



## EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL EN LAS ÁREAS EXPUESTAS A RIESGOS TECNOLÓGICOS

Lisette Concepción Maure<sup>1</sup>

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba - Facultad Ingeniería Mecánica e Industrial  
[lissette@uclv.cu](mailto:lissette@uclv.cu)

Abel Goya Valdivia<sup>2</sup>

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba - Centro de Estudio de Química Aplicada  
[abelgv@uclv.edu.cu](mailto:abelgv@uclv.edu.cu)

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Lisette Concepción Maure y Abel Goya Valdivia (2017): "Evaluación de la vulnerabilidad social en las áreas expuestas a riesgos tecnológicos", Revista OIDLES, n. 23 (diciembre 2017). En línea: <http://www.eumed.net/rev/oidles/23/vulnerabilidad-social.html>

### RESUMEN

La evaluación de la vulnerabilidad social ante un accidente tecnológico determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño de los elementos expuestos. Estimar la capacidad de un sistema para absorber o agravar el impacto de un suceso, permite orientar la planificación de políticas públicas de prevención y mitigación. El presente artículo propone un modelo para estimar el agravamiento del impacto ante un accidente en función de la vulnerabilidad existente en las áreas expuestas. El modelo considera la inexistencia de valores absolutos de los descriptores, teniendo en cuenta la incertidumbre y subjetividad asociada. Esto facilita la valoración de los expertos sobre las condiciones del medio, y el procesamiento de variables y calificaciones lingüísticas. Para mostrar su aplicabilidad se ha elegido el área probable de afectación del almacén tecnológico de gas licuado del petróleo, Santa Clara, Cuba. El análisis de los descriptores de vulnerabilidad arroja que el nivel de agravamiento del impacto ante un evento de riesgo en esta área es de 1,29 veces el valor de consecuencias iniciales, dada la vulnerabilidad social existente.

**Palabras claves:** accidentes tecnológicos - agravamiento del impacto - evaluación holística del riesgo – incertidumbre en la toma de decisiones - vulnerabilidad social.

**Clasificación JEL:** D81, Q51

### ABSTRACT

The assessment of social vulnerability to a technological accident determines the degree of susceptibility and predisposition to damage of the exposed elements. Estimating the capacity of a system to absorb or aggravate the impact of an event, allows guiding the planning of public policies of prevention and mitigation. The present article proposes a model to estimate the aggravation of the impact before an accident due to the vulnerability existing in the exposed areas. The model considers the absence of absolute values of the descriptors, taking into account the uncertainty and associated subjectivity. This facilitates the assessment of the experts on the conditions of the environment, and the processing of variables and linguistic

<sup>1</sup> Ingeniera Industrial. Cursa la Maestría Informática para la Gestión Medioambiental. Profesor Instructor en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

<sup>2</sup> Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Director del Centro de Estudios de Química Aplicada.

qualifications. In order to show its applicability, has been chosen the probable area of affectation to store of the liquefied petroleum gas technology, Santa Clara, Cuba. The analysis of vulnerability descriptors showed that the level of aggravation of the impact to a risk event in this area is 1.29 times the value of initial consequences given the existing social vulnerability.

**Keywords:** technological accidents - aggravation of impact - holistic risk assessment - uncertainty in decision-making - social vulnerability.

**JEL Classification:** D81, Q51

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria moderna se caracteriza por un continuo crecimiento de la potencia unitaria de sus instalaciones, con el objetivo de alcanzar mejores rendimientos. Independiente del desarrollo científico-técnico, el aumento del grado de complejidad de los procesos tecnológicos que acompañan su evolución genera condiciones de riesgo y vulnerabilidad en la sociedad y el medio natural que actúa como soporte de la misma. Esta situación se amplifica por el crecimiento demográfico que conlleva a una urbanización no planificada cercana al sector industrial.

Ante esta realidad, el paradigma de la gestión del riesgo tecnológico y el enfoque conceptual – económico, social y ambiental– que lo subyace, han evolucionado desde el punto de vista teórico de una manera notable. Este campo de investigación aporta relevantes elementos de análisis, en un momento donde el progreso tecno-científico representa contantemente el ascenso a una “sociedad de riesgo”.

El riesgo tecnológico se ha intentado evaluar, para efectos de su gestión, como las posibles consecuencias económicas, sociales y ambientales que pueden ocurrir en un lugar y en un tiempo determinado como consecuencia del funcionamiento deficiente o accidente de una tecnología aplicada en una actividad (Bosque et al., 2004). Para evaluar el riesgo es necesario estimar el daño físico esperado, las víctimas o pérdidas económicas equivalentes, y los factores sociales relacionados con las comunidades expuestas (Cardona y Hurtado, 2000). Este proceso metodológico considera el desastre como un evento socioambiental cuya materialización es el resultado de la construcción social del riesgo (Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), 2005).

La gestión de riesgo tecnológico no está solo orientada a la reducción del mismo, sino a la comprensión que en términos sociales se requiere de la participación de los diversos estratos, sectores de interés y grupos representativos de conductas y modos de vida, para comprender como se construye un riesgo social. Bosque et al. (2002) plantea que no se trata simplemente de reducir la vulnerabilidad, sino la búsqueda de acuerdos sociales para soportar o utilizar productivamente los impactos, sin eliminar la obtención inmediata de beneficios.

