10,4	-156,0	-306,9
Libertador	-36,7	-108,0	-95,3	-34,0	-186,3	-460,3
Mariño	-28,0	-99,1	-64,7	-19,5	-143,8	-355,1
Mejía	-31,2	-105,2	-82,3	-31,8	-173,9	-424,4
Montes	-12,2	-12,9	15,2	8,4	-13,7	-15,4
Ribero	14,9	7,8	48,4	13,2	30,4	114,6
Sucre	217,2	627,9	411,9	154,2	1072,1	2483,3
Valdez	-14,8	-44,8	-21,0	-10,3	-82,9	-173,7

Fuente: Fernandez (2016)

Luego, en la figura N° 2, se presentan cada uno de los individuos ordenados crecientemente en función de su índice de vulnerabilidad global, en ella se aprecia como la mayor parte de las características de la estructura social que conlleva a tener población vulnerable se concentra en tres municipios, los cuales sesgan el análisis por concentrar en ellos el 60% de la población, teniendo además los mayores niveles en cada faceta estudiada. Luego, a partir de la cuarta categoría la pendiente se suaviza, siendo esto un indicio de la homogeneidad que presentan el resto de los municipios frente al fenómeno en cuestión, siendo en ellos donde será apreciable que no existe una relación de dependencia entre las 5 facetas descritas: un municipio puede tener una alta vulnerabilidad física, pero no necesariamente tendrá una alta vulnerabilidad social, educativa, económica o técnica, es decir, la exposición, fragilidad y poca resiliencia en un municipio se agudiza en determinada faceta de la vulnerabilidad pero se disminuye en alguna otra faceta

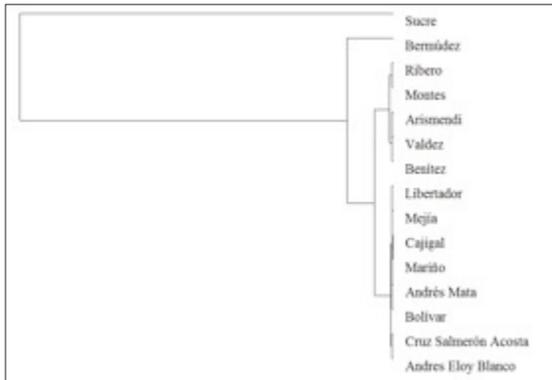
Figura 2.
Índice Global de vulnerabilidad ante eventos sísmicos



Gabriel Fernández

Por su parte, mediante el análisis clúster se aprecia un mejor acercamiento al comportamiento de las variables en la entidad al permitir agrupar a los municipios en función de los cinco indicadores parciales creados, cada categoría tiene características homogéneas internamente y heterogéneas con el resto de los individuos (figura N° 6), es decir, cada una de las particiones generadas será homogénea internamente en lo que respecta al comportamiento estadístico de las variables y por lo tanto de la vulnerabilidad, y heterogénea con respecto a las otras, de esta manera se sintetiza la vulnerabilidad global, que no es más que el resultado de la interacción de distintos elementos que conllevan a tener poblaciones más o menos expuestas en caso de un evento sísmico.

Figura 3.
Dendrograma

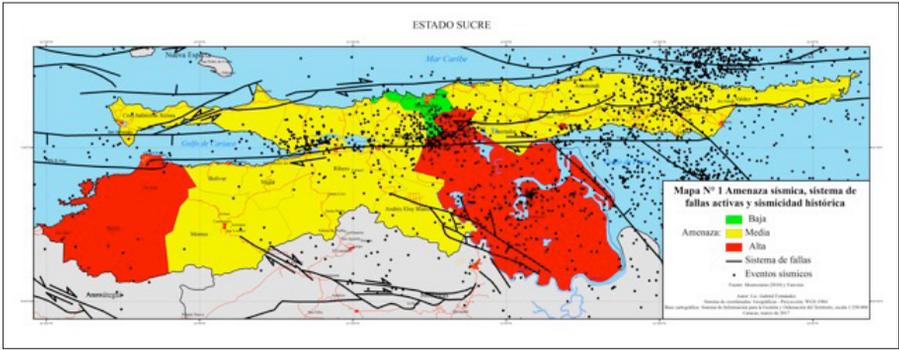


Con respecto a la zonificación de la vulnerabilidad generada, previamente se hizo la crítica acerca de cómo el uso de la división político territorial municipal para zonificar niveles de amenaza sísmica es inadecuado, ahora, a esto debe sumársele el hecho de que delimitar áreas vulnerables utilizando únicamente la división municipal conlleva a asumir que en un mismo espacio definido siguiendo criterios político territoriales se tiene un mismo valor del indicador de vulnerabilidad de forma homogénea en toda su extensión, esto genera conflictos en la interpretación que deben tenerse en consideración a partir de este punto, ya que la unidad de análisis no especifica la localización de los centros poblados donde efectivamente se emplazan los grupos poblacionales que están expuestos a la amenaza sísmica, por tanto, esta sería la mayor limitante de la metodología, ya que se asumirá un valor de vulnerabilidad a nivel municipal en el estado Sucre, existiendo en él tantas zonas des pobladas en las cuales conceptualmente no existe vulnerabilidad.

