

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL
DE LAS VIVIENDAS CON CUBIERTA LIGERA ANTE
FUERTES VIENTOS EN EL MUNICIPIO HOLGUÍN**

Autora: Mairelis Ramírez Betancourt

Holguín 2022



**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL
DE LAS VIVIENDAS CON CUBIERTA LIGERA ANTE
FUERTES VIENTOS EN EL MUNICIPIO HOLGUÍN**

Autora: Mairelis Ramírez Betancourt

Tutores: Ms.C. Anabel Reyes Ramírez

Holguín 2022



PENSAMIENTO

“...Toda Universidad ha de ser no madre arcáica. que de un seno de agriego y protoplasma del otro, sino moral que crío a leche profea a hombres felices...”

José Martí

DEDICATORIA

A mi madre Maira Betancourt Marrero y mi padre Juan Ramírez Ramírez, por todo el amor, el cariño, apoyo y comprensión que me ha brindado siempre .

A mi hermano Maikel Ramírez Betancourt y mi cuñada Naillet Expósito Rodríguez por siempre estar al pendiente de mí y por ayudarme tanto.

A mi Gran familia por siempre pensar en mí y de una manera u otra ayudarme también: en especial . A mis primas hermanas Mayelin Betancourt Crespo y Madelin Betancourt Crespo por toda su ayuda y preocupación por mí..

A mis abuelitos que me cuidan al lado del señor...

A todos los que hicieron posible este sueño.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Maira Betancourt Marrero y mi padre Juan Ramírez Ramírez, por ser quienes me impulsan y me apoyan a cada día superarme más y seguir adelante, por ser mis guías y mi ejemplo de vida

A mi hermano Maikel Ramírez Betancourt y mi cuñada Nailet Expósito por siempre estar al pendiente de mí y por ayudarme tanto.

A mis tutores Anabel Reyes Ramírez y Ángel Eugenio Infante Haynes, por orientarme y guiarme durante todo el proceso de investigación.

A todos los profesores que durante todo este proceso de estudio y estos años de experiencia en la Universidad me enseñaron tanto.

A mis compañeros del aula que se convirtieron en mi otra familia .

ACRÓNIMOS

AMA - Agencia de Medio Ambiente

CDM - Consejo de Defensa Municipal

CGRR - Centro de Gestión para la Reducción de Riesgo

CITMA - Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

EMNDC - Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil

GRD - Gestión del Riesgo de Desastres

MCDC - Multiple-Criteria Decisión-Making (Método Multicriterio para la toma de decisiones)

ODS - Objetivos de Desarrollo Sostenible

ONG - Organización no Gubernamental

ONU - Organización de Naciones Unidas

PNUD - Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo

PVR - Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo

SAT - Sistema de Alerta Temprana

SIG - Sistema de Información Geográfico

UNDRO - United Nations Disasters Office (Oficina de las Naciones Unidas para los Desastres)

UNISDR - Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio exploratorio y descriptivo, diseñando y proponiendo un procedimiento para evaluar las tecnologías de cubierta ligera en viviendas desde el punto de vista de su vulnerabilidad contra desastres naturales que permita hacer recomendaciones para la correcta explotación, mantenimiento y conservación, asegurando su durabilidad y su correcto funcionamiento. El procedimiento incorpora el enfoque multicriterio para evaluar los diferentes consejos populares urbanos del municipio Holguín, con vista a poder ayudar en la toma de decisión por parte de los directivos gubernamentales para una mejor distribución de los recursos humanos, materiales y financieros a la hora enfrentar la recuperación ante desastres naturales.

ABSTRACT

The objective of this work is to carry out an exploratory and descriptive study, designing and proposing a procedure to evaluate light roof technologies in houses from the point of view of their vulnerability against natural disasters that allows making recommendations for the correct exploitation, maintenance and conservation. , ensuring its durability and correct operation. The procedure incorporates the multicriteria approach to evaluate the different urban popular councils of the Holguín municipality, with a view to being able to help in decision-making by government managers for a better distribution of human, material and financial resources when facing the crisis. recovery from natural disasters.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS EN TORNO A LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS CON CUBIERTA LIGERA EN EL MUNICIPIO HOLGUÍN	7
1.1. Vulnerabilidad estructural. Conceptualización.....	7
1.2. La vulnerabilidad estructural de viviendas con cubierta ligera	12
1.2.1 Variables para caracterizar la vulnerabilidad estructural de la cubierta ligera de viviendas	16
1.3 Herramientas para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de las cubiertas ligeras de viviendas	20
1.3.1 Métodos de evaluación y selección multicriterio (MCDM). El método SIMUS 22	
1.4 Diagnóstico del estado actual de las cubiertas ligeras de viviendas en el municipio Holguín	25
1.5 Conclusiones parciales	32
CAPÍTULO 2: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA LIGERA DE VIVIENDAS EN EL MUNICIPIO HOLGUÍN.....	33
2.1. Concepciones metodológicas para el diseño de un procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de las cubiertas ligeras	33
2.2. Propuesta y Aplicación de procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de las cubiertas ligeras de viviendas en el municipio Holguín.....	36
2.3 Modelación matemática para la aplicación del método SIMUS.....	38
2.4 Análisis de los resultados. Primera Variante	41

2.5	Análisis de los resultados. Segunda Variante	46
2.5.1	Análisis de Sensibilidad	47
2.6	Conclusiones parciales	48
	CONCLUSIONES GENERALES	49
	RECOMENDACIONES	50
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	1

INTRODUCCIÓN

Las primeras cubiertas realizadas por los aborígenes y los colonizadores eran inclinadas, simples, no transitables y ligeras, conformadas por guano que evacuaban la lluvia por caída libre (Juez, Delgado, & Hamalainen, 2013). Para construirlas recurría a lo que encontraba en su medio natural: ramas, troncos, paja, pieles de animales o incluso piedras que iba colocando de manera solapada. Asimismo, enseguida se da cuenta de que tiene que colocar los citados elementos inclinados para evitar que se acumule el agua y se moje el interior.

De esta forma la cubierta se convierte en el elemento constructivo de cierre más importante, ubicada en su parte superior y encargada de proteger la misma de factores medioambientales, para lograr su máxima eficiencia debe cumplir una serie de requisitos tales como la estanqueidad, el aislamiento térmico, y no menos importante, el de ser lo suficientemente robusta para resistir fenómenos naturales como fuertes vientos y huracanes. Precisamente por este motivo, la cubierta ligera constituye el elemento más vulnerable durante la ocurrencia de estos fenómenos, al generar peligro para la vida de moradores, y un alto impacto económico y social.

Datos revelan que entre 1970 y 2009, casi 130 000 personas fallecieron como consecuencia de desastres en 12 países de la región, y los daños económicos fueron de 356 000 millones de dólares. El 60 % de ellos corresponde a eventos climáticos. (UNISDR & Cooperación, 2016) calcula que entre 1990 y 2013, más de 43 000 personas fallecieron y 126 millones fueron afectados por desastres de diversas magnitudes en 16 países de América Latina y el Caribe.

La inclusión del Objetivo 11 “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resiliente y sostenibles”, en la Agenda 2030, responde al gran impacto global que tiene la urbanización y de la oportunidad de abordar muchos de los desafíos fundamentales del desarrollo sostenible a través de políticas e intervenciones en las ciudades. Esto es cierto aún más en el caso de América Latina y el Caribe, donde más del 80 % de la población es urbana (Perales, 2014) y donde el poder económico, político y administrativo se concentra en las ciudades. (Jordán Fuchs, Riffo Pérez, & Prado, 2017).

El desarrollo urbano mal planificado y mal gestionado es un factor importante de riesgo de desastres, más aún en ciudades donde el porcentaje de personas que viven en asentamientos informales es alto. No menos importante es que más del 80 % de los registros por pérdidas relacionadas con desastres se dieron en zonas urbanas y, si bien existen variaciones de un país a otro, entre el 40 % y el 70 % correspondían a ciudades que tenían menos de 100 000 habitantes (Hábitat, 2011).

Los datos estadísticos apuntan que, en los centros urbanos pequeños y medianos que crecen rápidamente, el riesgo es mayor que en las ciudades más grandes o en las zonas rurales. La mayor parte de los estudios sobre el comportamiento del viento en zonas urbanas está dirigida a la búsqueda del confort ambiental donde el viento es siempre un elemento benéfico (Ruiz, Hernández, & Coca, 2008).

El medio físico establece condiciones particulares para el comportamiento de los flujos de vientos y sus velocidades. Aspectos como la altitud, la rugosidad de la superficie, las obstrucciones naturales y artificiales, pueden influir de manera sustancial en la variación de parámetros como la velocidad y dirección de los vientos. (Roura-Pérez & Díaz-Sistachs, 2020). Los huracanes resultan ser los fenómenos más importantes a considerar para evaluar el peligro de carácter meteorológico que enfrentan las construcciones en Cuba, pues han producido los valores de la velocidad del viento más altos que se han registrado.

Los más grandes desastres naturales que recoge la historia de nuestro país han estado asociados a los ciclones tropicales, los cuales generan fuertes vientos (Roura-Pérez & Díaz-Sistachs, 2020), según (Grases, Gutiérrez, & Jiménez) los desastres son eventos súbitos, o no, y que pueden ser provocados o no por el hombre, que causan interrupción de las actividades normales. Los desastres pueden ser: naturales, antropogénicos, silenciosos. Los ciclones y huracanes son el fenómeno natural con potencial peligro, que mayor cantidad de vidas humanas ha cobrado en nuestro país; a ello se une la destrucción de la economía, las viviendas, así como la flora y la fauna.

La región del Caribe, el Golfo de México y el Estrecho de la Florida es una zona de alta vulnerabilidad ante huracanes de altas categorías (Cingualbres, Peña, Ávila, & Mobilla, 2017). En Cuba, aunque es un país tropical, el uso de la cubierta pesada y ligera está prácticamente igualmente distribuido en todo el territorio. Tal es así que existe un 51,7

% de cubierta pesada y un 48,3 % de cubierta ligera; donde el uso de la cubiertas ligera es el más representativo por su buen funcionamiento, confort térmico; es más viable desde el punto de vista económico y aporta a la calidad formal de las ciudades (Park et al., 2017).

A partir de las sesiones de la Asamblea Nacional del Poder Popular en 2005, se establece una nueva política de vivienda en el país. Se prioriza la construcción de más de 50 mil viviendas cada año y una cifra aún superior para conservar y rehabilitar (Chapeaux Arredondo, 2008). Independientemente que se han logrado avances, se han desarrollado, asimilado y extendido nacionalmente varias tipologías constructivas, sobre todo para la solución de paredes y techos. Entre ellas sobresalen los techos de cubierta ligera de tejas, bóveda, asbesto cemento y perfiles metálicos y láminas metálicas onduladas, de procedencia venezolana y de producción nacional.

Según (Hernández, Cardona, & Del Rio, 2017), existe un grupo de elementos que aumentan la vulnerabilidad de la cubierta ligera como elemento de cierre constructivo, entre ellas se encuentran: La falta de mantenimiento en la cubiertas ligera, el abandono de las buenas prácticas y técnicas constructivas heredadas, el uso de técnicas y materiales constructivos inadecuados. Además el incumplimiento de las regulaciones en la ejecución y control; incompetencia de los constructores por falta de calificación (capacitación) e insuficiente e ineficiente control en la ejecución de las soluciones de cubierta. Esto compromete la resistencia de estos elementos ante el embate de los fuertes vientos de los huracanes y tormentas tropicales.

La provincia de Holguín no ha estado ajena a desastre naturales de alta envergadura, un ejemplo de ello fue el huracán IKE, que no solo hizo estragos en los consejos populares de ciudad, sino también en los rurales. En nuestra cabecera municipal ocasionó las siguientes afectaciones: afectaciones parciales de techo 13 840, techos totales 3 519, derrumbes parciales 1 292, derrumbe totales 1 307. Todo esto llevo a un total de afectaciones de 19 958, solo en los consejos populares del municipio, según el Instituto de Planificación Física de Holguín.

Esta problemática, trae consigo la necesidad de desarrollar una eficaz gestión del riesgo ante fuertes vientos, actividad que recae en la actualidad sobre un grupo de instituciones y organismos en nuestro municipio, que son los encargados, entre otras tareas, de

procesar los datos de afectaciones, elaborar mapas de riesgo, informaciones de estudios, y además evaluar la vulnerabilidad de las viviendas y construcciones. Sin embargo, las técnicas que utilizan para estos procesos, no son lo suficientemente actualizadas, lo que puede comprometer los resultados obtenidos.

Por esta razón, se hace necesario incorporar a estos procesos nuevos enfoques para el procesamiento de la información y la evaluación de criterios, aplicando técnicas modernas, que permitan optimizar los resultados y con ello, contribuir a una mejor toma de decisiones para reducir la vulnerabilidad de las cubiertas ligeras.

Por ello se declara como **problema de la investigación** ¿Cómo evaluar la vulnerabilidad estructural de la cubierta ligera con enfoque multicriterio en viviendas del municipio Holguín?

Como **objeto de investigación** se plantea la vulnerabilidad estructural y el **campo de acción**, la vulnerabilidad estructural de la cubierta ligera en viviendas del municipio Holguín.

Para solucionar las dificultades declaradas se propone como **objetivo general**: diseñar un procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de cubierta ligera con enfoque multicriterio en viviendas del municipio Holguín, que permita una mejor toma de decisiones en la distribución óptima de recursos humanos, materiales y financieros. Del objetivo general se originan los siguientes **objetivos específicos**:

- Sistematizar los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan la evaluación de la vulnerabilidad estructural de cubiertas ligeras en viviendas.
- Diseñar un procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural mediante el método SIMUS
- Aplicar el procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas con cubiertas ligeras en el Municipio Holguín.

Se declara como **hipótesis de la investigación** la siguiente: Si se diseña un procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de cubiertas ligeras en viviendas del municipio Holguín, a partir del enfoque multicriterio, se podrá lograr una mejor toma de decisiones en la distribución óptima de recursos humanos, materiales y financieros.

Para constatar la validez de la hipótesis, dar cumplimiento a los objetivos y resolver el problema de la investigación se utiliza un sistema de **métodos de la investigación** científica de naturaleza teórica, empírica y estadístico- descriptivos.

Métodos teóricos:

- Histórico–lógico: para revisar el marco teórico en torno al objeto y el campo de la investigación con una perspectiva que permita un análisis histórico.
- Hipotético – deductivo: para la elaboración de la idea a defender y la asunción de una lógica investigativa.
- Análisis - síntesis: para el análisis de la información procedente de la caracterización histórica, teórico – metodológica y empírica del objeto y campo de la investigación.
- Sistémico estructural: desarrolla el análisis del objeto de estudio, tanto teórico como práctico, a través de su descomposición en los elementos que lo integran; permitirán determinar los indicadores y variables que más inciden y su interrelación como resultado de un proceso de síntesis.