El riesgo tecnológico y la vulnerabilidad del sistema ante un accidente probable se han convertido en la noción clave sobre la que pivotan gran parte de los diagnósticos sociales (económicos, políticos, técnicos, jurídicos o sociológicos). Actualmente no existen indicadores ampliamente aceptados para evaluar la vulnerabilidad de un área afectada ante un evento tecnológico (Carreño et al., 2006; Cardona, 2008; Barbat et al., 2011; Bohórquez, 2013). En este marco, es necesario mejorar la presentación y uso de la información, para la formulación de políticas de inversión en prevención, mitigación y recuperación de catástrofes. Así como, proporcionar instrumentos de medida de la vulnerabilidad en el territorio y su capacidad de gestión, con objeto de evaluar los efectos de las políticas públicas desarrolladas.

Desde el punto de vista conceptual, técnico-científico, es un desafío medir la vulnerabilidad ante accidentes tecnológicos mediante un índice representativo y robusto, para la formulación de políticas a nivel empresarial y territorial (IDEA, 2005). Esto se debe, a la complejidad de lo que se espera reflejar, el gran cúmulo de datos y el grado de incertidumbre y subjetividad relacionado con este tipo de estudio (Darbra y Casal, 2008).

Puesto que la vulnerabilidad ante accidentes tecnológicos es un problema visible al que se enfrentan las sociedades, comprender y analizar la situación desde un enfoque que considere todos los factores implicados, permite encaminar de mejor manera la elaboración de las políticas públicas. Un índice de vulnerabilidad multidimensional permitirá no solo definir y categorizar la vulnerabilidad de un área, sino ser un instrumento de apoyo a la acción pública para destinar recursos y establecer políticas de prevención y mitigación de catástrofes.

En el presente artículo se realiza un análisis descriptivo explicativo sobre los diferentes conceptos de vulnerabilidad, esquematizando sus criterios de medición ante accidentes

tecnológicos. Se propone un índice que permita estimar el agravamiento del impacto ante un accidente tecnológico analizada la vulnerabilidad territorial en las áreas expuestas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Análisis conceptual de la vulnerabilidad ante accidentes tecnológicos

Las investigaciones sobre los riesgos tecnológicos, comúnmente consideran que su magnitud es consecuencia de la interacción de los siguientes factores:

- localización, volumen, probabilidad de ocurrencia de accidentes y características de peligrosidad de la actividad que se considera fuente de riesgo,
- características del área expuesta a un accidente potencial y condiciones del medio físico para propagar sus efectos,
- grado de vulnerabilidad de los posibles receptores del daño.

La vulnerabilidad es considerada como la predisposición intrínseca o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o sufrir daños en caso que un fenómeno desestabilizador de origen natural o antropogénico se manifieste. La diferencia de vulnerabilidad del contexto y material expuesto ante un fenómeno peligroso determina el carácter selectivo de la severidad de los efectos de dicho fenómeno (Díaz Muñoz y Díaz Castillo, 2002; Ruíz, 2011).

Según el modelo conceptual de riesgo propuesto por Cardona (2001) una evaluación holística del riesgo constituye una función de un conjunto de factores de vulnerabilidad, algunos de ellos caracterizan la vulnerabilidad física y otros las condiciones del contexto. La vulnerabilidad física representa el daño esperado en las infraestructuras, el número de víctimas, las pérdidas económicas y medioambientales (efectos de primer orden). Mientras que la vulnerabilidad del contexto depende del grado de exposición, fragilidad social y la falta de resiliencia que favorecen que se produzcan los daños (efectos de segundo orden). Este enfoque es esquematizado por (Carreño et al., 2014) como se muestra en la figura 1.

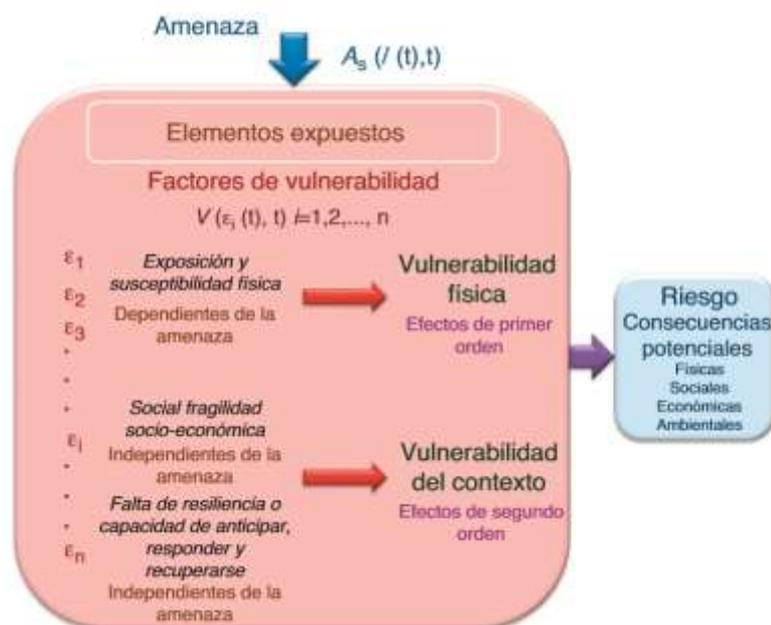


Figura 1. Marco conceptual de un enfoque holístico para la evaluación del riesgo de desastres.  $I$  es la intensidad del evento,  $V$  es la vulnerabilidad y  $\epsilon_i$  son los factores de vulnerabilidad. Fuente:(Carreño et al., 2014)

