

**ESTIMACIÓN DE LOS IMPACTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS DE UN
TERREMOTO USANDO REGRESIÓN LINEAL MULTIPLE**

**YULI MARCELA QUICENO PINZÓN
JUAN SEBASTIAN VILLEGAS PENILLA**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
MAYO 2018**

**ESTIMACIÓN DE LOS IMPACTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS DE UN
TERREMOTO USANDO REGRESIÓN LINEAL MULTIPLE**

**YULI MARCELA QUICENO PINZÓN
JUAN SEBASTIAN VILLEGAS PENILLA**

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero Industrial

**Director proyecto
ROLANDO ACOSTA**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
MAYO 2018**

Contenido

	pág.
RESUMEN	9
1 Introducción	10
1.1 Contexto, Justificación y Formulación del Problema	11
1.1.1 Contexto.....	11
1.1.2 Situación objeto de estudio	13
1.1.3 Justificación de la situación objeto de estudio.....	13
2 Objetivos	14
2.1 Objetivo del Proyecto.....	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
2.2.1 Entregables	14
3 Marco de Referencia	15
3.1 Marco Teórico.....	15
3.1.1 Riesgo	15
3.1.2 Gestión de Desastres.....	17
3.1.3 Movimientos telúricos.....	20
3.1.4 Regresión lineal múltiple	22
3.2 Antecedentes.....	23
3.3 Contribución Intelectual	27
4 Metodología	29
4.1 Recolección y análisis de datos.....	29
5 Resultados	30
5.1 Objetivo 1: Análisis de la literatura relacionada con la utilización de modelos de regresión lineal múltiple para el estudio de datos de movimientos telúricos.	30
5.1.1 Metodología	30
5.1.2 Resultados	30
5.1.3 Conclusiones.....	34
5.2 Objetivo 2: Generar los modelos de regresión lineal y validar sus supuestos, con ayuda de software estadístico.	34
5.2.1 Consideraciones.....	34
5.2.2 Metodología	35
5.2.3 Resultados	43

5.2.4	Conclusiones.....	53
5.3	Objetivo 3: Aplicar los modelos a los contextos de las ciudades de Cali y Bucaramanga.	54
5.3.1	Metodología	54
5.3.2	Resultados	57
5.3.3	Conclusiones.....	68
5.4	Objetivo 4: Evaluar la pertinencia de los planes de contingencia de las principales organizaciones relacionadas con la atención y prevención de desastres.	68
5.4.1	Metodología	68
5.4.2	Limitaciones	69
5.4.3	Resultados	69
5.4.4	Conclusiones.....	86
6	Limitaciones y recomendaciones	87
7	Conclusiones generales	88
8	Anexos	90
9	Bibliografía.....	92

Lista de Figuras

Figura 1. Zonas de amenaza sísmica en Colombia.....	12
Figura 2. Supuestos de un análisis de regresión lineal múltiple.....	22
Figura 3. Distribución de la contribución investigativa para las etapas del ciclo de vida del DOM	23
Figura 4. Distribución de la contribución investigativa para las etapas del DOM. .	24
Figura 5. Distribución de modelos para las etapas de DOM.....	25
Figura 6. Modelos desarrollados según metodología empleada.....	26
Figura 7. Distribución de los modelos estadísticos en teorías empleadas.....	26
Figura 8. Distribución de los modelos estadístico con base en su objetivo.	27
Figura 9. Ejemplo de los resultados gráficos de un modelo generados por el software estadístico Minitab.....	41
Figura 10. Ejemplo del informe estadístico generado por el software estadístico Minitab	42
Figura 11. Mapa de Cali ilustrando la cantidad de casas destruidas por sismo de magnitud 6,9 en escenario 1	61
Figura 12. Mapa de Cali ilustrando el número de muertos ocasionados por un terremoto de magnitud 6,9 en escenario 1	62
Figura 13. Mapa de Cali ilustrando el número de muertos ocasionados por un terremoto de magnitud 6,9 en escenarios 2 y 3.....	63
Figura 14. Mapa de Bucaramanga ilustrando el número de casas destruidas por un sismo de magnitud 6,6.....	67
Figura 15. Mapa de Bucaramanga ilustrando la cantidad de muertos ocasionados por un sismo de magnitud 6,6.....	67
Figura 16. Manifestaciones de riesgo en el municipio de Cali	74
Figura 17. Organigrama para la atención de la emergencia.....	78