Métodos empíricos:

- Análisis documental: para la búsqueda de información relacionada con la caracterización histórica, teórica y empírica del objeto de la investigación con énfasis en su campo.
- Consulta a especialistas: método empleado con la finalidad de valorar la pertinencia de la propuesta.
- Entrevista: desarrollada para obtener criterios sobre las variables involucradas en el problema objeto de estudio.
- Encuesta: devela los criterios de los expertos sobre los criterios y dimensiones seleccionados para dar cumplimiento al procedimiento

Métodos estadísticos:

- Estadísticos descriptivos: resultan de valor para precisar la población y la muestra de investigación, para el procesamiento y presentación de los resultados provenientes del diagnóstico.

- Métodos de Modelación Matemática. Los métodos matemáticos utilizados fueron elaborados para procesos de optimización, de dimensiones y criterios para la evaluación de los consejos afectados por desastres naturales, para nuestra investigación se utilizó el método SIMUS.

El **aporte** de la investigación consiste en la propuesta de un procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de cubierta ligera en viviendas del municipio Holguín. La **novedad** radica en la incorporación del enfoque multicriterio en la evaluación de la vulnerabilidad estructural.

La presente investigación resulta de gran **actualidad** porque responde a la Agenda 2030 y a los objetivos de desarrollo sostenible, el número 11, Ciudades y comunidades sostenibles, lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos seguros, resiliente y sostenibles. De igual forma tributa a la línea asumida por el Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingeniería que derivan de las aprobadas en la Universidad de Holguín, relacionadas con la Innovación para el desarrollo sostenible.

El trabajo se estructura para su presentación de la forma siguiente: introducción, donde se analiza la situación problemática existente y se fundamenta el problema científico a resolver; el capítulo I, que contiene el marco teórico- práctico referencial que sustenta la investigación; en el capítulo II, se exponen las concepciones metodológicas y se diseña el procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de cubierta ligera en las viviendas del municipio Holguín. Se exponen, además, las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación; y la bibliografía consultada.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS EN TORNO A LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS CON CUBIERTA LIGERA EN EL MUNICIPIO HOLGUÍN

En este capítulo se analizan los conceptos relacionados con la vulnerabilidad estructural de la cubiertas ligera, las diferentes variables o dimensión que las relacionan, así como los indicadores o criterios a tener en cuenta. También, algunas de las herramientas para la evaluación, y no menos importantes las experiencias nacionales e internacionales en este campo. Finalmente, el diagnóstico realizado a los diferentes consejos populares del municipio de Holguín.

1.1. Vulnerabilidad estructural. Conceptualización

En Cuba existe un marco legal para los estudios y mitigación de vulnerabilidad a través del Sistema de la Defensa Civil que ha desarrollado instrumentos y herramientas que permiten determinar el riesgo de desastres, accionar en su prevención y dar una respuesta eficaz ante los peligros naturales. La Directiva No.1, actualizada y perfeccionada en el 2010, orienta la planificación, organización y preparación del país para situaciones de desastres, establece la estrategia de la gestión de riesgos y el carácter obligatorio de los estudios de reducción de desastres, como elementos de partida para la elaboración de los planes económicos y de los proyectos de inversión en los territorios”, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (González-Bustamante, 2015).

Para realizar los estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo de Desastres, así como el impacto ambiental de las situaciones de desastre, se cuenta con la colaboración de una gran parte del potencial científico del país. Dentro de los peligros que se han estudiado en Cuba se encuentran los siguientes (Figura 1.1):

- Inundaciones costeras por intensas lluvias
- Inundaciones costeras por penetración del mar
- Afectaciones por fuertes vientos
- Incendios rurales
- Deslizamientos de tierra
- Intensas sequías

- Sanitarios
- Sismos
- Tecnológicos



Figura. 1.1. Peligros de origen natural. Fuente: Ruiz (2022).

La metodología utilizada en los estudios de PVR (Figura 1.2) define la vulnerabilidad como la predisposición a sufrir pérdidas o daños, de los elementos bióticos o abióticos expuestos al impacto de un peligro de determinada severidad. Se relaciona directamente con las cualidades y propiedades del o de los elementos en cuestión en relación con el

peligro o los peligros que podrían incidir sobre ella (PNUD, 2004). Esta puede ser funcional o social.

- Vulnerabilidad Funcional. Estudia la influencia de la vulnerabilidad estructural y no estructural en la estabilidad o paralización de la producción y los servicios, ante cada tipo de evento de determinada categoría. Su análisis permitirá ver el estado de los factores preparativos de respuesta, a partir de la disponibilidad de grupos electrógenos de emergencia, la preparación del sistema de salud para caso de desastres, la capacidad de albergamiento de evacuados y certificación de las instalaciones, el acceso a zonas aisladas, la reserva de suministros básicos (agua, alimentos, combustibles, medicamentos) y otros.
- Vulnerabilidad Social. Valora el grado en que los factores sociales puedan incrementar la vulnerabilidad. Se evaluará el total de población expuesta densidad de población o afectación a la población, percepción del riesgo y grado de preparación, presencia de desechos sólidos en las calles y la preparación de los órganos de dirección.

Diversos son los conceptos de qué según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático del inglés (Conde-Álvarez & Saldaña-Zorrilla, 2007), es el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. Dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación.

En el año 2014 este mismo organismo lo definió como la propensión o predisposición a ser afectado negativamente. Comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación. Por su parte (Monterroso, Conde, Gay, Gómez Díaz, & López García, 2012), lo definen igualmente como el grado de susceptibilidad o incapacidad de un sistema para enfrentar los efectos adversos del cambio climático.

Otros autores como (Ayala-Carcedo & Cantos, 2002), (Narváez, Pérez Ortega, & Lavell, 2009), plantean que la vulnerabilidad está representada por la predisposición intrínseca de elementos a sufrir daños debido a posibles acciones externas. Tiene causantes relacionadas con el comportamiento humano, tanto individual como social y, crece

exponencialmente con el crecimiento de la población y los grandes conglomerados urbanos e industriales. La vulnerabilidad es un proceso dinámico y sus manifestaciones varían de una comunidad a otra, o de un año a otro. Sin embargo, la mayor vulnerabilidad está en la falta de recursos y el desconocimiento de los riesgos a que una ciudad está sometida, tanto a nivel de las poblaciones, las empresas, como de los tomadores de decisiones.



Figura 1.2. Estudios de PVR en Cuba. Fuente: Internet, 2022.

El estudio de vulnerabilidad, según Batista (2006), es el punto de partida para el conocimiento del riesgo e incluye el análisis de las vulnerabilidades estructural, no estructural, funcional y social. La vulnerabilidad de los asentamientos humanos, cada día es más notoria debido a, entre otros motivos el uso despiadado de los recursos naturales por el propio hombre. Ello ha provocado que surjan determinados peligros naturales, como las penetraciones del mar, inundaciones en zonas con poco drenaje, desborde de arroyos y ríos, deslizamientos de tierra y movimientos sísmicos, y huracanes y ciclones.

La actividad humana, acompañada de un intenso desarrollo económico en los últimos decenios, ha originado grandes desastres ecológicos de origen técnico o ha alterado las características medioambientales de territorios. Una definición generalmente aceptada expresa que los peligros naturales son "aquellos elementos del medio ambiente físico, o del entorno físico, perjudiciales al hombre y causados por fuerzas ajenas a él " (Brown & Burton, 1978). Según (Batista, 2010) el término peligro natural es utilizado en referencia a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos) u originados por el fuego que, por razón del lugar en que ocurren, su severidad y frecuencia, pueden afectar de manera adversa a los seres humanos, a sus estructuras o actividades.

La vulnerabilidad es función del grado de exposición, la protección preestablecida, la reacción inmediata, la recuperación básica y la reconstrucción, es la disposición interna a ser afectado por una amenaza, si no hay vulnerabilidad, no hay destrucción o pérdida. Se define como la propensión interna de un ecosistema o de algunos de sus componentes a sufrir daño ante la presencia de determinada fuerza o energía potencialmente destructiva (Varga & Menyhard, 2007).

Para el análisis de vulnerabilidad estructural se debe analizar la capacidad resistiva de las edificaciones del fondo habitacional a las fuerzas destructivas de los fuertes vientos. Para ello se considera la tipología constructiva, el estado técnico y la altura de las construcciones, y otros parámetros de localización como la densidad de arbolado en las zonas urbanas. Los daños sufridos por las viviendas dependerán de la intensidad del peligro, que se expresa con el factor D_c o coeficiente de daño de las construcciones. Este coeficiente señala el grado de daño, que pueden sufrir las edificaciones, considerando la calidad de la vivienda o de la construcción en general (tipología y estado técnico) y la intensidad del peligro.

La vulnerabilidad estructural se calcula según la ecuación 1 (Varga, 2002):

$$V_e = D_c + APOB + CV + ALT + ARB \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

V_e — es la vulnerabilidad estructural que suma 30 puntos.

D_c — índice de daño de las construcciones. Es función de las tipologías constructivas, el potencial destructivo de los huracanes y su estado técnico. El mismo se podrá evaluar

con diferentes gradaciones como: sin daño, con daños ligeros, daños moderados, daños considerables o daños graves. Su valor varía entre 0 y 10.

APOB — índice de afectaciones de la población. Depende de la susceptibilidad poblacional, resultante de la combinación de la susceptibilidad habitacional con la densidad de población. Varía entre 0 y 7.

CV — índice de calidad de las viviendas. Se valora en función del número de viviendas de determinada susceptibilidad habitacional, es decir que depende de las tipologías constructivas y su estado técnico. Su valor varía entre 0 y 7.

ALT — índice de altura de las construcciones. Se obtiene tomando en cuenta la altura promedio de las edificaciones y del número promedio de pisos de las mismas. Varía entre 0 y 3.

ARB — índice de arbolado que pueden afectar las construcciones. Depende de la densidad de árboles y de su ubicación relativa con relación a las edificaciones y líneas de transmisión. Varía entre 0 y 3.

1.2. La vulnerabilidad estructural de viviendas con cubierta ligera

La vulnerabilidad estructural, según (Galván & Milanés, 2018), analiza la capacidad resistiva de las edificaciones del fondo habitacional a las fuerzas destructivas de los diferentes peligros. En su análisis se considera la tipología constructiva, el estado técnico, la altura de las edificaciones y los parámetros de localización como tipos de suelos, cotas, entre otros elementos claves. También suele referirse a los elementos estructurales de la edificación, es decir cimientos, muros portantes, vigas, columnas, entrepisos y cubiertas que pueden ser afectados ante una amenaza o peligro determinado.

En el caso de los asentamientos urbanos y rurales que se localizan dentro de un territorio, el número de estructuras expuestas varían en dependencia del tipo de amenaza y de las características del diseño de las edificaciones. Como parte de los principales aspectos que propician el aumento de la vulnerabilidad estructural se encuentran:

- Edificaciones construidas con tipologías arquitectónicas inadecuadas, susceptibles ante acciones generadas por sismos moderados y fuertes (mampostería simple, pórticos de hormigón armado sin adecuado reforzamiento).

- Estructuras antiguas con más de 100 años de explotación.
- Ausencia de mantenimiento sistemático.
- Construcción de nuevas edificaciones sin tener en cuenta los requisitos establecidos para lograr estructuras sismo-resistentes.
- Mala calidad en la construcción de estructuras por el empleo de materiales constructivos no adecuados (madera, cartón, latón), lo cual eleva la vulnerabilidad de las viviendas.
- Alta concentración y densidad poblacional en asentamientos costeros producto de las migraciones del campo a la ciudad (Milanés & Pacheco, 2011).

Hoy por hoy la cubierta ligera no tiene la aceptación que se espera por parte de la población, debido en primer lugar a los problemas que representan las mismas cuando existe la presencia de fenómenos como sismos, ciclones y fuertes vientos, que de igual forma acelera su deterioro. A ello se suma la falta de mantenimiento debido al déficit de materiales, y al abandono de prácticas tradicionales y la incompetencia de constructores que no han sido capacitados durante largos periodos, incidiendo todo en la paisajística urbana de las ciudades.

La cubierta ligera tradicional, como componente del patrimonio construido en los cascos históricos de las ciudades, han dejado una huella latente en el tiempo por las buenas prácticas constructivas y la utilización de materiales naturales y locales para su recubrimiento final. Las actuales soluciones de cubierta ligera brindan cierta discordancia en el paisaje urbano, fundamentalmente por el mal uso de los materiales utilizados para su recubrimiento final, ya que no existe una adecuada integración entre lo nuevo y lo viejo. Este hecho brinda una composición totalmente distinta a las ofrecidas por el legado de la tradición (Hernández-Salomón, Rizo-Aguilera, & Frómeta-Salas, 2017).



Figura 1.3. Daños en viviendas con cubiertas ligeras tras el paso de huracanes. Fuente: Reyes, 2017.

En las zonas urbanas, existen obstáculos que se convierten en elementos reguladores del viento, debido a esto la velocidad disminuye, producto a la rugosidad de la superficie, dada por la topografía del terreno, la masa arbórea y las construcciones realizadas por el hombre, por lo que la velocidad de viento aumenta con la altura, llevando a que se produzca un potencial mayor de velocidades de vientos en zonas urbanas, principalmente en viviendas construidas en elevaciones y los edificios altos. En las zonas urbanas el aumento de la rugosidad hace decrecer los flujos lineales de viento y aumenta el flujo turbulento, la altura de las edificaciones y la compacidad urbana conforman el perfil y rugosidad de la ciudad.

Los techos ligeros, principalmente los de asbesto cemento, han tenido un uso extendido en Cuba, en naves industriales, almacenes, facilidades temporales y sobre todo en las viviendas unifamiliares de una sola planta. Este material para cubierta de viviendas ha sido un tema muy polémico, sin embargo, tiene ventajas y desventajas que pueden ser objeto de análisis. Dentro de las segundas están la poca resistencia ante el impacto de

los vientos extremos; es un material que ocasiona problemas de confort térmico en el interior de la vivienda; especialmente en un país localizado en una zona de alta recurrencia de ciclones tropicales, de clima cálido-húmedo, donde son frecuentes las altas temperaturas a lo largo de todo el año.