Aceptando la hipótesis de que existe una alta relación entre las carencias de desarrollo y el agravamiento del impacto de un suceso peligroso en un área Cardona (2006) propone los siguientes factores que condicionan la vulnerabilidad:

- a) Exposición: es la condición de susceptibilidad que tiene el asentamiento humano de ser afectado por su ubicación en el área de influencia de los fenómenos peligrosos.
- b) Fragilidad social: predisposición que surge como resultado del nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socioeconómicos.
- c) Falta de resiliencia: expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto y reponerse a este.

Este tipo de planteamiento intenta integrar de manera holística la lectura de las ciencias físicas y las ciencias sociales, con el fin de tener una visión completa de los factores que originan o exacerbaban la vulnerabilidad, teniendo en cuenta los aspectos de resistencia física ante los fenómenos y los aspectos prevalecientes de autoprotección individual y colectiva.

Por definición, un territorio expuesto ante un accidente tecnológico es un territorio vulnerable. En el proceso de evaluación, la frecuencia histórica de episodios catastróficos suele considerarse un factor que acrecienta su probabilidad de ocurrencia. Por ello, la frecuencia de desastres pasados de forma indirecta también es un indicador de vulnerabilidad (Vázquez y Méndez, 2011).

El análisis, estimación y traducción de las amenazas o peligros, en un escenario específico, constituyen la base para la identificación de la vulnerabilidad. No se es vulnerable si no existe una amenaza, mientras que el grado de susceptibilidad de un escenario depende de la severidad de las mismas. Por ello es fundamental la realización de estudios con enfoque de multiamenazas, que permitan delimitar todos los peligros y vulnerabilidades, identificar elementos comunes a las mismas, y jerarquizar los factores de vulnerabilidad.

Los elementos del territorio responden de distintas formas a los eventos de naturaleza catastrófica en función de sus características internas. La vulnerabilidad intrínseca está asociada a los elementos, como concepto multidimensional en cuyo análisis participan multitud de factores, por ejemplo: edad, tipo de estudios, sexo, etnia, nivel económico. La vulnerabilidad territorial de tipo social tiene una importancia transcendental en el efecto real de los eventos de riesgos. La estructura social que se asienta sobre un espacio condiciona en gran medida su propia vulnerabilidad y capacidad de hacer frente. Existe una estrecha relación entre la vulnerabilidad intrínseca de los elementos y el nivel de severidad del evento. Así, los efectos producidos por un evento de baja magnitud podrán ser más mitigables que eventos de alta intensidad.

En los países en desarrollo la vulnerabilidad social es, en la mayoría de los casos, la causa de las condiciones de vulnerabilidad física. A diferencia de la amenaza que actúa como agente detonante, la vulnerabilidad social es una condición que se gesta, acumula y permanece de forma continua en el tiempo. Por esta razón se hace necesario el conocimiento acerca de la percepción individual y colectiva del riesgo. Así como, las características culturales, de desarrollo y organización que favorecen o impiden su prevención y mitigación.

Debido a los enfoques de las diferentes disciplinas relacionadas, existe una alta fragmentación que no ha permitido concluir una teoría consistente y coherente del riesgo tecnológico y la vulnerabilidad territorial desde la perspectiva de los desastres. Parte de las dificultades para lograr una gestión efectiva del riesgo ha sido la falta de una concepción integral que facilite su estimación e intervención desde una perspectiva multidisciplinaria (Cardona, 2008). En otras palabras, la ausencia de una teoría holística del riesgo, desde el punto de vista de los desastres tecnológicos, ha contribuido en parte a que el problema crezca a una velocidad mayor que la velocidad de sus soluciones.

## **2.2 Criterios para medir la vulnerabilidad territorial ante un accidente tecnológico**

Los principales retos en la investigación de la vulnerabilidad social se basan en el desarrollo de indicadores apropiados a este tipo de conceptos, los cuales hasta el momento resultan ambiguos y complejos. Un elemento esencial a considerar son las dimensiones espacio-temporales de la vulnerabilidad, así como a la aplicabilidad en la investigación para ordenar los territorios y planificar acciones de emergencias.

Los indicadores deben expresar mediante un valor la información sintetizada que proporcionan los diversos parámetros o variables que afectan el área que se quiere analizar. A través de la comparación de los indicadores se puede observar la evolución en el tiempo y estudiar tendencias acerca de la situación que se mide y/o contrastar la diversidad entre los espacios. No existe un indicador que resuelva la totalidad de posibilidades que se despliegan sobre la

temática. Esta característica es consecuencia de la naturaleza polisémica del término, y de sus atributos, ya que se es vulnerable dependiendo de las amenazas que influyen sobre un ente.