Lista de Tablas

Tabla 1. Porcentaje de entradas de bases de datos.....	35
Tabla 2. Variables seleccionadas base de datos NOAA.	36
Tabla 3. Variables seleccionadas base de datos EM DATA.	37
Tabla 4. Interpretación de los valores de la variable “Description of deaths”.	38
Tabla 5. Interpretación de los valores de la variable “Description of injuries”.	38
Tabla 6. Interpretación de los valores de la variable “Description of economic damage”.....	38
Tabla 7. Interpretación de los valores de la variable “Description of houses destroyed”.....	38
Tabla 8. Interpretación de los valores de la variable “Description of houses damaged”.....	39
Tabla 9. Modelos probados del conjunto de datos 1 de la base de datos NOAA.	43
Tabla 10. Modelos probados del conjunto de datos 2 de la base de datos NOAA	44
Tabla 11. Modelos probados del conjunto de datos 1 de la base de datos NOAA	45
Tabla 12. Modelos probados del conjunto de datos 4 de la base de datos NOAA	46
Tabla 13. Modelos probados del conjunto de datos 1 de la base de datos EM DATA.....	47
Tabla 14. Modelos probados del conjunto de datos 2 de la base de datos EM DATA.....	48
Tabla 15. Modelos seleccionados cualitativamente.....	50
Tabla 16. Resultados de la validación de supuestos de los modelos seleccionados.....	51
Tabla 17. Ranking de la prueba de normalidad.....	52
Tabla 18. Ranking de la prueba de homocedasticidad.....	52
Tabla 19. Ranking de la prueba de independencia.....	53
Tabla 20. Validación de los supuestos de los 18 modelos seleccionados con todas las variables.....	55
Tabla 21. Pérdidas por un sismo de magnitud de 6,9 en Cali.....	57
Tabla 22. Datos de comunas de Cali empleados en el modelo de predicción del número de casas destruidas.....	59
Tabla 23. Datos de comunas de Cali empleados en el modelo de predicción del número de muertos.....	59
Tabla 24. Escala empleada en los mapas de ilustración del número muertos y de casas destruidas.....	62
Tabla 25. Avalúo catastral de Cali 2012 – 2013.....	64
Tabla 26. Daños económicos generados por un sismo de magnitud 6,9 en cada una de las comunas de Cali.....	64
Tabla 27. Datos de comunas de Bucaramanga empleados en el modelo de predicción del número de casas destruidas.....	65
Tabla 28. Datos de comunas de Bucaramanga empleados en el modelo de predicción del número de muertos.....	66
Tabla 29. Criterios de la fase 1 de la evaluación de planes de emergencia.....	70
Tabla 30. Criterios de la fase 2 de la evaluación de planes de emergencia.....	71

Tabla 31. Criterios de la fase 3 de la evaluación de planes de emergencia	72
Tabla 32. Criterios de la fase 4 de la evaluación de planes de emergencia	72
Tabla 33. Instituciones suministradoras de recursos del PLEC	74
Tabla 34. Identificación de amenazas para el municipio de Cali.....	76
Tabla 35. Calificación de la significancia de la amenaza para el municipio de Santiago de Cali.....	77
Tabla 36. Matriz de perfil de riesgo y vulnerabilidad	77
Tabla 37. Áreas funcionales para la atención de emergencias.....	79
Tabla 38. Calificación global PLEC de Cali.....	83
Tabla 39. Resultados de simulación por sismo.....	85