Se cuestiona también el uso de este material, por las propiedades tóxicas cancerígenas de las fibras de asbesto, especialmente durante la perforación, el corte y la fractura en los procesos de montaje y ante el impacto de los fuertes vientos y proyectiles arrastrados por estos. Por otro lado, tiene las siguientes ventajas, su ligereza, facilidad y rapidez de montaje, bajo costo y disponibilidad para su adquisición en caso de rotura por eventos naturales, propicia y justifica la amplia extensión de su uso en naves industriales, almacenes, facilidades temporales para obras de construcción y en viviendas.

Independientemente de las ventajas, se debe tener en cuenta el comportamiento de la cubierta ante fenómenos climatológicos, principalmente por la insularidad de la mayoría del Caribe (Figura 1.3). El desarrollo sustentado del turismo y la agricultura, así como los fenómenos naturales frecuentes, hacen de esta zona del mundo uno de los lugares más vulnerables ante fenómenos naturales como tormentas tropicales, huracanes y penetraciones del mar y no menos importante el alto nivel de salinidad que hacen de Cuba uno de los primeros lugares del mundo.

Anualmente Cuba destina una gran cantidad de recursos para su mitigación, a pesar de estos esfuerzos aún son insuficientes, ya sea por el deterioro avanzado que presenta el fondo habitacional, por el paso de anteriores fenómenos tropicales, por la situación económica o por cualquier otra situación. Conociendo la cantidad de viviendas vulnerables y por ende su grado de vulnerabilidad ante la ocurrencia de un fenómeno tropical se pueden dictar una serie de medidas que serán mucho más efectivas para la mitigación. Estas medidas se refieren a la mitigación de desastres (León. 2007 en González 2008).

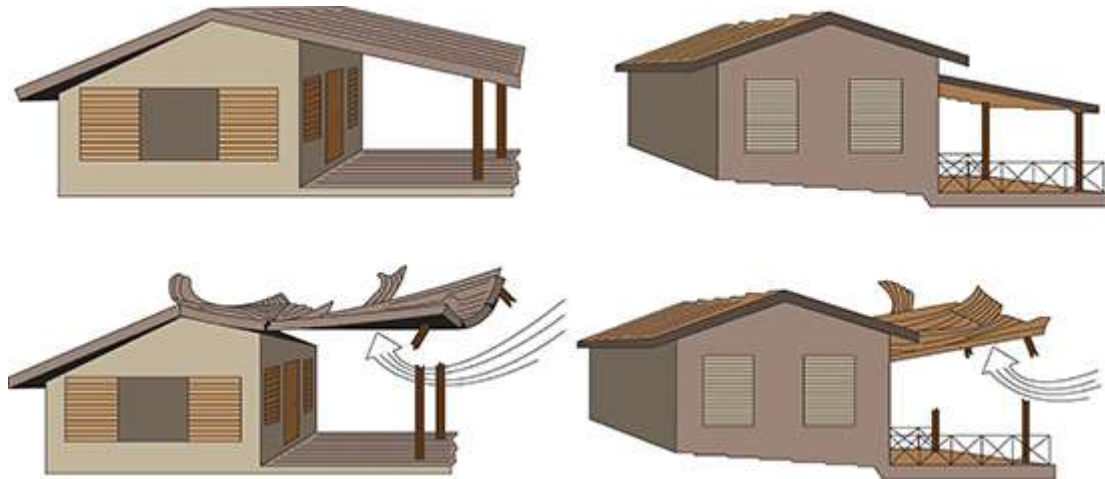


Figura 1.4. Vulnerabilidades en la cubierta. Fuente: Internet, 2022.

1.2.1 Variables para caracterizar la vulnerabilidad estructural de la cubierta ligera de viviendas

Para tener una mejor definición de las variables e indicadores que intervienen en el comportamiento ante la vulnerabilidad estructural de las cubiertas ligeras, se definen las dimensiones e indicadores a tener en cuenta, según plantea (García, 2009).

- Variables o dimensión: abarcan los elementos más generales del procedimiento, aspectos a evaluar que influyen en la solución.
- Indicadores: son los elementos que caracterizan las variables o dimensión, donde cada aspecto está descrito más específicamente.
- Parámetros a evaluar: grado cualitativo, cuantitativo o lingüístico en que se manifiesta el comportamiento de los indicadores según las normas y regulaciones.
- Valores a asignar: evalúan el grado de cumplimiento de normas y regulaciones para la ejecución de la cubierta.

❖ Dimensión Ambiental

Es una de las dimensiones que componen el triángulo de desarrollo sostenible, formado además por la social y económica, en ella se incorporan criterios ambientales que conforman generalmente los proyectos constructivos, pudiendo afectar el ambiente a través de emisiones de gases de efectos invernaderos, residuos, así como el mal uso o el abuso del uso de la tierra.

- a) Indicador: Contaminación ambiental

Agente contaminante que afecte no solo a la cubierta, sino también a las personas que habitan o moran en las viviendas.

b) Indicador: Velocidad de los vientos

En Cuba se deben construir viviendas con cubierta que estén diseñadas para resistir vientos sostenidos de 240 km/h, (máximo de velocidad de vientos de un huracán categoría 5 según la escala Saffir Simpson).

c) Indicador: Comportamiento a las radiaciones solares

Orientación: la cubierta debe estar preferiblemente orientada al noreste y al sureste, no deben ser de forma simétrica para que tengan una menor absorción a las radiaciones solares y sean menos vulnerables, teniendo como puntal de 4,20 metros de altura como mínimo, para un mejor aislamiento de las radiaciones solares y lograr que exista un intercambio de ventilación entre el interior y el exterior.

❖ Dimensión Diseño

Esta dimensión está relacionada con las formas y dimensión de los elementos, así como los materiales que los conforman.

a) Indicador: la pendiente

Según (Castro-Fernández, Llanes, & Bissiriou, 2021) la cubierta plana ligera son levantadas fácilmente en presencia de fuertes vientos, teniendo en cuenta las características de la cubierta de estudio que se considera ligera por los elementos que la conforman, se quiere lograr disminuir el efecto de succión, para lo cual no debe tener una pendiente de menos de 22 °C, lo que la haría vulnerable totalmente.

b) Indicador: forma de la cubierta

Según Llanes, las cubiertas a cuatro aguas son mejores soluciones, ya que se ha demostrado que son más resistentes ante huracanes. En el caso de la cubierta de estudio, sería recomendable revisar las soluciones de diseño de la misma para lograr que sea invulnerable ante la acción del viento.

c) Indicador: Existencia del proyecto

La existencia del proyecto para la ejecución de la cubierta es vital, ya que debido a que en la mayoría de las veces quien ejecuta está cubierta es la población por esfuerzo propio, por lo que se introduce en la cubierta vulnerabilidad ante factores externos.

❖ Dimensión Ejecución

Cuando hablamos de ejecución, primero para ello existen empresas estatales dedicadas a la ejecución de proyectos, aunque ya existen Trabajadores por Cuenta Propias (TCP) y empresas privadas que asumen la ejecución de obras con mucha rapidez y la calidad que exigen los inversionistas.

a) Indicador: Influencia de la mano de obra

La solución de cubierta ligera, se realizan por esfuerzo propio, determinar la calidad en la ejecución de la cubierta si la misma fue ejecutada por esfuerzo propio con o sin adiestramiento, o llevada a cabo por una brigada especializada en la construcción.

b) Indicador: Información en los documentos técnicos-normalizativos (catálogos, plegables y otros documentos)

En muchas ocasiones no existen catálogos o documentos con sugerencias y recomendaciones para intervenir en la ejecución.

c) Indicador: Calidad de terminación de la cubierta

La cubierta puede ser muy vulnerable si no se le da la calidad de terminación que requiere la misma, tanto en la parte inferior como en la terminación final.

❖ Dimensión Explotación y conservación

La explotación de las obras corre a cargos de los clientes y usuarios u otras empresas dueña de los inmuebles, en cuanto a la conservación en la situación problemática se enuncian un grupo de situaciones que no se cumplen en aras de la obtención de una buena conservación tanto en inmuebles privados como estatales.

a) Indicador: nivel de modificaciones a la cubierta.

Cuando en el proyecto no está la información requerida para la ejecución de la cubierta, se tienen que dar soluciones alternativas y complejas que quizás no fueron concebidas desde un inicio, esto incide en problemas que hacen a la cubierta vulnerable.

b) Indicador: estado técnico de la cubierta

El estado técnico actual que presente la cubierta es determinante en la vida útil de la misma, por lo que un chequeo de posibles defectos que pueda presentar por una mala instalación de la cubierta.

Según este autor finalmente se obtiene una ponderación para tres categorías de 80 a 100 la puntuación es de no vulnerable, de 79 -60, la puntuación es de mediamente vulnerable y cuando la puntuación es menor que 59 la puntuación es de vulnerable.

Igualmente se deben tener presente algunos conceptos generales sobre las cubiertas tales como:

- Por su geometría: inclinada, horizontal, curva, compuesta.
- Por su uso: transitable, no transitable que pueden ser visitable y no visitable.
- Por su peso propio: ligeras y pesadas.
- Por su estructura: caída libre y bajante pluviales, siendo esta última de canales, empotrados y expuestos.

Aunque la gran mayoría de los autores coinciden en la formulación de estas variables que plantea García (2009) como indicadores para la evaluación de las cubiertas, la realidad es que existen muchos métodos cualitativos y cuantitativos, así como metodologías para su estudio y determinación, pero lo cierto es que aún es insuficiente el dominio que se tiene sobre los factores condicionantes y desencadenantes de esta vulnerabilidad. (Guasch, 2008) plantea que entre estos se encuentran los siguientes:

- Ubicación de asentamientos humanos, edificaciones, sociales, viviendas, infraestructura, etc., en zonas propensas a ser afectadas por un determinado peligro.
- Inadecuado ordenamiento territorial que ignore zonas susceptibles a ser afectadas por fenómenos peligrosos (Ejemplo: planificar construcciones en zonas inundables, con peligro a deslizamientos, mala respuesta sísmica de suelos expansivos, etc.).
- Alto grado de vulnerabilidad estructural referida a la poca o nula resistencia de elementos estructurales que sostienen una edificación (Ej. construir obviando criterios sismo-resistentes).
- Alto grado de vulnerabilidad no estructural dentro de las construcciones, referida a la poca o nula resistencia de elementos no estructurales como falsos techos, divisiones interiores, equipamiento, muebles, etc.
- Inadecuado diseño de los sistemas o líneas vitales internas de las edificaciones u obras de infraestructura (Agua, electricidad, comunicaciones, etc.), que les permita seguir funcionando y prestando servicios en situaciones de desastres.

- Falta de exigencia y control de los niveles básicos (poblados, comunidades, municipios, provincias, estados) así como de las normativas y regulaciones para construir edificaciones de forma segura.

1.3 Herramientas para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de las cubiertas ligeras de viviendas

La evaluación de la cubierta ligera teniendo en cuenta las vulnerabilidades a que están sometidas, como vía para la obtención de mejores resultados como paso imprescindible para el desarrollo de la construcción, presupone proponer un procedimiento como instrumento integral de evaluación. Por tanto, se impone el estudio y análisis de otros ya existentes, en busca de aspectos positivos y negativos de los mismos para la mejora continua.

- ✓ (Gomez-Mejia, 1992) propone un manual de preparación y evaluación de proyectos, donde se incluye la necesidad de plantearse objetivos para la evaluación y se comparan opciones para la ayuda a la toma de decisión.
- ✓ (Khurram, Akmal, Raza, Hameed, & Irfan ul Hassan, 2020) proponen un método para la evaluación de los materiales para la construcción sustentable de viviendas. De esta forma, podrían evaluarse los materiales de la construcción. Establece aspectos que tienen en cuenta los costos sociales y ecológicos, presenta una estructura metodológica de los parámetros, indicadores y atributos, basado en criterios de puntuación para su evaluación y ayuda a la toma de decisión en cuanto al material de construcción analizado.
- ✓ (Garza-Ríos, González-Sánchez, Pérez-Vergara, Martínez-Delgado, & Sanler-Cruz, 2012) utilizan un método cualitativo de evaluación para el diseño y construcción sustentable de viviendas, donde se evalúan los proyectos. Presentan un enfoque sistémico para la evaluación bioclimática, acústica y energética para el diseño y construcción sustentable de viviendas. En este trabajo, se cita a (Pérez, 1994) que utiliza un método de indicadores evaluativos de diseño para la evaluación de proyectos de viviendas, donde plantea la necesidad de considerar desde la etapa de diseño aspectos tales como: la participación de la población, necesidad del desarrollo progresivo, confort ambiental, y tener en cuenta la influencia de los elementos

urbanístico en el diseño de vivienda.

- ✓ (Díaz & Dmaz, 1996) plantean la evaluación de los techos ligeros con un enfoque sustentable, donde no se relacionan nuevos aportes. (Abascal Gutiérrez, 2018) propone una valoración de tecnología constructiva de viviendas, para la evaluación de soluciones constructivas de viviendas. Tuvo en cuenta el establecimiento de etapas, de un sistema de puntuación cualitativa y cuantitativa establecida en rangos de valores.
- ✓ (Velásquez, 2012) elaboró procedimiento para la elaboración de proyectos de viviendas con criterios de sustentabilidad. El autor plantea la evaluación de proyectos con criterio sustentable, teniendo como premisa la necesidad de la computarización del sistema de evaluación, el establecimiento de escalas numéricas y gráficas. Utiliza un comité de expertos para la conformación del método, e igualmente propone un sistema de indicadores, atributos y parámetros evaluadores.
- ✓ (Llanes 2006), citado por (Velásquez, 2012) propone un método de evaluación de soluciones constructivas para las viviendas. Considerando el análisis del ciclo de vida de una edificación de vivienda, además de los sistemas de información sobre las soluciones constructivas, y las propuestas de soluciones constructivas a emplear para la ejecución de vivienda apropiadas para zonas específicas.

Para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de las cubiertas ligera, estos autores dan un número considerable de criterios que contribuyen al diseño de un procedimiento. Desde el punto de vista metodológico, algunos de estos métodos de comparación se clasifican en métodos de comparación en la jerarquización o priorización o selección de alternativas de proyectos. Responden a distintos tipos de evaluación que pueden ser clasificados en dos grupos, dependiendo de la cantidad de objetivos con los que puedan trabajar. Los métodos simples, son aquellos que realizan análisis a partir de un solo objetivo y los métodos complejos, que pueden trabajar con varios objetivos simultáneamente.

Una alternativa novedosa resulta integrar los métodos multicriterio a los procedimientos anteriores, no se debe dejar de mencionar que, en los últimos años, los investigadores han examinados diferentes metodologías de toma de decisión multicriterio (MCDM) para

evaluar la sostenibilidad en la construcción y el diseño de infraestructura.