Es por ello que con los indicadores propuestos solo se logró identificar cuáles son los municipios socio-económicamente más vulnerables sin especificar la localización de los centros poblados donde efectivamente se encuentra la población expuesta a la amenaza. Si se desea solventar y/o mejorar esta interpretación, una vez ejecutado los dos métodos multivariantes se recomienda realizar un análisis del espacio que permita en primer lugar, obtener una zonificación de la amenaza sísmica que se adecue a los elementos físico-naturales que la definen, y en segundo lugar, determinar las áreas dentro de los municipios en las cuales se encuentra asentada la población.

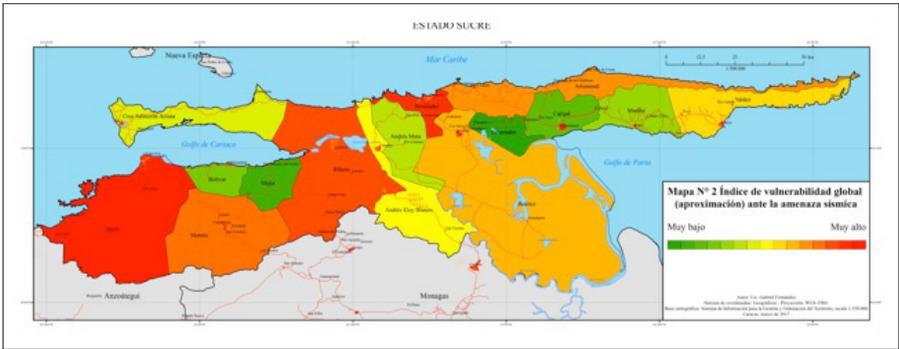
En base a las consideraciones expuestas, en este caso los indicadores parciales elaborados con información levantada a nivel municipal mediante el ACP o la zonificación generada por medio del AC permiten medir, definir, clasificar y explicar el comportamiento de la vulnerabilidad presente en los municipios estudiados, específicamente en los centros poblados asociados a ellos (capitales y su periferia), donde realmente se asienta la población.

Figura 4.
Amenaza sísmica y sistema de fallas activas y sismicidad histórica.



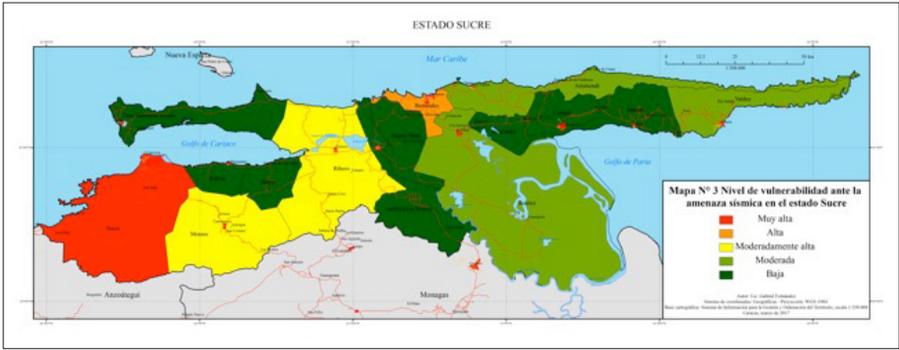
Fuente: Montezuma (2010) y Funvisis (2002)

Figura 5.
Índice de vulnerabilidad global (aproximación) ante la amenaza sísmica



Fuente: Fernández (2016)

Figura 6.
Nivel de vulnerabilidad ante la amenaza sísmica en el estado Sucre.



Fuente: Fernández (2016)

CONCLUSIONES

La vulnerabilidad ante eventos sísmicos está en función de la distribución y magnitud de las distintas características que posee la estructura social que conllevan a tener mayor o menor cantidad de habitantes expuestos, frágiles y poco resilientes en determinados espacios, es decir, es un fenómeno multivariado que es de difícil compatibilización debido a su multidimensionalidad, por lo que el uso de técnicas estadísticas multivariantes para su estudio simplifica el análisis debido a que permite generar un índice global que permite categorizar a la vulnerabilidad en sus múltiples facetas.