Entre las dimensiones de vulnerabilidad más abordadas en la literatura se encuentran:

a) Dimensión física: expresa las características de ubicación de las áreas propensas, las deficiencias de resistencia de los elementos expuestos y sus capacidades para absorber la acción del suceso que representa la amenaza.

b) Dimensión económica: los sectores económicamente más deprimidos son los más vulnerables. Al nivel local e individual este aspecto se expresa en desempleo, insuficiencia de ingresos, dificultad o imposibilidad de acceso a los servicios. En la esfera nacional se traduce en una excesiva dependencia económica de factores externos incontrolables.

c) Dimensión educativa: la ausencia de conocimiento sobre las causas y efectos por las cuales se presentan desastres, el desconocimiento y falta de preparación individual y colectiva, así como la deficiente socialización de la información aumenta la vulnerabilidad.

d) Dimensión política: se expresa como el nivel de autonomía que tiene una comunidad con respecto a sus recursos. La comunidad se hace más vulnerable bajo esquemas centralistas en la toma de decisiones y en la organización gubernamental. La debilidad en los niveles de autonomía para decidir regional o localmente impide una mayor adecuación de las acciones a los problemas sentidos en estos niveles territoriales.

e) Dimensión institucional: está relacionada con las dificultades que tienen las instituciones para lograr una efectiva gestión del riesgo. Situación que se refleja en la falta de preparación para responder ante un suceso y las acciones para reducirlo o mitigarlo.

f) Dimensión ambiental: hay un aumento de la vulnerabilidad cuando el modelo de desarrollo no está basado en la convivencia sino en la explotación inadecuada y la destrucción de los recursos naturales. Esta circunstancia necesariamente conduce al deterioro de los ecosistemas y a aumentar la vulnerabilidad debido a la incapacidad de auto ajustarse para compensar los efectos directos o indirectos de la acción humana.

Sin negar las dimensiones estructurales y procesuales de la vulnerabilidad social, se torna necesario considerar e incorporar en esta definición, las diversas disposiciones, acciones y prácticas humanas que la reproducen o resisten. Una de las primeras aportaciones realizadas en este ámbito, es la propuesta por Anderson (2000), esta no sólo buscan identificar y caracterizar las distintas dimensiones de la vulnerabilidad, sino que incorpora los recursos y fortalezas que poseen las comunidades, bajo el término de capacidad.

Esta metodología, se basa en los supuestos de que el proceso de desarrollo se caracteriza por la reducción de las vulnerabilidades y la potenciación de capacidades de prevención, anticipación, resistencia y recuperación ante el riesgo de amenazas antrópicas y/o naturales. Los programas y proyectos en gestión del riesgo, no pueden ser neutrales respecto al factor desarrollo. Es decir, cuando los esfuerzos en la planificación y ejecución de las acciones, no consideran la dimensión del desarrollo, sólo se están reforzando y fortaleciendo capacidades de mediano/corto alcance.

El modelo propuesto proporciona información sobre la capacidad y vulnerabilidad de un área en tres ámbitos relacionados:

a) Físico/material: referido a las características del territorio, medioambiente e infraestructuras.

b) Social/organizacional: expresa la forma en que la sociedad está organizada, lo cual incluye las estructuras políticas y sistemas organizativos internos.

c) Motivacional/actitudinal: refleja cómo se ve la comunidad a sí misma y su capacidad para tratar efectivamente el ambiente físico y sociopolítico.

Para desarrollar un modelo que caracterice la vulnerabilidad del sistema es necesario que participen en su construcción diferentes expertos con un alto grado de multidisciplinariedad. Donde se trata de capturar el conocimiento tácito que se deriva de su experiencia en el funcionamiento de la empresa y la localidad. La mayoría de las veces las valoraciones son acertadas, pero con carácter empírico, sin un sustento sólido y de manera cualitativa, donde establecer un grado de concordancia entre los mismos o estimar un supuesto resulta extremadamente difícil. De ahí la necesidad de procesar las variables cualitativas y las calificaciones lingüísticas que se obtengan de dichas opiniones; analizando la relación existente entre los diferentes predicados.

### **2.3 propuesta de diseño de un modelo de evaluación de la vulnerabilidad territorial en un área propensa a accidentes tecnológicos mayores**

En este acápite se propone un enfoque conceptual para la evaluación de la vulnerabilidad territorial y su influencia en el agravamiento del impacto dada la ocurrencia de un evento desestabilizador de carácter tecnológico. El modelo asocia las diferentes dimensiones de la

vulnerabilidad y la capacidad de respuesta del área afectada a través del reconocimiento de su falta de homeostasis y falta de resiliencia. Las variables se evalúan de una manera consistente y coherente, aun cuando representen aspectos que no son excluyentes y se desconoce la incidencia de unos sobre los otros.