Los métodos multicriterio se han utilizado en la evaluación de puente, edificios, elementos estructurales e instalaciones. Estos se fundamentan a partir del proceso decisorio que requiere de la aplicación de métodos de comparación para apoyar al tomador de decisiones de tal manera que sus decisiones sean plenamente consistente con algún marco de racionalidad adoptado.

1.3.1 Métodos de evaluación y selección multicriterio (MCDM). El método SIMUS

A diario se nos plantean diferentes circunstancias y problemas que conlleva a la toma de decisiones, y esto a menudo se realiza de una manera automática. Pero cuando se desenvuelve en un mundo empresarial o ingenieril, se necesita apoyarse en modelos matemáticos de decisión. Así, cuando contamos con varios criterios estaremos apoyados en modelos de toma de decisiones de criterios múltiples (Multiple-criteria decisión-making, MCDM). Estos modelos pueden ayudar a mejorar la calidad de toma de decisiones de una manera racional y eficiente (Kuk & Chen, 1992).

En el campo de la ingeniería al igual que en cualquier otro campo de estudio, en cuanto al diseño y planificación, existe el momento en el que se deben tomar decisiones que influyen en un gran porcentaje en el éxito de un proyecto de cualquier índole. De aquí surge la necesidad de poseer uno o varios métodos que puedan respaldar una elección determinada. Para esto se han desarrollado diversos métodos de toma de decisiones como los MCDM, que se caracterizan por equiparar variables y o criterios para luego ser transformadas en algoritmos o modelos matemáticos.

No existe una metodología determinada para la selección de este método, ya que todos están diseñados para el mismo fin, sin embargo, hay varios métodos destinados o especiales para la toma de decisiones acorde con el usuario y su aplicación, el usuario deberá determinar el mejor método para poder ser aplicado a su caso de estudio (Portilla Hernández, 2019).

La cubierta ligera, al ser un elemento estructural, debe cumplir con diversos requerimientos económicos, físicos y mecánicos para satisfacer el confort y seguridad de sus ocupantes y de igual manera, satisfacer el diseño en términos de sostenibilidad. Es por ello que, para la selección de materiales como la selección de material único, varios investigadores han realizado contribuciones de investigación en el desarrollo de

métodos de evaluación utilizando herramientas de toma de decisiones y herramientas de optimización. Con respecto al método de evaluación y selección de material, identificaron dos métodos favorables: la toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM) y los métodos de optimización (Sharma, Aggarwal, & Gupta, 1993).

Por lo tanto, la solución viable a este tipo de problemas con varios factores de decisión compatibles e incompatibles, se puede manejar fácilmente con la aplicación y utilización de métodos de toma de decisiones con criterios múltiples. Una de las técnicas más populares en el área de selección de materiales mediante MCDM son los métodos: COPRAS (Complex Proportional Assessment), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) y VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, término Serbio) destacando su aplicación en varios estudios de selección de materiales alternativos en términos de desarrollo sostenible, como lo menciona el importante estudio de (Mousavi-Nasab & Sotoudeh-Anvari, 2017).

Un diseño común en un MCDM se representa por una matriz de decisión, al considerar esta matriz el trabajo de un DM (Decision-making). Su función es identificar la mejor opción (clasificar alternativas) mediante técnicas de MCDM. Cabe destacar que, en este tipo de problemas los atributos se dividen en dos grupos generales: el factor en el que una puntuación más alta será el factor de beneficio y el factor con menor puntuación será el criterio no beneficioso (Mousavi-Nasab & Sotoudeh-Anvari, 2018).

La normalización de la matriz de decisión es el primer paso en casi todos los métodos de decisión multicriterio MCDM. (Jahan & Edwards, 2015) presentaron una buena encuesta sobre técnicas de normalización con métodos MCDM. Determinar el peso de los criterios es otro paso importante dentro del proceso de selección de MCDM, donde los criterios de ponderación son valores positivos que muestran la importancia relativa de varios factores de decisión. Donde un mal proceso de ponderación dentro de una técnica de decisión multicriterio, el resultado de la técnica se producirá de una manera incorrecta.

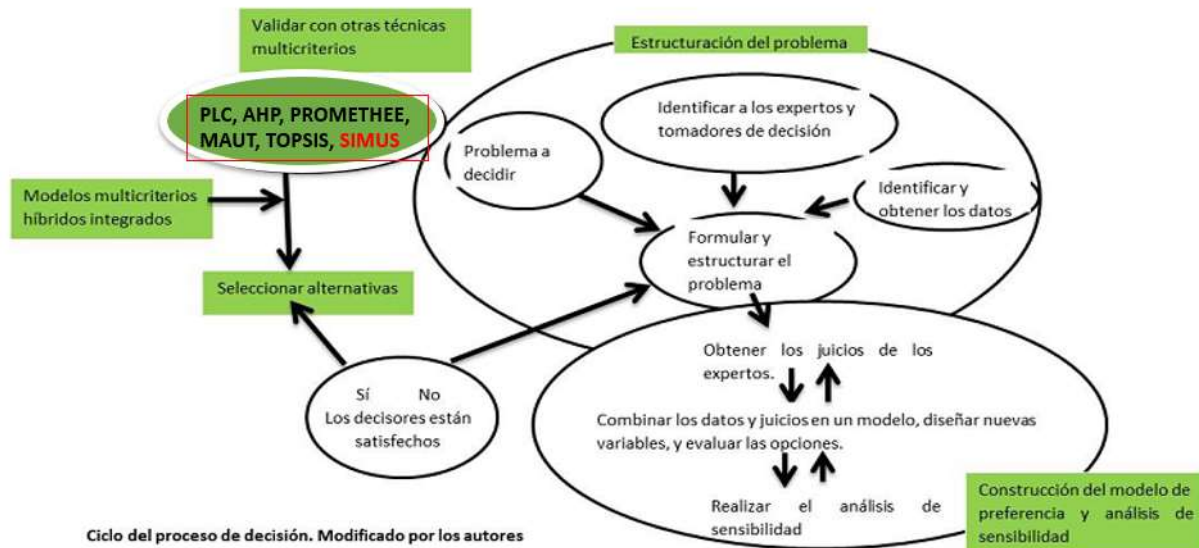


Figura 1.5. Estructura de funcionamiento de los Métodos multicriterio para la toma de decisiones (MCDM) Fuente: Portilla (2019)

Para resolver el dilema de nuevos métodos, surge el método de modelación de secuencia interactiva para gestión urbana, del inglés (SIMUS). Este método se basa en la programación lineal. Primeramente la resolución del problema se comporta como un método continuo y luego al llegar a un espacio de soluciones eficientes, alterna con los métodos discretos (Promethee), llegando a la mejor solución, o a la solución óptima del problema.

La toma de decisiones, una actividad muy importante, trabaja con muchos elementos que están muy relacionados, muchas veces inciertos, con muchas combinaciones y alternativas posibles que dificultan que el Decisor (DM) o usuario llegue a una conclusión y sobre todo teniendo en cuenta que suelen ser diferentes objetivos a alcanzar.

Por todo lo antes referenciado, en esta investigación se tomó como basamento teórico para la resolución del problema objeto de estudio, el método SIMUS, un método ampliamente utilizado en los entornos urbanos y muy ligado a la ingeniería civil. En este caso el objetivo fundamental fue encontrar los óptimos de las afectación de las viviendas, es decir, mayores y menores vulnerabilidades, para luego comparar en cada consejo popular. Luego se tomar el más afectado teniendo en cuenta los múltiples criterios a tener en cuenta. Luego se evalúa cada indicador y cada dimensión o variable con esta ponderación, para conocer los niveles de importancia de cada uno de los elementos a

tener en cuenta, cuando estamos en presencia de fenómenos naturales que afectan el territorio de la provincia de Holguín.

EL método SIMUS (Sequential Interactive Modeling for Urban Systems) fue desarrollado por Nolberto Munier, investigador de la Universidad Politécnica de Valencia en España y probado en muchos y diversos tipos de proyectos. El método se puede utilizar tanto en problemas muy sencillos como en más complejos, con pocas opciones y pocos criterios; también a problemas muy complejos como el análisis de cuencas hidrográficas, donde existen cientos de alternativas u opciones y miles de restricciones (Munier, 2012). Es por esto que a veces es necesario tener una herramienta o método que procese el modelo para la ayuda a la toma de decisión, en la ordenación, clasificación; no solo de los datos, sino en la ordenación de las soluciones. Para ello debe aplicarse algoritmos y procedimiento que hagan viable el procesamiento de la información para la obtención de las mejores soluciones. Luego de todo esto, el decisor examina las soluciones, modifica si es preciso, ajusta y selecciona aquella que satisface la mayoría de su expectativa.

El modelo aquí descrito, fue desarrollado originalmente para escenarios urbanos, como la selección de diferentes proyectos relacionados con alcantarillado, pavimentación, aspectos sociales, de salud y seguridad, aspectos económicos, etc. Sin embargo, hoy en día sus aplicaciones a todo aquello que implica simples, complejos y muy complejos proyectos (Munier, 2012).

Se selecciona un criterio como objetivo y se resuelve el programa lineal. El resultado obtenido se guarda en una matriz y el objetivo se restaura al sistema de restricciones como criterio. Este procedimiento continúa hasta que todos los criterios que el decisor haya seleccionado como objetivos se hayan considerado. Esta matriz tendrá tantas filas como objetivos y tantas columnas como proyectos evaluados

1.4 Diagnóstico del estado actual de las cubiertas ligeras de viviendas en el municipio Holguín

El municipio de Holguín, capital de la provincia con el mismo nombre abarca un área de 657,53 km², provincia donde el mayor peso de su economía está en los sectores industriales y de servicios, se estima que su población esté en los 344 428 habitantes. Compuesto además por 137 asentamientos, dos núcleos urbanos, Holguín y San

Andrés, funcionando el primero como centro superior y el segundo como subcentro. Para el estudio se tomó como evento el huracán IKE, categoría III, en la escala Saffir/Simpson, además de vientos de más de 120 km/h, con cuatro horas de intensas lluvias y vientos.

Igualmente el fondo habitacional de vivienda ascendía a 102 718 viviendas, de ellas en regular estado el 15 %, en estado malo el 22 % y entre regular y malas el 37 %. Los vientos asociados al evento derribaron 8 960 árboles, muchos de ellos con más de 200 años de existencia, en los alrededores de la ciudad; así como más de 20 000 árboles de forma aislada. Se debe destacar que el derribo de las mayorías de los árboles fue la causa de muchas de las afectaciones en la vivienda.

Cuando se analizan los resultados que muestran los estudios de PVR del año 2011, se observa cómo se concentra la Vulnerabilidad Estructural ante Fuertes Vientos por municipios para Huracán Categoría 1(C1). Se encontró que los municipios de Holguín, Rafael Freyre y Gibara son los más vulnerables de la provincia; mientras que para un Categoría 3 (C3) se mantienen con los máximos valores Holguín, Gibara y se agrega Moa, Figura 1.5.

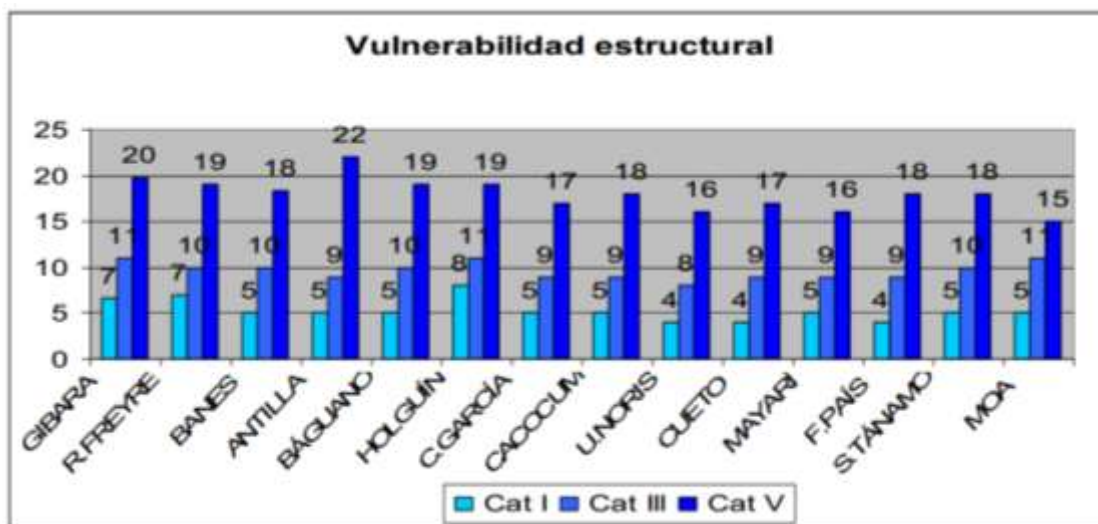


Figura 1.5. Vulnerabilidad Estructural ante Fuertes Vientos por municipios para Huracán Categoría 1, 3 y 5. Fuente Estudio PVR, 2011

En general, observamos tanto en gráfica de barra, como en la tendencia lineal (Figura 1.5) que la Vulnerabilidad Estructural para un Categoría 5 (C5) se incrementa de forma general en todos los municipios de la provincia con respecto a las categorías inferiores siendo Antilla el de mayor vulnerabilidad, mientras se mantiene Gibara en el segundo lugar y Holguín en tercero, también los municipios de Rafael Freyre y Báguano están entre los de mayores vulnerabilidad.

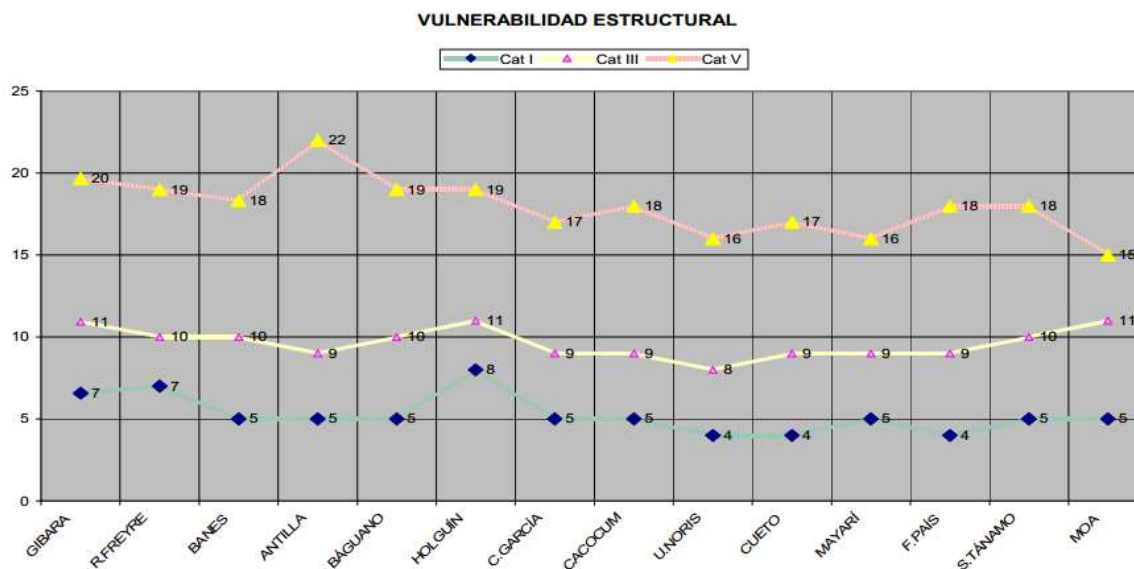


Figura 1.6. Vulnerabilidad Estructural ante Fuertes Vientos por municipios para Huracán Categoría 1, 3 y 5. Fuente Estudio PVR, 2011

En el caso del municipio de Holguín se mantienen altas sus vulnerabilidades como podemos observar en el grafico tanto para un CI un CIII y CV, ya que es el municipio cabecera de la provincia con la mayor concentración de viviendas y población .El centro urbano de este municipio compuesto por los consejos populares centro sur y centro Norte tienen muchas viviendas antiguas, con techos de tejas y vigas en mal estado y otros consejos populares periféricos (Estudio PVR, 2011).