Es por ello que a partir del análisis de los componentes principales sobre los 72 indicadores simples, se logra la construcción de cinco indicadores parciales de vulnerabilidad física, social, económica, educativa y técnica, esto tiene como ventaja reducir el número de variables a solo 5 que explican un alto porcentaje de la variabilidad de los datos originales, haciendo más sencillo la interpretación. Además, se obtiene un índice sintético que ofrece una aproximación a la vulnerabilidad global y que finalmente resume el comportamiento estadístico de las variables.

Ahora bien, desde una perspectiva académica y científica, la metodología multivariable propuesta para el análisis y síntesis de las variables que definen la vulnerabilidad ante la amenaza sísmica, aun cuando posee ciertas restricciones, se presenta como una de las más útiles para ese tipo de estudios, y es la que logra acercarse de manera objetiva y holística en la valoración de vulnerabilidad. Asimismo, con ella

se busca la inclusión de métodos estadísticos multivariantes en el estudio del espacio geográfico, tendencia poco desarrollada en la Escuela de Geografía de la UCV.

Por su parte, el valor social de la metodología recae en que la misma permitirá identificar, por medio de los indicadores generados, cuáles son las áreas donde se encuentran los centros poblados con los niveles de vulnerabilidad más altos, y de esta forma contribuir con investigaciones futuras que busquen establecer estrategias y acciones para la reducción de la vulnerabilidad. Por tanto, los resultados obtenidos mediante la aplicación de las técnicas multivariantes presentadas, van dirigidos a profesionales y estudiantes quienes podrán realizar nuevos estudios, ya sea utilizando metodologías para el análisis de vulnerabilidad con un mayor nivel de detalle, o de gestión de riesgo.

Con respecto al conjunto de indicadores simples, debe tenerse en consideración que el método es sensible a las mínimas variaciones en alguna de sus variables, por lo tanto es probable que si se aplica de manera simultánea en dos regiones diferentes, los factores creados no estén conformados por los mismos indicadores simples, ya que la contribución de cada variable está en función de la correlación, parámetro estadístico que es posible que varíe al cambiar el espacio estudiado, es decir, cada combinación de indicadores es propia de un territorio.

Asimismo, la metodología desarrollada puede ser adaptada a investigaciones similares siempre y cuando se tenga en cuenta que la unidad espacial que se utilice para estudiar el fenómeno debe ser coherente con respecto a los resultados que esperan obtenerse para evitar errores de interpretación al momento de zonificar. Se recomienda utilizar unidades de análisis que permitan desagregar los espacios de manera idónea, como por ejemplo las divisiones parroquiales.

Finalmente, las variables y procedimientos, aquí descritos deben ser continuamente revisados, enriquecidos y estudiados, por lo que es recomendable en futuras investigaciones primero, incluir variables que si bien no se levantadas en los censos de población y vivienda, puede servir para abordar otras dimensiones de la vulnerabilidad no desarrollados en esta investigación, como es el caso del número de establecimientos de salud y de educación para cada unidad territorial, esto permitiría evaluar la preparación que posee un municipio para hacerse cargo de las atenciones de emergencia. En segundo lugar, en vista de que los últimos datos oficiales que se tienen son para el año 2011, se desconoce así la problemática, cambios históricos, políticos y sociales en los últimos 6 años, es recomendable para venideras investigaciones la aplicación de estudios multitemporales que permitan establecer un punto de comparación con la finalidad de observar los cambios que sufre la población en cuanto a sus niveles de vulnerabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRIOS, P. y SISO, E. (2008). Análisis comparativo de los niveles de vida en los municipios del estado Guárico, Región Central, Venezuela, período 2001- 2006. Documento en línea. *Terra*, 24(35), 13-38. Disponible en: http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892008000100002 [Consultado: 2015 enero 21]
- BARRIOS, P. y SISO, E. (2010). El delito en el municipio Libertador, Analizado desde una perspectiva Multivariable Año 2001. Documento en línea. *Terra*, 26(39), 125-146. Disponible en: http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1012-70892010000100007 [Consultado: 2015 enero 21]
- CORONEL, G., LÓPEZ, O., PEREIRA, R., MARINES, O., CABRERA, N., FUENTES, G. (Marzo de 2014). Indicadores de vulnerabilidad y riesgo sísmico a partir de la información censal de Venezuela. II Congreso Internacional de Ingeniería estructural y sismorresistente. Congreso llevado a cabo en Valencia, Venezuela.
- DELGADO, J. (2007). La vulnerabilidad humana: del paradigma de la resistencia al paradigma de la resiliencia (Tesis doctoral). Facultad de Arquitectura, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- DOMÍNGUEZ, M., BLANCAS, F., GUERRERO, F., GONZÁLEZ, M. (2011). Una revisión crítica para la construcción de indicadores sintéticos. Documento en línea. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, 11, 41-70. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=233118302004> [Consultado: 2015 enero 21]
- FERNANDEZ, G. (2016). Estudio de la vulnerabilidad ante la amenaza sísmica en el estado Sucre, mediante la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes (Trabajo de Licenciatura). Facultad de Humanidades y Educación, Universidad Central de Venezuela. Caracas
- FUNDACIÓN VENEZOLANA DE INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS. (2002), *La investigación sismológica en Venezuela*, Caracas, Venezuela: Edición de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