El diseño del indicador tiene en cuenta la incertidumbre y subjetividad asociada a la medición de la vulnerabilidad social. Como solución a la problemática de la disponibilidad de información, los datos necesarios son sustituidos por la opinión de expertos, procesando las variables cualitativas y las clasificaciones lingüísticas obtenidas en lugar de valores numéricos. En este sentido utiliza la lógica difusa compensatoria, cuya robustez ha sido demostrada en el manejo de la vaguedad e incertidumbre asociada a la información (Cabrerizo et al., 2008; Carrasco et al., 2011).

La modelación del árbol difuso que describe la relación existente entre los descriptores y la asociación de datos (variables difusas, etiquetas lingüísticas, o números continuos) es realizada en el *software Fuzzy tree studio*. Así como la evaluación de los predicados a través de la lógica difusa compensatoria, lo cual permite al agente decisor despreocuparse por el trasfondo matemático y centrar su atención en la formulación verbal del modelo decisional.

La figura 2 muestra el diseño del árbol difuso a evaluar para la estimación de coeficiente de agravamiento del impacto ante un evento tecnológico, dada la vulnerabilidad social existente. Los descriptores incluidos fueron considerados como los más significativos para cada categoría. Estos pueden ser modificados de acuerdo con las características del área o consideraciones de los evaluadores.

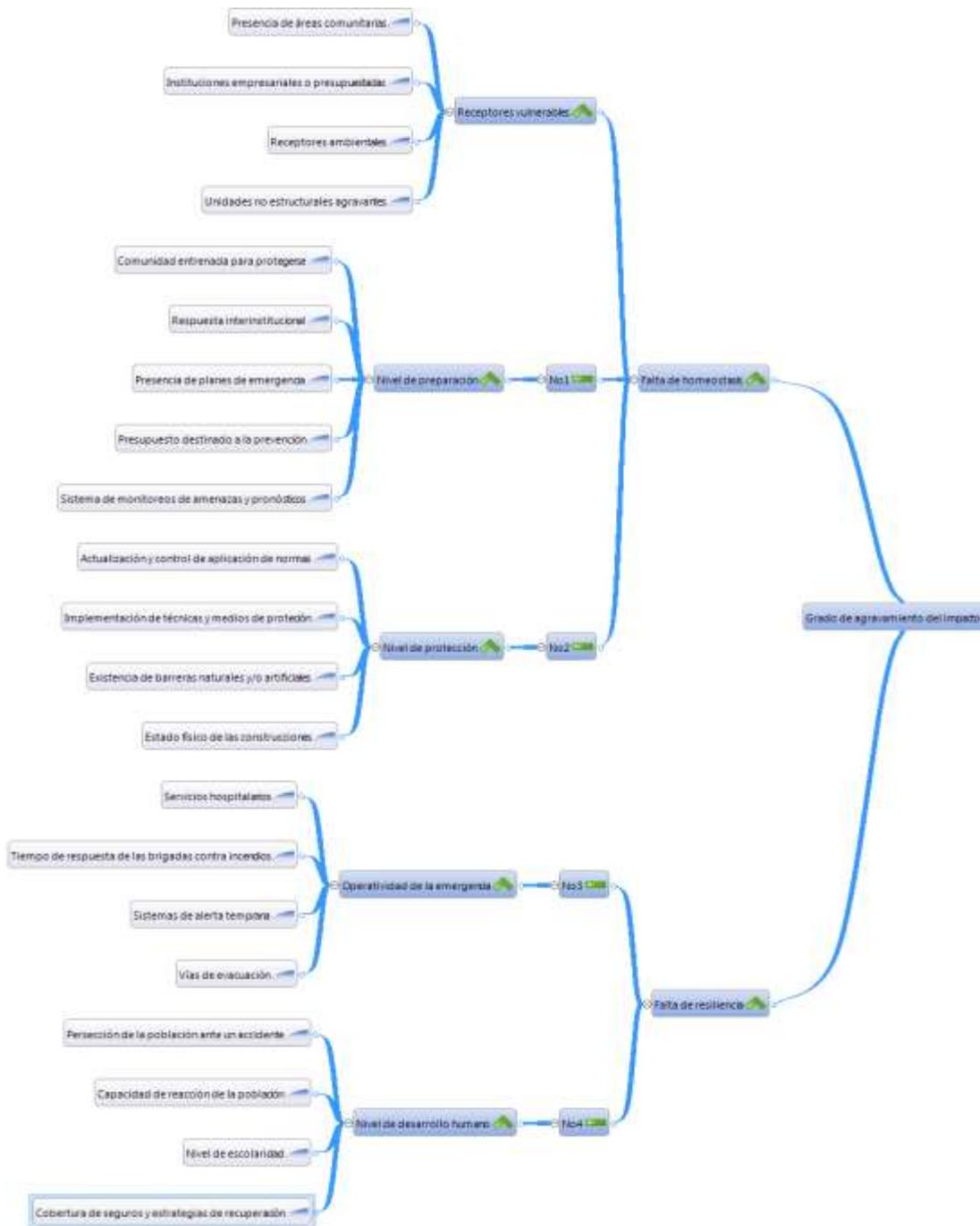


Figura 2. Descriptores de la vulnerabilidad social. Estimación del coeficiente de agravamiento.