También con alta concentración de población y viviendas como Alcides Pino, Vista Alegre, Pueblo Nuevo, Harlem y Edecio Pérez tienen viviendas clasificadas en tipologías III, IV y V, que representan el 57,5% del total de las viviendas con cubiertas poco resistentes a la fuerza de los vientos. Un gran porcentaje de estas viviendas se encuentran en Muy mal, Mal estado constructivo o Regular, que en su total representan

el 33% del total de viviendas del municipio con estas tipologías y el 20% del total de las viviendas en general. También confluye el hecho de que se encuentran una gran cantidad de edificios, que con la altura, están expuesto al impacto de vientos más fuertes, ejemplo en los Consejos Populares Pedro Días Coello y el Distrito Lenin (Estudio PVR, 2011).

Este estudio, muestra además un resumen de la Vulnerabilidad Total, ante el peligro de Fuertes Vientos fue el resultado de la suma de los valores de todas sus vulnerabilidades.

- Vulnerabilidad Estructural
- Vulnerabilidad no Estructural
- Vulnerabilidad Funcional
- Vulnerabilidad Social
- Vulnerabilidad Ecológica
- Vulnerabilidad Económica

Los resultados los representa en un Mapa de vulnerabilidad (Figura 1.7)

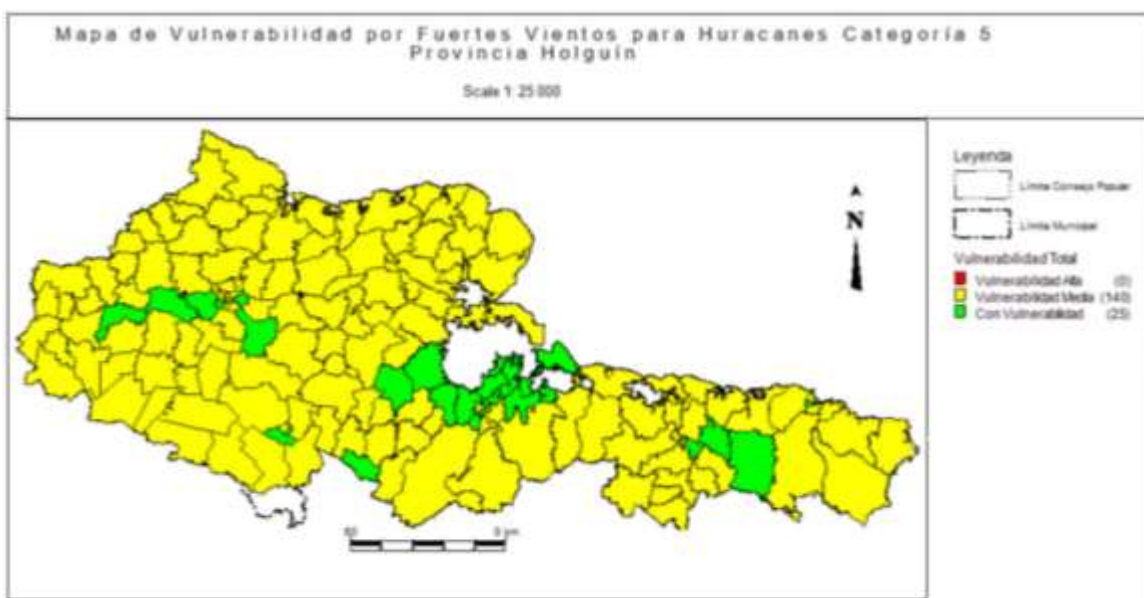


Figura 1.7 Mapa de Vulnerabilidad por Fuertes Vientos para la Provincia. Fuente Estudio PVR, 2011

Para un Categoría V, predomina en toda la provincia la vulnerabilidad media como podemos observar en el mapa, con 140 consejos populares afectados para un 84,8 % del total de la provincia, aquí solo quedan exentos, y alcanzan vulnerabilidad baja

algunos consejos pertenecientes al municipio de Mayarí, y en menores grados algunos Consejos Populares de Holguín y Calixto García. No obstante este estudio no quiere decir que estemos exento de tener municipios con alta vulnerabilidad en presencia de huracanes intensos o muy intensos.

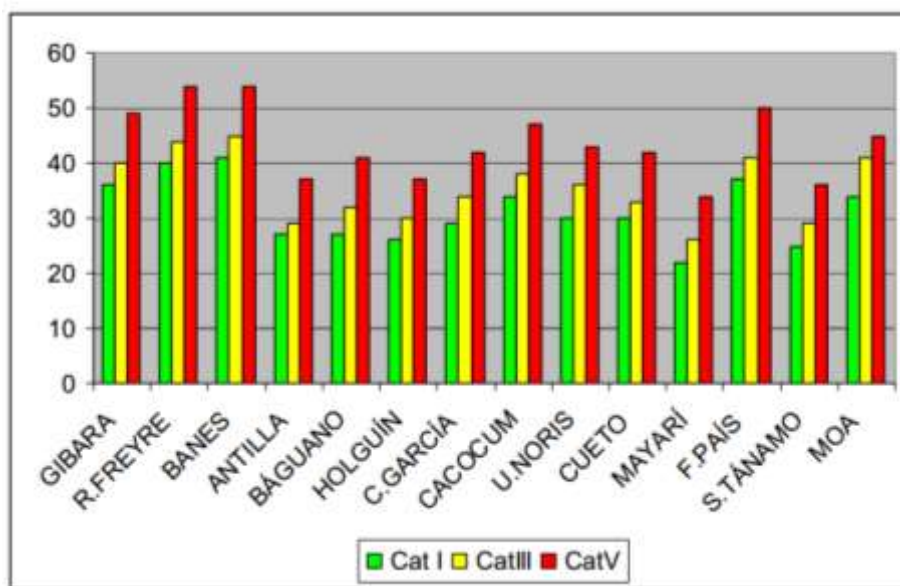


Figura 1.8 Vulnerabilidad Total por Municipios Fuente Estudio PVR, 2011

Si bien para el municipio de Holguín la Vulnerabilidad Total ante un Categoría I y III alcanzó valores bajos con respecto a otros municipios de la provincia, es importante destacar que la ciudad de Holguín aún en ella centros industriales y sociales importantes de la provincia, a lo que se le suma el hecho de que su casco histórico tiene mucha importancia desde el punto de vista urbanístico, social y cultural. Es por ello que se le debe prestar especial atención a la disminución de las vulnerabilidades ante la afectación de Fuertes Vientos y tener en cuenta en el Consejo Populares de Alcides Pino, que el estudio refleja que desde la afectación de un Categoría I hasta un Categoría V, ya presenta vulnerabilidad media, por lo que es el consejo más vulnerable del municipio Holguín y uno de los más vulnerables de la provincia.

Profundizando en la caracterización del objeto de estudio nos remitimos a la tabla 1, donde se muestra los consejos populares urbanos (13 en total, con 6, en los alrededores del municipio de Holguín).

Tabla 1. Afectaciones de los Consejos Populares. Fuente: IPF, 2022.

Consejo Populares	Tipos de Afectaciones					Viviendas que demandan áreas para su nueva ubicación
	Techos Parciales	Techos Total	Derrumbe Parcial	Derrumbe Total	Total de Afectaciones	
Consejos Urbanos						
Alcides Pino	2589	890	216	269	3964	54
Vista Alegre	1360	504	107	109	2080	22
Pedro Díaz Cuello	130	21	13	22	186	1
Pueblo Nuevo	1463	289	71	66	1889	13
Harlem	798	260	47	61	1166	16
Alex Urquiola	612	304	90	29	1035	6
Edecio Pérez	776	219	44	92	1131	19
Lenín	1648	418	187	208	2461	42
Centro Ciudad Norte	1095	132	137	41	1405	8
Centro Ciudad Sur	595	80	26	14	715	8
San Rafael	1643	193	200	257	2293	13
San Andrés	429	56	42	67	594	51
Pedernales	390	78	44	15	527	12
Sob-Total	13840	3519	1292	1307	19958	284
Consejos Rurales						
Purnio	385	225	26	34	670	14
Aguas Claras	264	75	12	50	401	7
Sao Arriba	217	177	34	149	577	10
La Cuaba	251	68	28	18	365	4
El Purial	478	289	39	65	871	30
Yareyal	848	93	63	99	1101	3

Sub-Total	2441	927	202	415	3985	68
Total	16281	4448	1494	1722	23943	352

Como se puede apreciar, los consejos populares urbanos más afectados son Alcides Pinos, Vista Alegre, Pueblo Nuevo, Reparto Lenin y San Rafael. Dentro de los consejos populares rurales estuvieron los siguientes: Purnio, Aguas Clara, Sao Arriba, La Cuaba, y El Purial. Dentro d ellos los más afectados fueron: Purnio, Sao Arriba y el Purial. Los criterios que se tomaron como referencia para el estudio fueron afectaciones en techos parciales, afectaciones en techos totales, como criterios más importantes a tener en cuenta. Se manejaron otros criterios tales como: afectaciones de derrumbes parciales, totales, viviendas que demandas nuevas ubicaciones y el total de afectaciones que, para nuestros casos, fue considerada nuestra principal función objetivo.

Independientemente que se puede apreciar que el consejo popular de Alcides Pinos es uno de los consejos populares con más afectaciones, no se conoce cuáles son los óptimos de cada variable esencial que fueron declaradas.

1.5 Conclusiones parciales

- Se analizaron los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan la evaluación de la vulnerabilidad estructural de cubiertas ligeras en la ciudad de Holguín.
- Se comprobó que no existe un procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de cubiertas ligeras con enfoque multicriterio en viviendas del municipio Holguín.

CAPÍTULO 2: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA LIGERA DE VIVIENDAS EN EL MUNICIPIO HOLGUÍN

En este capítulo se propone un procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas con cubierta ligera, donde se involucra el método SIMUS como enfoque multicriterio para la optimización de los resultados. Se aplica el procedimiento propuesto en el municipio Holguín.

2.1. Concepciones metodológicas para el diseño de un procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de las cubiertas ligeras

García Rodríguez (2009) propone un procedimiento para evaluar la solución de cubierta metálica Metunas y Vencor en viviendas desde el punto de vista de su vulnerabilidad y conservación. Se realiza con el propósito de mejorar la vulnerabilidad y conservación de la tecnología, en las soluciones de cubiertas metálicas en Cuba.

Se realiza un estudio exploratorio descriptivo, diseñando y proponiendo un procedimiento para su evaluación desde el punto de vista de su vulnerabilidad, una vez obtenida las variables, se diseña y aplica un procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad de las cubiertas basado en el análisis de las variables medio ambiente, diseño, ejecución y explotación y conservación, siendo el diseño y la ejecución las que inciden en mayor grado en la vulnerabilidad y conservación de las mismas. Dicho proceder resultó una herramienta útil como instrumento de evaluación de la vulnerabilidad de las cubiertas metálicas, representada de forma general en la Figura 2.1.

A partir de esta investigación, se adaptó para incluir la evaluación a través del enfoque multicriterio (Figura 2.2).

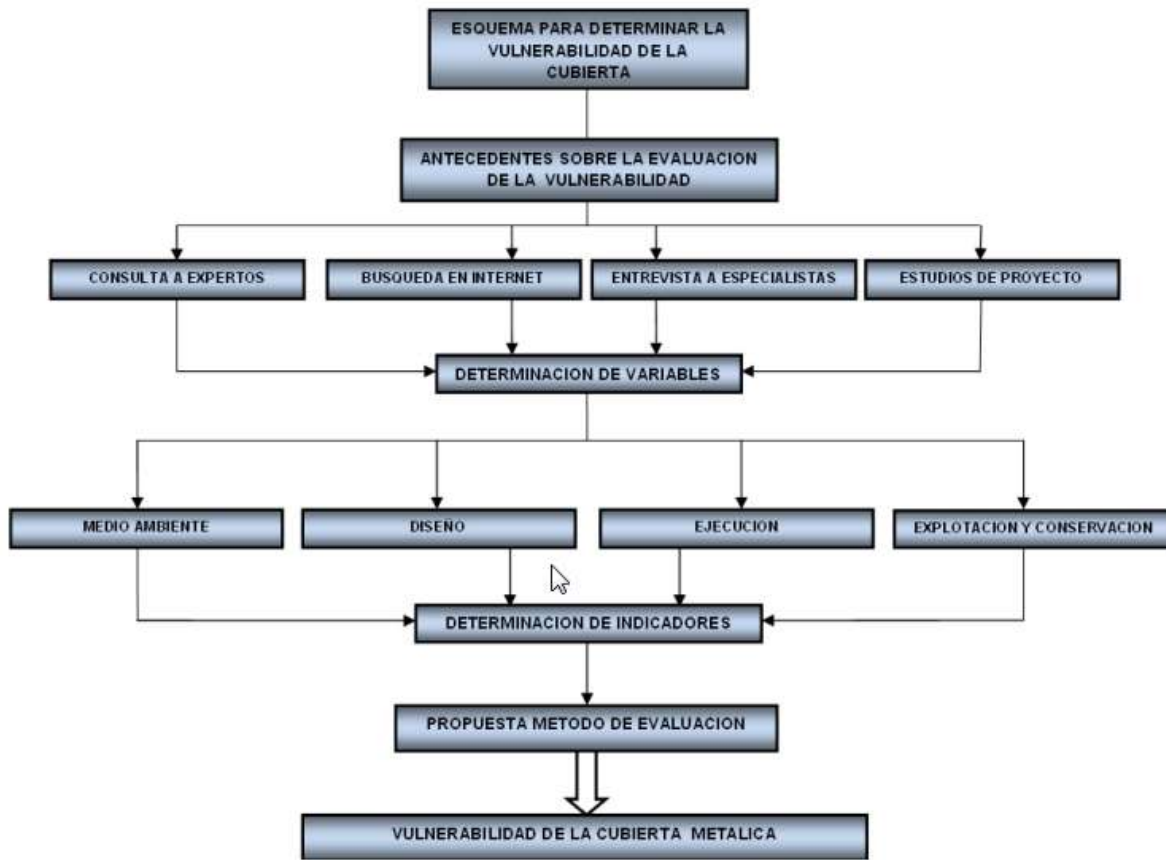


Figura 2.1. Procedimiento de referencia García Rodríguez (2009).