Lista de Anexos

Anexo 1. Resultados obtenidos por los modelos de predicción de la cantidad de casas destruidas y muertos, respectivamente, en el escenario 1	90
Anexo 2. Distancias y resultados obtenidos en los escenarios 2 y 3	91
Anexo 3. Directorio de los coordinadores de Gestión del Riesgo de Bucaramanga	91

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo investigativo es desarrollar y probar diversos modelos de regresión lineal múltiple para la estimación de los impactos sociales y económicas generados por un terremoto.

Para el desarrollo de este trabajo, se inició con una revisión bibliográfica acerca de los estudios previos relacionados con la utilización de modelos de regresión lineal múltiple para el estudio de datos de movimientos telúricos. De lo cual, se evidenció que no hay artículos que empleen la misma metodología ni las mismas variables que fueron empleadas en el presente trabajo. Esto genera una oportunidad de exploración en el uso de la regresión lineal múltiple como metodología investigativa en los impactos asociados a eventos sísmicos.

Luego, se procedió con el desarrollo de los modelos de regresión lineal múltiple. Para esto, se hizo una recolección de datos y selección de variables, a partir de dos bases de datos de movimientos sísmicos de dominio público. Seguidamente, se aplicaron dichos modelos a los contextos de Cali y Bucaramanga, con el fin de estimar los impactos sociales y económicos generados por un terremoto en dichas ciudades. Finalmente, se realizó una evaluación de la pertinencia del Plan Local de Emergencias y Contingencias (PLEC) de Cali, con el fin de identificar si dicho plan contiene todas las medidas y recursos necesarios para la atención de este tipo de desastre, de lo cual se obtuvo como resultado un panorama poco alentador.

Se puede concluir que a pesar de que la regresión lineal múltiple no es una metodología ampliamente utilizada en el estudio de impactos sociales y económicos generados por un terremoto, se pudo constatar que los datos necesarios para desarrollar dichos modelos se encuentran disponibles y provienen de fuentes confiables. En cuanto a la evaluación de pertinencia realizada al PLEC de Cali, es clave apuntar que la deficiente calificación que obtuvo, se debe a la falta de actualización y/o revisión periódica por parte de las entidades encargadas.

Palabras claves: Regresión lineal múltiple, Modelos, Terremoto, Mapa, Metodología, Pertinencia.

1 Introducción

El objetivo del presente documento es evidenciar los impactos socioeconómicos estimados, en caso de que se presente un evento sísmológico en las ciudades de Cali y Bucaramanga, que son ciudades altamente susceptibles a amenazas sísmicas. Además, realizar una evaluación objetiva acerca de las medidas de contingencia que se tienen establecidas para hacer frente a dichas amenazas.

Uno de los motivos principales por los cuales se decidió desarrollar el presente trabajo es la cada vez más creciente actividad sísmica que se presenta en el país (Vanguardia, 2017), en donde antes de que terminara el último trimestre del año pasado, ya se había superado la cifra de 11 mil movimientos telúricos, los cuales se presentaron en el año 2016.

La metodología estadística empleada para la estimación de los impactos socioeconómicos fue la regresión lineal múltiple, dentro de la cual se debe revisar el cumplimiento de distintos supuestos de validación para los modelos desarrollados.

A lo largo del presente documento se analizaron investigaciones y estudios previos realizados en el ámbito de modelos aplicados a situaciones que involucren movimientos telúricos; se desarrollaron modelos de regresión lineal múltiple a partir de fuentes de información y bases de datos encontradas, se aplicaron dichos modelos a los contextos de las ciudades de Cali, Bucaramanga y finalmente, se realizó una evaluación de pertinencia acerca de las medidas de contingencia, que los organismos de control contemplan a la hora de atender una amenaza sísmica.