La evaluación de los descriptores se realiza a partir del uso de calificaciones donde en un trabajo de mesa con el grupo de experto se consensa el comportamiento del descriptor  $i$  en el área  $j$ . En este análisis el descriptor toma un valor de verdad entre 0 y 1 donde los valores más cercanos a 1 indican el grado de cumplimiento del planteamiento del descriptor en el área. Mientras que un valor de verdad inferior a 0,5 indica la falsedad del predicado, y asume como pésimo el descriptor analizado. Con el fin de apoyar el proceso de evaluación y el establecimiento de comparaciones entre áreas se propone la escala mostrada en la tabla 1.2

Tabla 1.2. Escala para evaluar los descriptores

Relación	Rango
Muy alto	1-0.9
Alto	0.9-0.8
Medio	0.8-0.7
Bajo	0.7-0.6
Muy bajo	0.6-0.5
Pésimo	0-0.5

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de mostrar el funcionamiento del modelo diseñado, evaluar su funcionalidad y validar la adecuación de cada uno de los descriptores a un objetivo práctico se seleccionó como caso de estudio el área circundante al almacén tecnológico de gas licuado del petróleo (GLP), ubicado en un área urbana de la ciudad de Santa Clara.

El almacén dispone dentro de su área cercada de 11 400 m<sup>2</sup>, la superficie construida no supera el 50% del total. El equipamiento principal está compuesto por cinco tanques cilíndricos de acero colocados horizontalmente sobre dos soportes en forma de silleta. Cuatro balas son tanques de almacenamiento de GLP con una capacidad de 60 toneladas, y la bala número cinco con capacidad de una tonelada en función de recipiente recuperador. Además, en el área se disponen los compresores y las bombas para las operaciones.

La onda expansiva del GLP está en el orden de los 8,6 kgf/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, en literaturas especializadas se hace alusión a que los efectos explosivos de una tonelada de GLP, es equivalente a 0,42 t de TNT. Al inflamarse bajo un proceso de combustión completa, un kilogramo de GLP desprende una energía calorífica superior a las 10 000kcal/kg, suficiente para crear condiciones desfavorables para el medio en que se encuentre, así como para propagar el incendio hacia el medio colindante por radiación o convección, cuando exista presencia en el mismo de sustancias o materiales combustibles o inflamables. Un kilogramo de GLP es capaz de combustionar en 0,4 segundos, siendo imposible evitar su propagación. Al ser más denso que el aire posee una significativa velocidad de difusión, lo cual aumenta la probabilidad de ignición, y dificulta una respuesta inmediata ante un escape.

Un estudio realizado por Ibarra (2016) demostró que el evento de riesgo más probable que puede ocurrir en el almacén tecnológico de GLP es: escape continuo por un agujero de 10 mm, con una frecuencia de  $1 \cdot 10^{-5}$  años<sup>-1</sup> y su propagación como radiación térmica en forma de bola de fuego, con frecuencia  $5 \cdot 10^{-7}$  años<sup>-1</sup>. Determinando el radio de afectación ante la ocurrencia de este tipo de accidente a través del software ALOHA como se muestra en la figura 3.