La concepción del procedimiento o metodología se concibió de la siguiente forma:

1. Se procedió a la búsqueda de información en los organismos del estado, tales como la dirección provincial de la vivienda, planificación física y la defensa civil.
2. Se entrevistaron y encuestaron expertos en todo el territorio, no solo en los organismos, sino también en los consejos populares en busca de nuevas informaciones y corroborar la ya existente.
3. Se realizó una búsqueda bibliográfica referente al objeto de estudio, en busca de procedimiento, metodología o una teoría que sirviera de base para nuestra investigación.
4. Luego se propuso un procedimiento con un nuevo enfoque multicriterio, debido a la existencia de varias alternativas, para nuestro caso los consejos populares y múltiples criterios.

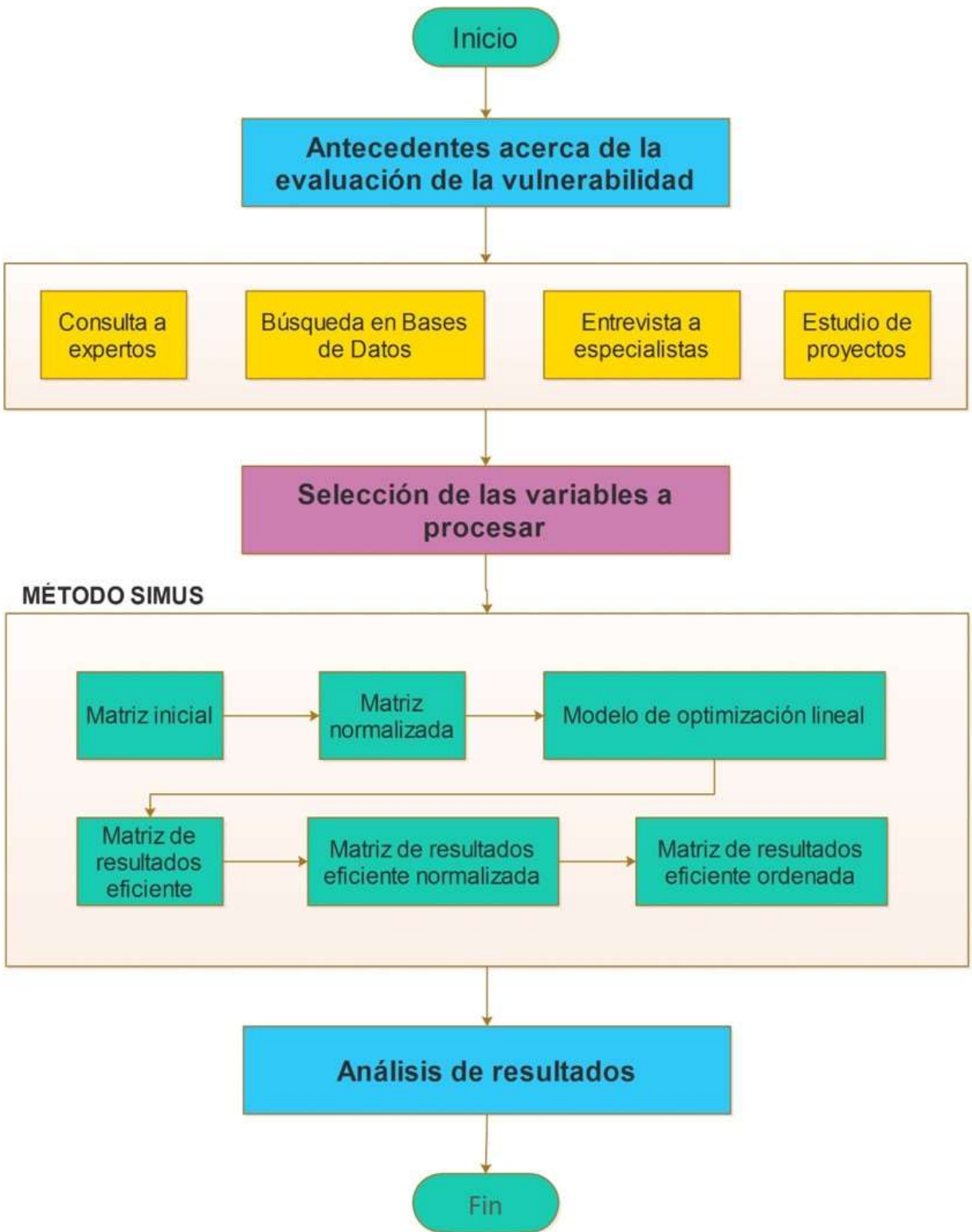


Figura 2.2. Procedimiento adaptado.

5. Luego de esto, se procedió a encontrar un método de ayuda a la toma de decisión (MCDM), que encajaran en las condiciones o restricciones que se tenían, escogiéndose el método SIMUS, un método muy relacionado con la evaluación y selección de proyectos en sectores de la construcción.
6. Luego de aplicar este método, que combina la programación lineal, a través del método SIMPLEX y los métodos de sobre clasificación de la escuela francesa, se podrá conocer el consejo popular más afectado.
7. Esto finalmente permitirá proponer un plan de medida o de acción para mitigar las afectaciones que se producen por estos eventos naturales.

2.2. Propuesta y Aplicación de procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de las cubiertas ligeras de viviendas en el municipio Holguín

❖ Descripción del procedimiento

Primer paso: Construcción de la matriz de decisión (1) y (2).

$$P = [P_1]; j = (1,2, \dots, m) \dots\dots\dots(1)$$

$$C = [C_1]; j = (1,2, \dots, n) \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

P: Son los diferentes proyectos, en este caso las diferentes zonas de estudio.

C: Son los diferentes criterios, que serán convertido en objetivos.

Construcción de la Matriz de datos (3):

$$A = [a_{ij}] \dots\dots\dots(3)$$

Donde los elementos a_{ij} expresan los aportes negativos o positivos de cada proyecto (j) a cada criterio (i).

Al aplicar este método, los criterios tienen una doble función según su empleo. Es decir, que una función a optimizar en cada escenario, será uno de los s criterio-objetivo y los valores de las variables x_{rj} indicarán la participación del j-ésimo proyecto cuando el r-ésimo criterio se escoge como función objetivo-criterio, de acuerdo a cómo se use, puede interpretarse como objetivo o como restricción (4).

$$X = [X_{rj}]; r = 1,2, \dots, s \dots\dots\dots(4)$$

❖ Matriz de Resultados Eficientes

La solución óptima de cada programa lineal, si existe, se transcribe a una matriz denominada de resultados óptimos o de resultados eficientes (RE), ecuación 5, la cual se define como Pareto eficiente.

$$RE = [X_{rj}] \dots \dots \dots (5)$$

Al ser normalizada por la suma (6), el modelo se quedaría de la siguiente forma:

$$REN = [X_{rj}] = \left[\frac{x_{rj}}{\sum_j x_{rj}} \right] \dots \dots \dots (6)$$

A partir de la matriz de resultados normalizada el método plantea realizar dos procedimientos de ordenación.

❖ Primer procedimiento de ordenación

Se analiza la matriz REN en columna (7), sumando los valores que componen cada una, lo cual da el valor suma proyecto (SCj).

$$SC_j = \sum_r V_{rj} \quad j = 1, \dots, m \dots \dots \dots (7)$$

Y como en cada proyecto participa un número determinado de proyectos, se debe considerar el grado de participación de cada uno(8), mediante el factor de participación (FPj).

$$FP_j = \frac{q}{s} \dots \dots \dots (8)$$

Donde q es igual al número de veces que $V_{rj} > 0$, la proporción de veces que el proyecto j participó en los S, programas lineales.

Luego, el valor de la puntuación de cada proyecto (VPj) a través del producto (9).

$$VP_j = SC_j * FP_j \quad j = 1, \dots, n \dots \dots \dots (9)$$

Este valor se utiliza para realizar el primer ordenamiento.

❖ Segundo procedimiento de ordenación, método de sobre clasificación

A partir de la matriz REN, para cada r-ésimo criterio-objetivo se comparan los proyectos de forma pareada, calculando la diferencia (δ_{jk}^r) entre los valores de los V_{rj} esto se hace solamente para los casos en lo que estas diferencias sean positivas y se registran en una matriz $D^r = [\delta_{jk}^r]$ (10).

$$\delta_{jk}^r = V_{rj} - V_{rk} \ ; \ \text{si } V_{rj} \geq V_{rk} \quad j = 1, \dots, m; \quad k = 1, \dots, m \dots\dots\dots(10)$$

Cada elemento δ_{jk}^r de esta matriz puede interpretarse como la medida en que el proyecto j domina al proyecto k, en el r-ésimo criterio considerado. De esta manera, se generan tantas matrices como criterios- objetivos se hayan propuesto, la suma de estas matrices, dará como resultado una matriz de dominancia $DO = [\delta_{jk}^r]$ (11).

$$d_{jk} = \sum_r \delta_{jk}^r \quad r = 1, \dots, s \dots\dots\dots(11)$$

Las filas de esta matriz corresponden a los proyectos dominantes en tanto las columnas identifican a los proyectos dominados, de igual forma la suma de las filas nos entrega el valor de dominancia del j-ésimo proyecto (θ_j^+), en tanto el valor de cada columna da el valor dominado (θ_j^-) del proyecto (12, 13).

$$\theta_j^+ = \sum_k d_{jk} \quad j = 1, \dots, m \dots\dots\dots(12)$$

$$\theta_j^- = \sum_k d_{jk} \quad k = 1, \dots, m \dots\dots\dots(13)$$

Para lograr una ordenación se realiza la diferencia entre ambos valores o dominancia neta (14).

$$\theta_j = \theta_j^+ - \theta_j^- \dots\dots\dots(14)$$

Por lo que aquella alternativa que posea mayor valor de dominancia, será entonces la alternativa seleccionada. Luego de tener los óptimos para cada criterio antes seleccionado, podemos compararlos con los elementos que aporta cada consejo popular. De esta forma, podemos llegar al que esté por encima de este valor o el más próximo, tendremos entonces una medida o patrón para evaluar las mayores afectaciones producidas en cubiertas; así como los criterios y variables o dimensiones de mayores pesos para tener en cuenta y poder direccionar los recursos materiales, humanos y financieros para garantizar la mejores soluciones al problema.

2.3 Modelación matemática para la aplicación del método SIMUS.

Se aplicaron 2 variantes en el procedimiento, una primera, utilizando los 6 criterios de la tabla de afectaciones, y una segunda variante, donde solo se tuvieron en cuenta los 4

primeros criterios. Esto nos permitirá comprobar cómo influye en los resultados la selección por parte del decisor, de determinado criterio para la evaluación, y así comparar los resultados obtenidos.

Primer paso: se construye la matriz de decisión (Tabla 2).

Tabla 2. Matriz de decisión.

Criterios/Objetivos	Alternativas					Acción
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	
Afectaciones parciales de techos	2589	1360	1463	1648	1643	Minimizar
Afectaciones totales de techos	890	504	289	418	193	Minimizar
Derrumbes parciales	216	107	70	187	200	Minimizar
Derrumbes totales	269	109	66	208	257	Minimizar
Demanda de nueva área para viviendas	54	22	13	42	13	Minimizar
Afectaciones totales	3969	2080	1889	2461	2293	Minimizar

Segundo paso: normalización de la matriz (Tabla 3).

Tercer paso: Tratamiento de los criterios cualitativos.

Tabla 3. Matriz normalizada y de tratamiento de datos cualitativos.

Criterios/Objetivos	Alternativas					Suma
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	
Afectaciones parciales de techos	2589	1360	1463	1648	1643	8703
Afectaciones totales de techos	890	504	289	418	193	2294
Derrumbes parciales	216	107	70	187	200	780
Derrumbes totales	269	109	66	208	257	909
Demanda de nuevas áreas	54	22	13	42	13	144
Afectaciones totales	3969	2080	1889	2461	2293	12692

Cuarto paso: Construcción de la matriz de resultados eficientes (Tabla 4).

Tabla 4. Matriz de resultados eficientes.

Criterios/Objetivos	DATOS NORMALIZADOS					
	Afectaciones parciales de techos	0.2975	0.1563	0.1681	0.1894	0.1888
Afectaciones totales de techos	0.3880	0.2197	0.1260	0.1822	0.0841	\geq 0.0841
Derrumbes parciales	0.2769	0.1372	0.0897	0.2397	0.2564	\geq 0.0897
Derrumbes totales	0.2959	0.1199	0.0726	0.2288	0.2827	\geq 0.0726
Demanda de nuevas áreas	0.3750	0.1528	0.0903	0.2917	0.0903	\geq 0.0903
Afectaciones totales	0.3127	0.1639	0.1488	0.1939	0.1807	\geq 0.1488

Ya que todos los criterios son de minimización, los términos independientes de la columna de la derecha tendrán los respectivos valores mínimos de cada fila o aquellos valores mínimos que sean restricciones del problema. Así, en cada corrida y escenario, los programas lineales a resolver serán:

- Primer escenario:

$$\text{Min}Z = 0.2975x_1 + 0.1563x_2 + 0.1681x_3 + 0.1894x_4 + 0.1888x_5 \quad (15)$$

Sujetas las x_j a las siguiente restricciones:

$$0.3880x_1 + 0.2197x_2 + 0.1260x_3 + 0.1822x_4 + 0.0841x_5 \geq 0.0841$$

$$0.2769x_1 + 0.1372x_2 + 0.0897x_3 + 0.2397x_4 + 0.2564x_5 \geq 0.0897$$

$$0.2959x_1 + 0.1199x_2 + 0.0726x_3 + 0.2288x_4 + 0.2827x_5 \geq 0.0726$$

$$0.3750x_1 + 0.1528x_2 + 0.0903x_3 + 0.2917x_4 + 0.0903x_5 \geq 0.0903$$

$$0.3127x_1 + 0.1639x_2 + 0.1488x_3 + 0.1939x_4 + 0.1807x_5 \geq 0.1488$$

Siendo x_j el aporte del proyecto j al criterio 1

- Segundo escenario

$$\text{Min } Z = 0,425x_1 + 0,120x_2 + 0,111x_3 + 0,128x_4 + 0,215x_5 + 0,2197x_{2+} + 0,1260x_{3+} + 0,1822x_{4+} + 0,0841x_5 \quad (16) \quad \text{Min } Z = 0.3880x_1 +$$

Sujetas las x_j a las siguiente restricciones:

$$0.2975x_1 + 0.1563x_{2+} + 0.1681x_{3+} + 0.1894x_{4+} + 0.1888x_5 \geq 0.1563$$

$$0.2769x_1 + 0.1372x_{2+} + 0.0897x_{3+} + 0.2397x_{4+} + 0.2564x_5 \geq 0.0897$$

$$0.2959x_1 + 0.1199x_{2+} + 0.0726x_{3+} + 0.2288x_{4+} + 0.2827x_5 \geq 0.0726$$

$$0.3750x_1 + 0.1528x_{2+} + 0.0903x_{3+} + 0.2917x_{4+} + 0.0903x_5 \geq 0.0903$$

$$0.3127x_1 + 0.1639x_{2+} + 0.1488x_{3+} + 0.1939x_{4+} + 0.1807x_5 \geq 0.1488$$

Siendo x_j el aporte del proyecto j al criterio 2

Y así sucesivamente hasta llegar a optimizar cada inecuación tomando como restricciones las demás.