A partir del análisis del presente proyecto de grado, se podrá tener un mayor panorama acerca de los impactos asociados a una emergencia, como lo es un movimiento telúrico, en contextos locales como lo son las ciudades de Cali y Bucaramanga. Además de que se podrá ampliar la visión del Ingeniero Industrial acerca de cómo por medio de herramientas estadísticas, como la regresión lineal múltiple, se pueden hacer aportes en ámbitos que no son de común desenvolvimiento para estos.

1.1 Contexto, Justificación y Formulación del Problema

1.1.1 Contexto

Los sismos son fenómenos geológicos que consisten en una sacudida brusca del terreno causado por un proceso de liberación súbita de la energía acumulada en la corteza terrestre (UNGRD, 2017). Se consideran riesgos intensivos, ya que por lo general ocurren en un lapso relativamente corto, ocasionando grandes y significativas pérdidas.

En Colombia, el 86% de la población está expuesta a una amenaza sísmica alta y media (BANCO MUNDIAL, 2012, p.13). Esto debido a que el 32% del territorio colombiano se encuentra ubicado en la Cordillera de los Andes, la cual es un complejo sistema montañoso que recorre Suramérica de sur a norte, formada mediante la subducción de las placas litosféricas Sudamericana y Nazca. Dichas placas conforman el Cinturón de Fuego del Pacífico, un conjunto de placas tectónicas ubicado en el océano Pacífico, donde se concentra la mayor actividad sísmica del mundo.

Principalmente, las regiones Pacífica y Andina presentan una alta amenaza sísmica, lo cual significa que 960 municipios, entre ellos los de mayor población, están expuestos. A nivel municipal, Cali representa la mayor población expuesta a amenaza sísmica alta, seguido por otras capitales como Cúcuta, Bucaramanga, Pereira, Villavicencio, Pasto y Manizales (BANCO MUNDIAL, 2012, p.25). El alto riesgo sísmico de la región Pacífica es asociado con la zona de subducción del océano Pacífico, la cual tiene la capacidad de liberar las mayores cantidades de energía sísmica en Colombia (BANCO MUNDIAL, 2012, p. 29). Por otra parte, en la región Andina se asocia con la actividad de fallas superficiales como Romeral, Cauca, Palestina y Frontal de la Cordillera Oriental, las cuales tienen la característica de generar sismos superficiales de gran poder destructivo (BANCO MUNDIAL, 2012, p.29).