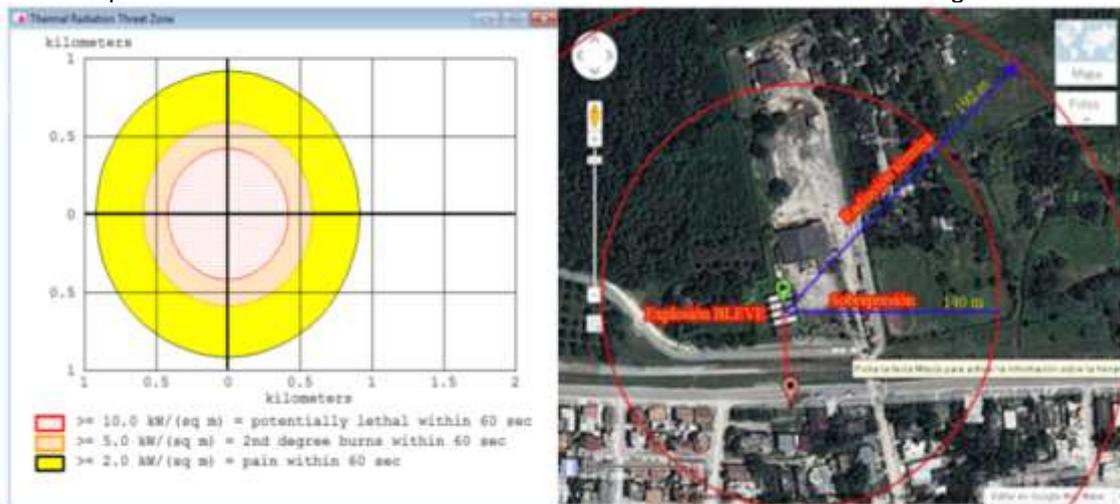
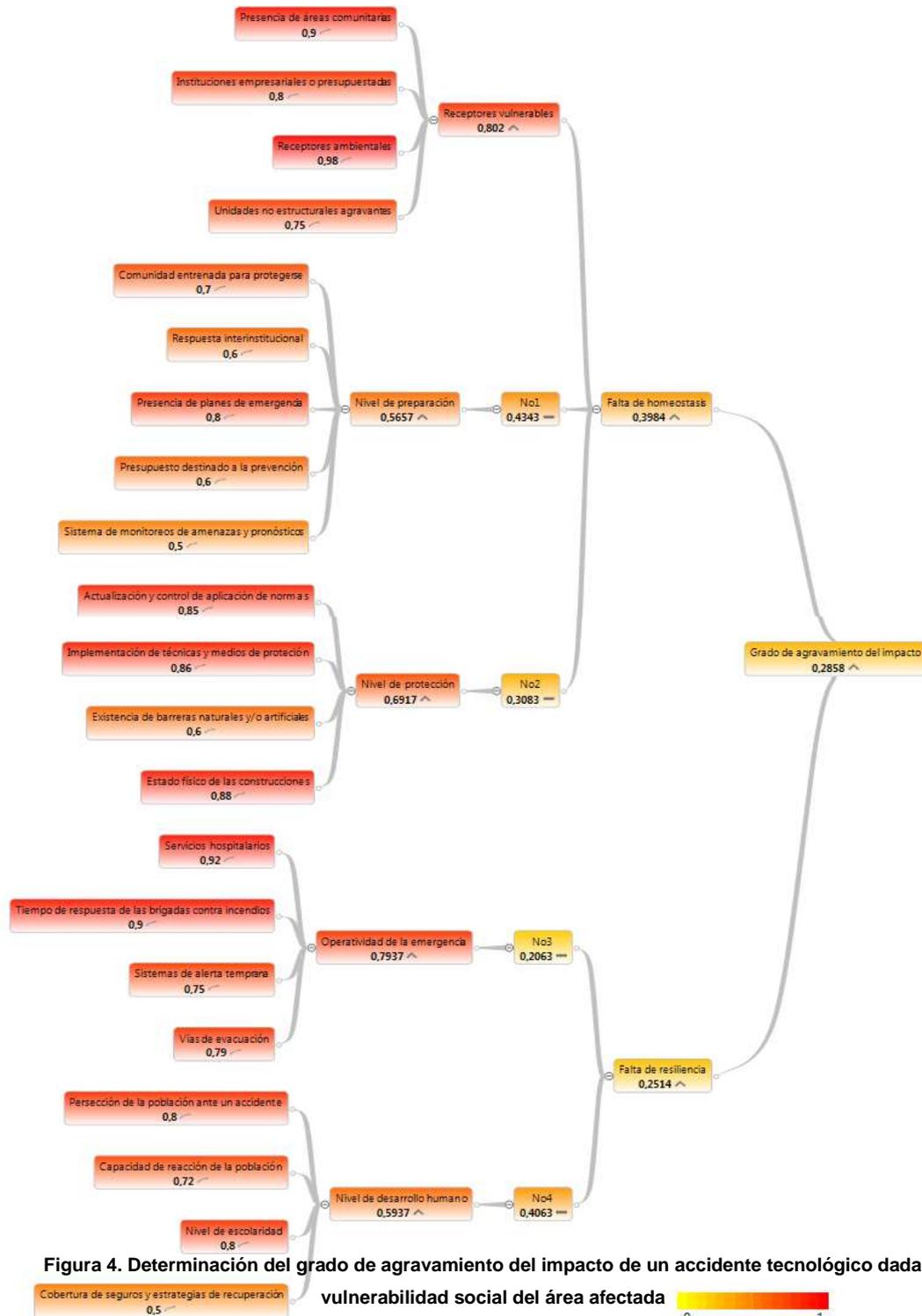


Figura 3. Radio de afectación y umbrales correspondientes de radiación térmica de las generadas por la explosión BLEVE. Fuente: (Ibarra, 2016)

Dentro del área enmarcada como zona probable de afectación ante un accidente mayor, es valorada la vulnerabilidad existente a través del indicador difuso. Para ello los especialistas de

la entidad en conjunto con representantes del área evalúan el nivel de verdad existente dado el comportamiento del descriptor analizado en el área probablemente afectada. Los resultados obtenidos al evaluar el árbol difuso en el *software Fuzzy Tree Studio* a través del modelo de lógica difusa compensatoria basada en la media aritmética se obtiene que el nivel de agravamiento del impacto dada las características del área, es de 0,2858 tal como se muestra en la figura 4.



**Figura 4. Determinación del grado de agravamiento del impacto de un accidente tecnológico dada la vulnerabilidad social del área afectada**

De acuerdo con este modelo, en el caso probable de que ocurra un accidente tecnológico en el almacén de gas licuado del petróleo (GLP) el riesgo latente matemáticamente aumentará 1,2858 veces su nivel de impacto dada la vulnerabilidad social existente, reflejada en la capacidad del área de no afectarse y reponerse ante la desestabilización.