❖ Variante 2 a Modelar

En esta segunda corrida como bien se explicó anteriormente sólo se tendrá en cuenta los siguientes criterios.

1. Afectaciones parciales de techos.
2. Afectaciones totales de techos.
3. Derrumbes parciales.
4. Derrumbes totales.

2.4 Análisis de los resultados. Primera Variante

En la Figura 2.3 se aprecia la interface de la herramienta informática SIMUS. En la Figura 2.4 se muestra la matriz de decisión resultado de la ubicación de las ecuaciones en la herramienta informática.

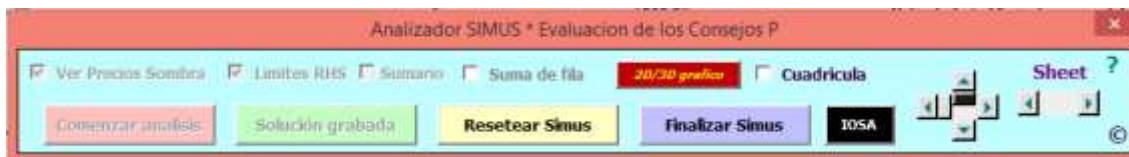


Figura 2.3. Interface de la herramienta informática SIMUS.



Matrix (LHS)
Projects - Alternatives - Options

Criteria/Objetives	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5
Criterio 1	2589.00	1360.00	1463.00	1648.00	1643.00
Criterio 2	890.00	504.00	289.00	418.00	193.00
Criterio 3	216.00	107.00	70.00	187.00	200.00
Criterio 4	269.00	109.00	66.00	208.00	257.00
Criterio 5	54.00	22.00	13.00	42.00	13.00
Criterio 6	3969.00	2080.00	1889.00	2461.00	2293.00

Figura 2.4. Matriz de decisión.

Luego de la introducción del dato al software, como se muestra en la Figura 2.5, se procede a obtener los resultados del proceso de optimización.

Computed

Required		Results LHS values	Action	Operator	RHS Cr.Limits
1360.00	Criterio 1	0.00	MIN	IV	1360.00
193.00	Criterio 2	0.00	MIN	IV	193.00
70.00	Criterio 3	0.00	MIN	IV	70.00
66.00	Criterio 4	0.00	MIN	IV	66.00
13.00	Criterio 5	0.00	MIN	IV	13.00
1889.00	Criterio 6	0.00	MIN	IV	1889.00

Figura 2.5. Introducción del dato a la herramienta.

En la Figura 2.6 se muestra la matriz inicial, donde se correlacionan los criterios analizados respecto a los proyectos considerados.

Initial Matrix (LHS (6x5))

	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5
Criterio 1	2589.00	1360.00	1463.00	1648.00	1643.00
Criterio 2	890.00	504.00	289.00	418.00	193.00
Criterio 3	216.00	107.00	70.00	187.00	200.00
Criterio 4	269.00	109.00	66.00	208.00	257.00
Criterio 5	54.00	22.00	13.00	42.00	13.00
Criterio 6	3969.00	2080.00	1889.00	2461.00	2293.00

Figura 2.6. Matriz de correlación.

En la Figura 2.7 se muestra la matriz de resultados eficientes, donde se aprecian los límites inferiores y superiores de los valores alcanzado por las variables esenciales, así como la normalización de estos valores.

Efficient Results Matrix (ERM)

	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5
Criterio 1	0.48				
Criterio 2				0.08	0.75
Criterio 3			1.00		
Criterio 4		0.00	1.00		
Criterio 5			0.26		0.61
Criterio 6			0.88	0.03	0.01

Figura 2.7. Resultado alcanzado por la matriz de resultados eficientes.

En las Figuras 2.8, 2.9 y 2.10 se puede apreciar el resultado final del software. Se aprecia que el proyecto 3, Consejo Popular de Vista Alegre, fue el más ponderado, seguido por el 5, luego el 1, el 4 y finalmente el 2.

Efficient Results Matrix (ERM) Normalized

	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5
Criterio 1	1.00				
Criterio 2				0.09	0.91
Criterio 3			1.00		
Criterio 4			1.00		
Criterio 5			0.30		0.70
Criterio 6			0.95	0.04	0.01

Sum of Column (SC)	1.00	0.00	3.25	0.13	1.62
Participation Factor (PF)	1	0	4	2	3
Norm. Participation Factor (NPF)	0.17	0.00	0.67	0.33	0.50
Final Result (SC x NPF)	0.17	0.00	2.17	0.04	0.81

ERM Ranking **Proyecto 3 - Proyecto 5 - Proyecto 1 - Proyecto 4 - Proyecto 2**

Figura 2.8. Resultado final de la aplicación de la herramienta informática.

Project Dominance Matrix (PDM)

Subordinated projects - alternatives - options						Row sum of dominant projects
Dominant proj.	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	
Proyecto 1		1.0	1.0	1.0	1.0	4.0
Proyecto 2	0.0			0.0	0.0	0.0
Proyecto 3	3.3	3.3		3.2	2.9	12.7
Proyecto 4	0.1	0.1	0.1		0.0	0.4
Proyecto 5	1.6	1.6	1.3	1.5		6.1
Column sum of subordinated projects	5.0	6.0	2.4	5.7	4.0	

PDM Ranking **Proyecto 3 - Proyecto 5 - Proyecto 1 - Proyecto 4 - Proyecto 2**

Figura 2.9. Resultado final de la aplicación de la herramienta informática.

Note: Aclaraciones...

Parameters used and additional constraints

	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5
Project weight	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No negatives	Yes				
Assume lineal	Yes				
Precision	0.000001				
Convergence	0.0001				
Tolerance	1 %				
Automatic scale	Yes				
Criteria objective	6				

Row sum of dominant projects

4.0
0.0
12.7
0.4
6.1

Net dominance

-1.0
-6.0
10.3
-5.3
2.1

Description of Projects

Proyecto 1 => Alcides Pinos
Proyecto 2 => Vista Alegre
Proyecto 3 => Pueblo Nuevo
Proyecto 4 => Reparto Lenin
Proyecto 5 => San Rafael

Figura 2.10. Resultado final de la aplicación de la herramienta informática.

En las Figuras 2.11 y 2.12, se puede apreciar cómo se mueven los criterios, en el proceso de optimización de los criterios los mínimos y máximos que pueden tomar en el proceso.

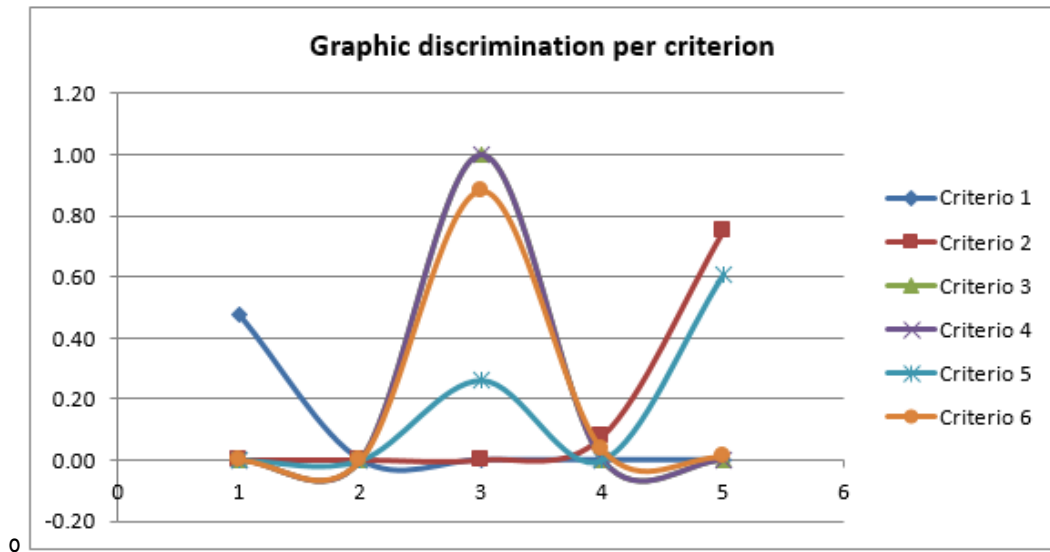


Figura 2.11. Mínimo y máximo de los criterios en el proceso de optimización.

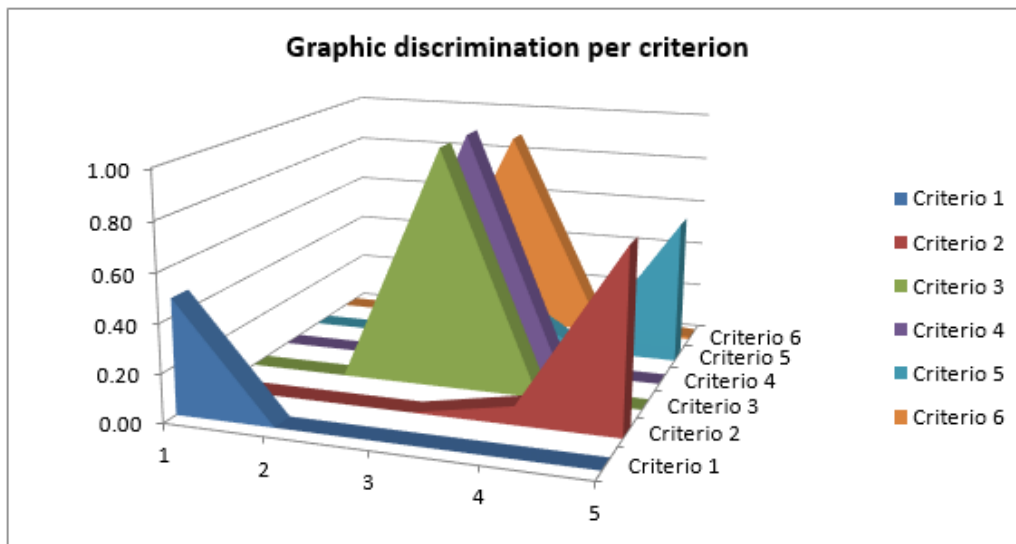


Figura 2.12. Mínimo y máximo de los criterios en el proceso de optimización.

En la Figura 2.13 se observan los precios sombras, son estos los valores que pueden tomar las variables esenciales o de eficiencia para que los proyectos, mantengan su posición en el ranking, antes seleccionado.

Criteria allowable limits.

	Increment	Decrement
	Z1	Z1
Criterion 6	1E+30	602.75
	Inc. Z2	Dec. Z2
Criterion 5	21.66	2.24
Criterion 1	283.00	15.90
	Inc. Z3	Dec. Z3
Criterion 5	5.67	
	Inc. Z4	Dec. Z4
Criterion 5	3.16	
	Inc. Z5	Dec. Z5
Criterion 6	404.00	34.32
Criterion 2	96.00	26.31
	Inc. Z6	Dec. Z6
Criterion 3	78.41	1.19
Criterion 1	103.00	430.12
Criterion 5	0.33	0.98

Figura 2.13. Precios sombras de las variables.

2.5 Análisis de los resultados. Segunda Variante

En la Figura 2.14, se puede apreciar como para esta corrida y escenario se modela el problema con solo cuatros criterios, para el proceso de simulación.

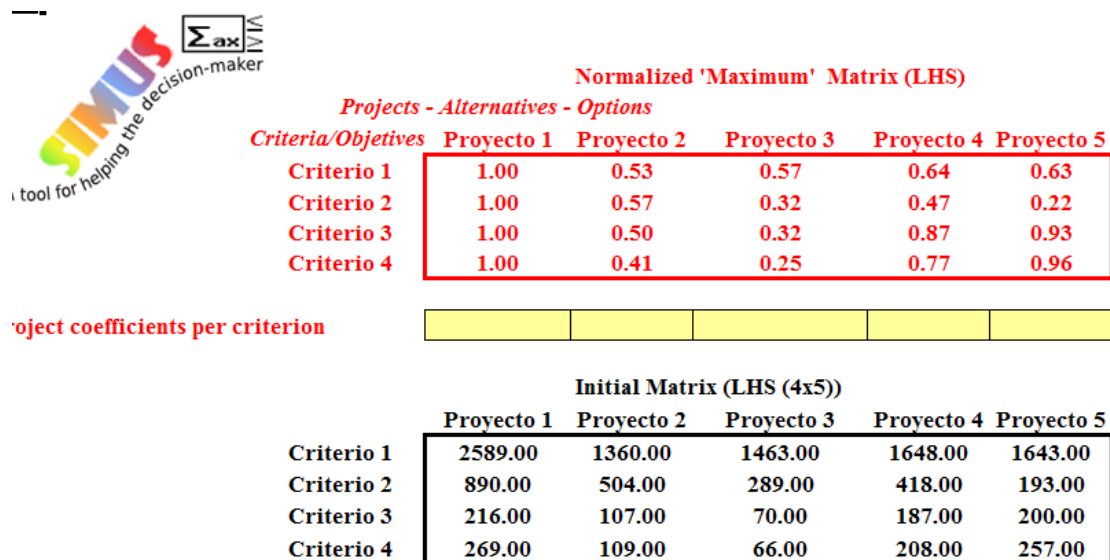
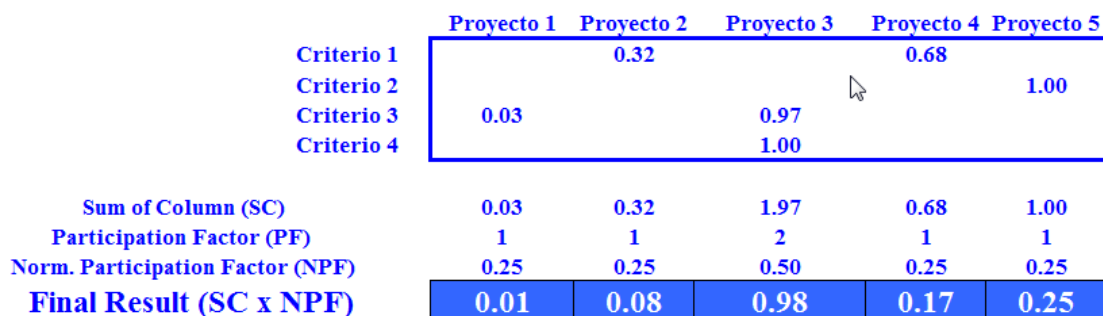


Figura 2.14. Modelación y normalización del dato.