- GONZALES, L. (2010). Sociedad del riesgo y vulnerabilidad social: miedos e incertidumbre en la parroquia Candelaria de Caracas (Trabajo de Licenciatura). Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad central de Venezuela. Caracas
- GONZÁLEZ, N. (2013). Gestión de riesgos siconaturales en Venezuela. Propuestas para una sociedad segura. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Central de Venezuela. Caracas
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. (2013). Fichas técnicas de indicadores sociodemográficos censo 2011. Documento en línea. Disponible en: http://www.redatam.ine.gob.ve/redatam/Pdf/FT_Xplan_Ve11.pdf [Consultado: 2016 febrero 5]
- LAVELL, A., (2002). “Desastres urbanos: una visión global”. Documento en línea. En Lavell M. *Riesgos Urbanos*. San Salvador, El Salvador: Istmo Editores.
- LEAL, A. (2008). Viviendo en escombros: Análisis de vulnerabilidad global para el caso del terremoto de El Tocuyo del 3 de agosto de 1950 (Trabajo de licenciatura). Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Central de Venezuela. Caracas
- MADRIGAL, P., FALLAS, J., SÁNCHEZ, R., LAVELL, A., MENESES, L. (1991). Costa Rica: marco institucional, legislación, estrategias, políticas e instrumentos para la prevención, mitigación y atención de desastres. Documento en línea. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Heredia, Costa Rica. Disponible en: <http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc1203/doc1203.htm> [Consultado: 2015 enero 10]
- MARTÍNEZ, R. Y FERNÁNDEZ A. (2010). Impacto social y económico del analfabetismo: modelo de análisis y estudio piloto. Documento en línea. Comisión Económica para América Latina y el Caribe: Santiago de Chile, Chile. Disponible en: http://www.oei.es/pdf2/impacto_social_economico_analfabetismo.pdf [Consultado: 2016 febrero 2]
- MONTEZUMA, D. (2010). Determinación de áreas de riesgo sísmico, estado Sucre, Venezuela (Trabajo de maestría). Facultad de Humanidades y Educación, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

- RACZYNSKI D., ESPINOSA V., OSSANDON J., RUIZ C., ARIZTIA T., VALLE M., FERNANDEZ L. (2002). Procesos de deserción en la enseñanza media. Factores expulsores y protectores. Instituto Nacional de La Juventud Gobierno de Chile. Documento en línea. Disponible en: http://extranet.injuv.gob.cl/cedoc/Estudios%20del%20INJUV/Estudios_No_4_en_Capitulos/Estudios_del_INJUV_Vol_4%20_enCapitulos/Procesos_de_Desercion_en_la_Ensenanza_Media_2 [Consultado: 2016 febrero 2]
- RUIZ, M. Y GRIMALT, M. (2012). Análisis de la vulnerabilidad social frente a desastres naturales: el caso de la isla de Mallorca. Documento en línea. *Revista Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 4(4), 1-26. Disponible en: <http://www.gesig-proeg.com.ar/documentos/revista-geosig/2012/Investigacion/01-RUIZ-GRIMALT-GOESIG4-2012.pdf> [Consultado: 2015 enero 10]
- VERGARA, R. (2011). Vulnerabilidad social y su distribución espacial: el caso de las entidades federativas de México (1990-2010). Documento en línea. *Paradigma económico*, 3(2), 85-111. Disponible en: <http://www.uaemex.mx/feconomia/005d.pdf> [Consultado: 2015 enero 10]
- WILCHES-CHAUX, G. (1993). La Vulnerabilidad Global. Documento en Línea. Compilado en Maskrey, A. *Los desastres no son naturales*, Ciudad de Panamá, Panamá: Edición Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Disponible en: <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf> [Consultado: 2015 enero 10]

GABRIEL FERNÁNDEZ. Licenciado en Geografía, UCV. (2016), obtuvo el Premio Especial de Graduación por su desempeño académico durante sus estudios de pregrado. Fue Preparador de las asignaturas obligatorias Climatología I (2012-2014) y Climatología II (2013-2014) de la Escuela de Geografía, UCV. Actualmente profesor de la Cátedra de Climatología de la misma Escuela.

geogabrielfernandez@gmail.com