#### 4. CONCLUSIONES

La conceptualización de la vulnerabilidad ante un accidente tecnológico implica la valoración de diferentes dimensiones, económicas, sociales, políticas y organizacionales que condicionan la capacidad de resiliencia y homeostasis del área expuesta. Esto hace más complejo y multifactorial el análisis del fenómeno social.

El estudio de la vulnerabilidad en las zonas propensas a ser afectadas con la ocurrencia de un accidente mayor permite ser coherente con la necesidad de optimizar la asignación de recursos en los procesos de evaluación y manejo de riesgos de accidentes tecnológicos, así como orientar apropiadamente el enfoque de mejoramiento a seguir por el gobierno para la planificación de políticas públicas de prevención y/o mitigación de riesgos.

El modelo para la evaluación del agravamiento del impacto dado las condiciones de vulnerabilidad de área permite una evaluación holística del riesgo tecnológico. Su robustez radica en la posibilidad de procesar los conocimientos cualitativos de los expertos, en aquellos casos en los que la información necesaria para aplicar el método de evaluación holística del riesgo con base en indicadores no está disponible o es insuficiente.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbat, A. H., Carreño, M. L., Cardona, O. D. y Marulanda, M. C. (2011): "Evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas". *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, N. 11, p.3-27.
- Bohórquez, T. (2013): "Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales. Un aporte de método". *Investigaciones geográficas*, Vol.81, p. 79-93.
- Bosque, J., Díaz-Castillo, C., Díaz-Muñoz, M. A., Gómez, M., González, D., Rodríguez, V. M., Salado, M. J. (2004): "Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la Comunidad de Madrid", *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica (GeoFocus)*, N. 4, p. 44-78.
- Cabrero, F. J., Alonso, S., Herrera-Viedma, F. (2008): "A consensus model for group decision making problems with unbalanced fuzzy linguistic information". *International Journal of Information Technology & Decision Making*, Vol. 2, N.37, p 2-15
- Cardona, O. D. (2001): "Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya. Capítulo 3, p. 22-29
- Cardona, O. D. (2006): "Midiendo lo inmedible. Indicadores de vulnerabilidad y riesgo". *Boletín Ambiental. Instituto de estudios ambientales IDE*, p 4-12.
- Cardona, O. D. (2008): "Medición de la Gestión de riesgo en América Latina". *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, Vol.3. p. 23-38.
- Cardona, O.D., Hurtado J.E. (2000): "Modelación numérica para la estimación holística del riesgo urbano, considerando variables técnicas, sociales y económicas" *Métodos Numéricos en Ciencias Sociales (MENCIS 2000)*, Oñate, E. et al. (Eds.) CIMNE-UPC, Barcelona, p. 1-12.
- Carrasco, R. A., Villar, P. y Hornos, M. (2011): "A linguistic multi-criteria decision making model applied to the integration of education questionnaires". *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 4, N. 5, p 946-959.
- Carreño, M. L., Barbat, A. H. y Cardona, O. D. (2014): "Métodos numéricos para la evaluación holística del riesgo sísmico utilizando la teoría de conjuntos difusos". *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, Vol. 30, N. 1, p. 25-34
- Darbra, R. M. y Casal, J. (2008): "Environmental risk assessment of accidental releases in chemical plants through fuzzy logic". *Centre d'Estudis del Risc Tecnològic (CERTEC). Department of Chemical Engineering. Universitat Politècnica de Catalunya. Spain*, p. 1-15.
- Díaz Muñoz, M. A. y Díaz Castillo, C. (2002): "El análisis de la vulnerabilidad en la cartografía de riesgos tecnológicos. Algunas cuestiones conceptuales y metodológicas". *Serie Geográfica*, N.10, p. 27-41.
- Ibarra, E. V. (2016): "Metodología de análisis cuantitativo de riesgo incluyendo el efecto dominó". Tesis para optar por el grado de Máster en Seguridad tecnológica y ambiental

en procesos químicos, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Capítulo 3, p. 69-120.

IDEA (2005): "Sistema de indicadores para la gestión del riesgo de desastre: Informe técnico Principal". *Programa BID/IDEA de Indicadores para la Gestión de Riesgos*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Instituto de Estudios Ambientales y Banco Interamericano de desarrollo, p. 9-15.

Ruíz, M. (2011): "Vulnerabilidad territorial y evaluación de daños postcatástrofe: una aproximación desde la geografía del riesgo". Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, p. 24-32.

Vázquez, M. y Méndez, J. (2011): "La vulnerabilidad de los asentamientos en espacios no urbanizables en el municipio de San Mateo Atenco, Estado de México". *Revista Quivera*, Vol. 13, N. 1, enero - junio, 2011, p. 244-268.

Bosque Sendra, J., Díaz Muñoz, M. A. y Díaz Castillo, C. (2002): "De la justicia espacial a la justicia ambiental en la política de localización de instalaciones para la gestión de residuos en la Comunidad de Madrid", *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, tomo CXXXVII – CXXXVIII, p. 89- 113.

Anderson, M. B. (2000): "Vulnerability to disaster and sustainable development: A general framework for assessing vulnerability", p 1-45.