En la Figura 2.15 tenemos el resultado de la modelación y simulación donde se puede apreciar que el proyecto 3, Consejo Popular de Pueblo Nuevo, no deja de ser la mejor alternativa, pero la alternativa proyecto Consejo Popular Vista Alegre deja de ser la peor, ocupando el lugar ahora el proyecto Consejo Popular de Alcides Pinos.



ERM Ranking **Proyecto 3 - Proyecto 5 - Proyecto 4 - Proyecto 2 - Proyecto 1**

Figura 2.15. Resultado de la Modelación y simulación del proceso.

2.5.1 Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad que se desprende de esta simulación nos demuestra que la solución al problema se valida con la selección de una alternativa bien robusta, cuando en las dos corridas la solución se mantiene, siendo el proyecto del Consejo Popular de Pueblo Nuevo como mejor solución, o solución satisfaciente. Mientras tanto el Consejo Popular Alcides Pino resulta el más vulnerable, coincidiendo con lo planteado en (Figura 2.16).

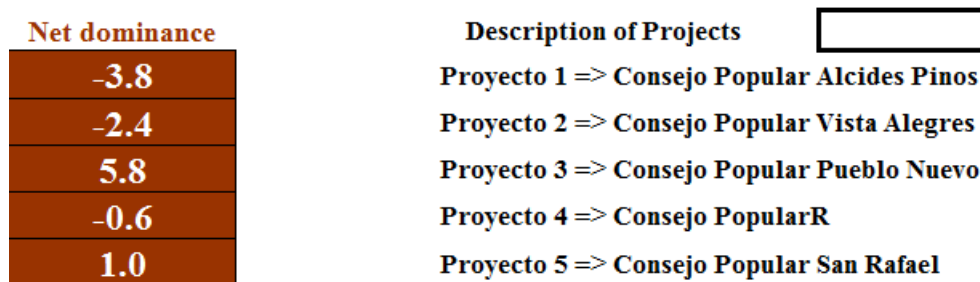


Figura 2.16. Resultado de la Modelación y simulación del proceso.

Finalmente, en la Figura 2.17 se puede apreciar cómo se movieron los criterios en los rangos de ponderación. Los criterios tres y cuatro fueron muy ponderados, aunque el criterio dos, tuvo un ligero crecimiento al final de la gráfica.

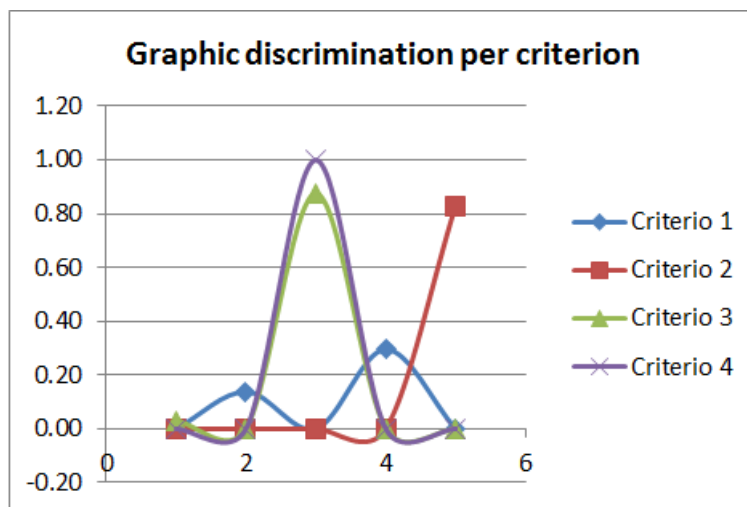


Figura 2.17. Resultado de la Modelación y simulación del proceso.

2.6 Conclusiones parciales

- 1** Se diseñó un procedimiento que permitió evaluar la vulnerabilidad de las viviendas con cubiertas ligeras aplicando el enfoque multicriterio. El método aporta objetividad en la búsqueda de una solución a un problema multiobjetivo ya que el decisor solamente interviene en la elección de cuáles criterios constituirán los objetivos de los problemas lineales, utiliza los resultados eficientes, para obtener los valores óptimo de las variables de decisión.
- 2** Se utilizó el software SIMUS, que nos brinda además del ranking entre los diferentes consejos populares, lo que permitió hacer un análisis de sensibilidad, evaluando su vulnerabilidad en función de los criterios seleccionados

CONCLUSIONES GENERALES

- Al sistematizar los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan la evaluación de la vulnerabilidad estructural de cubiertas ligeras en viviendas, se logró profundizar en las variables que influyen en su elevado nivel de riesgo.
- Se logró diseñar un procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural incorporando el método SIMUS
- Se aplicó el procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas con cubiertas ligeras en el Municipio Holguín, obteniendo como resultado los consejos populares más vulnerables.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuras investigaciones del Dpto. de Construcciones:
 1. Dar continuidad a la presente investigación, proponiendo un Plan de Medidas para los Consejos Populares que resultaron como más vulnerables a partir de los resultados obtenidos.
 2. Aplicar el procedimiento propuesto, enfocando el estudio en otros municipios de la provincia.
- Se sugiere a las instituciones correspondientes como: Dirección Provincial de Planificación Física, Dirección Municipal y Provincial de la Vivienda, CITMA,
 3. Incorporar los resultados de la presente investigación en los estudios de ordenamiento del esquema provincial, Planes Generales de Ordenamiento Territorial y Urbano, Estudios de peligro vulnerabilidad y riesgo y demás estrategias vinculadas con la gestión de riesgo y el desarrollo urbanístico.
- La autora se compromete a socializar el presente estudio con el consejo de Defensa Municipal y el Gobierno Municipal, para facilitar la toma de decisiones en torno a la vulnerabilidad de las viviendas con cubierta ligera.
- La autora se compromete a socializar los resultados de la investigación en publicaciones y eventos científicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abascal Gutiérrez, V. (2018). Modelización energética de vivienda como estudio de la viabilidad en la instalación de un termostato inteligente.
- Ayala-Carcedo, F. J., & Cantos, J. O. (2002). *Riesgos naturales*: Editorial Ariel Barcelona, Spain.
- Batista, A. E. V. (2010). Incidencias de los costos en la eficiencia económica de la empresa Acinox-Las Tunas, causas que la provocan y su papel fundamental en la toma de decisiones. *Observatorio de la economía latinoamericana*(134).
- Brown, J. S., & Burton, R. R. (1978). Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills. *Cognitive science*, 2(2), 155-192.
- Castro-Fernández, M., Llanes, M. V., & Bissiriou, A. O.-S. (2021). Certificación energética de un edificio de oficinas. *Revista Tecnología en marcha*, ág 70-82.
- Chapeaux Arredondo, J. L. (2008). *Las Cubiertas Ligeras Metálicas Metunas y Vencor. Diagnóstico de los Defectos de Diseño y Ejecución, Recomendaciones Para su Vida Útil*. Universidad Central" Marta Abreu" de las Villas,
- Cingualbres, R. E., Peña, J. R., Ávila, Y. L., & Mobilla, S. C. (2017). Mitigación del colapso de las cubiertas ligeras de fibrocemento ante vientos huracanados. *Informes de la Construcción*, 69(547), e214-e214.
- Conde-Álvarez, C., & Saldaña-Zorrilla, S. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y desarrollo*, 23(2), 23-30.
- Díaz, E., & Dmaz, E. (1996). *La ciencia y el imaginario social*: Editorial Biblos.
- Galván, L., & Milanés, B. (2018). Modelo para la gestión de riesgos costeros basado en procesos. *Celene Milanés Batista Claudio Fabian Szlafsztain*.
- García Rodríguez, J. (2009). *Propuesta de un procedimiento para evaluar la solución de cubierta metálica metunas y Vencor en Viviendas desde el punto de vista de su vulnerabilidad y conservación*. Universidad Central" Marta Abreu" de las Villas,
- Garza-Ríos, R., González-Sánchez, C., Pérez-Vergara, I., Martínez-Delgado, E., & Sanler-Cruz, M. (2012). Concepción de un procedimiento utilizando herramientas cuantitativas para mejorar el desempeño empresarial. *Ingeniería Industrial*, 33(3), 239-248.

- Gomez-Mejia, L. R. (1992). Structure and process of diversification, compensation strategy, and firm performance. *Strategic management journal*, 13(5), 381-397.
- González-Bustamante, B. (2015). PROGRAMAS DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD).(2014). CIUDADANÍA POLÍTICA: VOZ Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA EN AMÉRICA LATINA. BUENOS AIRES: SIGLO VEINTIUNO EDITORES. *Revista de Gestión Pública*, 4(1), 143-149.
- Grases, J., Gutiérrez, A., & Jiménez, R. S. CAPÍTULO XII ÉTICA E INCERTIDUMBRES SINGULARIDADES EN LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL.
- Guasch, A. M. (2008). Los museos y lo museal: el paso de la modernidad a la era de lo global. *Calle 14 revista de investigación en el campo del arte*, 2(2), 10-20.
- Hábitat, O. (2011). del Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. *Economía*, 3(348), 6.
- Hernández-Salomón, M., Rizo-Aguilera, L. M., & Frómeta-Salas, Z. P. (2017). Recomendaciones de diseño con enfoque medioambiental para cubiertas ligeras en edificaciones del centro histórico de Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*(1), 70-88.
- Hernández, H. G., Cardona, D. A., & Del Rio, J. L. (2017). Direccionamiento estratégico: Proyección de la innovación tecnológica y gestión administrativa en las pequeñas empresas. *Información tecnológica*, 28(5), 15-22.
- Jordán Fuchs, R., Riffo Pérez, L., & Prado, A. (2017). Desarrollo sostenible, urbanización y desigualdad en América Latina y el Caribe: dinámicas y desafíos para el cambio estructural.
- Juez, J. T., Delgado, D. N., & Hamalainen, C. M. (2013). *Rehabilitación, mantenimiento y conservación de cubiertas*: Tornapunta.
- Khurram, N., Akmal, U., Raza, M., Hameed, A., & Irfan ul Hassan, M. (2020). Evaluación experimental de paneles de ferrocemento cuadrados utilizando malla de polipropileno. *Revista ingeniería de construcción*, 35(3), 336-345.
- Kuk, A. Y., & Chen, C.-H. (1992). A mixture model combining logistic regression with proportional hazards regression. *Biometrika*, 79(3), 531-541.

- Milanés, C., & Pacheco, A. (2011). Asentamientos costeros en la bahía de Santiago de Cuba: estudio de su vulnerabilidad urbana. *Arquitectura y Urbanismo*, 32(3), 18-26.
- Monterroso, A. I., Conde, A. C., Gay, C., Gómez Díaz, J. D., & López García, J. (2012). Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México. *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A*; 8.
- Mousavi-Nasab, S. H., & Sotoudeh-Anvari, A. (2017). A comprehensive MCDM-based approach using TOPSIS, COPRAS and DEA as an auxiliary tool for material selection problems. *Materials & Design*, 121, 237-253.
- Munier, N. (2012). *Project management for environmental, construction and manufacturing engineers: A manual for putting theory into practice*: Springer Science & Business Media.
- Narváez, L., Pérez Ortega, G., & Lavell, A. (2009). La gestión del riesgo de desastres. Un enfoque basado en procesos.
- Park, C. C., Nguyen, P., Hernandez, C., Bettencourt, R., Ramirez, K., Fortney, L., . . . Alqiraish, M. H. (2017). Magnetic resonance elastography vs transient elastography in detection of fibrosis and noninvasive measurement of steatosis in patients with biopsy-proven nonalcoholic fatty liver disease. *Gastroenterology*, 152(3), 598-607. e592.
- Perales, J. A. S. (2014). De los Objetivos del Milenio al desarrollo sostenible: Naciones Unidas y las metas globales post-2015. *Anuario Ceipaz*(7), 49-84.
- Portilla Hernández, J. E. (2019). Selección de material a través de técnicas MCDM, para aislantes eléctricos de alta tensión SPB de bobinas de encendido COP. Verificación de resultados mediante simulación y validación experimental.
- Roura-Pérez, P., & Díaz-Sistachs, D. (2020). Metodología de viento máximo y probabilidad de afectación por huracanes en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(4).
- Ruiz, E., Hernández, M., & Coca, A. (2008). Turismo comunitario en Ecuador. Comprendiendo el community-based tourism desde la comunidad. *PASOS Revista de turismo y patrimonio cultural*, 6(3), 399-418.

- Sharma, P. K., Aggarwal, A., & Gupta, R. (1993). *A expert system for aid in material selection process*. Paper presented at the Proceedings of Engineering Management Society Conference on Managing Projects in a Borderless World.
- UNISDR, A., & Cooperación, O. (2016). *IMPACTO DE LOS DESASTRES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, 1990–2013. Panamá: United Nations Office for Disaster Risk Reduction–Regional Office for the Americas (UNISDR AM)*.
- Varga, J., & Menyhard, A. (2007). Effect of solubility and nucleating duality of N, N '-dicyclohexyl-2, 6-naphthalenedicarboxamide on the supermolecular structure of isotactic polypropylene. *Macromolecules*, *40*(7), 2422-2431.
- Velásquez, P. V. (2012). Las iniciativas privadas en proyectos de inversión: creatividad, ¿cuándo limitar y cuándo no? *Revista de Derecho Administrativo*(12), 291-300.