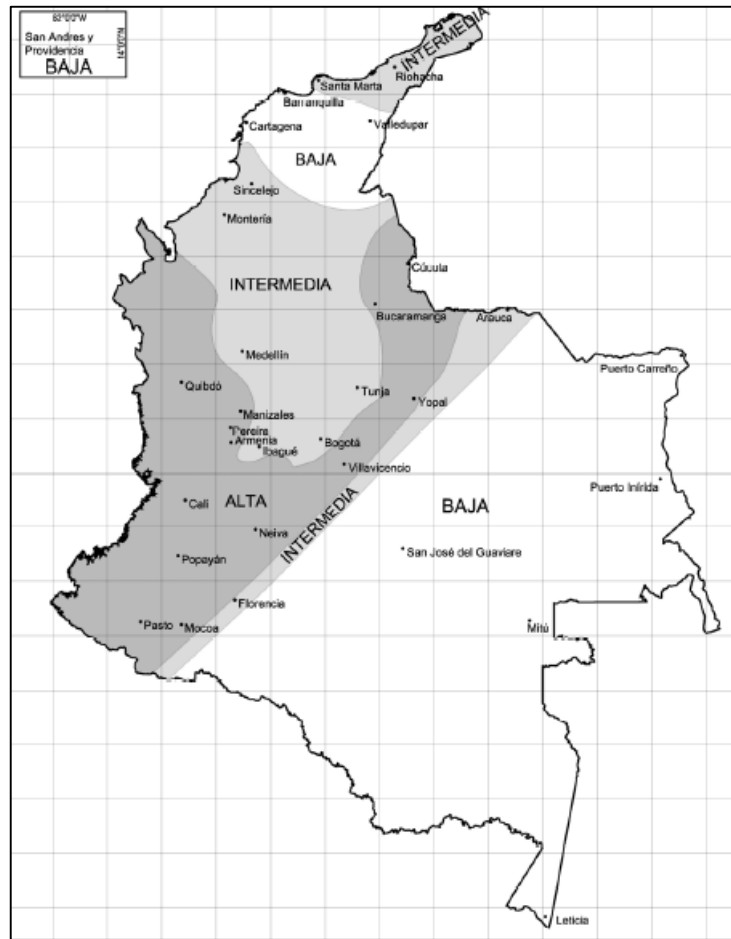


Figura 1. Zonas de amenaza sísmica en Colombia. FUENTE: NSR – 10. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Dentro de los movimientos telúricos que han provocado alto impacto en un territorio colombiano se encuentran: el terremoto de Popayán (31 de marzo de 1983), los sismos del Atrato Medio (17 y 18 de 1992), el terremoto de Tierradentro (6 de junio de 1994) y el del Eje Cafetero (25 de enero de 1999), los cuales generaron un número considerable de vidas perdidas y casas destruidas. Por ejemplo, en el terremoto de Popayán se estima que perdieron la vida 287 personas, hubo 7.248 heridas y cerca de 150.000 personas afectadas (Cardona et al., 2004). Los sismos, junto con las erupciones volcánicas, presentan los índices más altos por pérdidas, en términos de viviendas destruidas y de vidas. Las pérdidas de vidas a causa de sismos en Colombia alcanzan las 2.219 víctimas fatales para el período 1970-2011 (BANCO MUNDIAL, 2012, p. 21).

Por todo lo anterior, se hace evidente que el país necesita mecanismos que garanticen la adecuada gestión del riesgo de desastres para minimizar su impacto. A pesar de la existencia de instrumentos de planeación como el Plan Nacional de

Prevención y Atención de Desastres (PNPAD) y el documento Conpes 3146, aún hay importantes vacíos en este aspecto, ya que estos no tienen la suficiente jerarquía para adoptar decisiones de fondo sobre los resultados que se quieren lograr con la gestión del riesgo (BANCO MUNDIAL, 2012, p. 78). Desde un punto de vista sistémico, la gestión del riesgo se conforma de tres grandes componentes: (i) el conocimiento e información del riesgo, (ii) su reducción y (iii) el manejo de desastres. A su vez, el primero está compuesto por: (a) la identificación de los factores del riesgo de desastres, (b) el análisis y la estimación del riesgo de desastres. En este último, se centra nuestro trabajo exploratorio e investigativo.

1.1.2 Situación objeto de estudio

Actualmente, los modelos que se han desarrollado para apoyar la logística humanitaria cuyas finalidades son varias (predicción, evaluación del riesgo, asignación de recursos, viabilidad del tráfico, etc.) en su mayoría, requieren de parámetros de entrada que solo se obtienen una vez ocurrido el evento imprevisto, lo cual hace que la toma de decisiones en la logística humanitaria sea más demorada y menos eficiente.

1.1.3 Justificación de la situación objeto de estudio

El modelo propuesto permitirá estimar cifras relacionadas con muertos, heridos, casas destruidas, pérdidas materiales, entre otras, en un territorio específico. Dichas estimaciones les facilitan a entidades tanto públicas como privadas entender las dimensiones del problema y contar con mejores panoramas para la toma de decisiones desafiantes que surgen cuando ocurre dicho evento.

Un beneficio de este es que las entidades relacionadas con la atención y prevención de desastres, como las Oficinas de Gestión de Riesgos, la Defensa Civil, el Cuerpo de Bomberos, la Cruz Roja, entre otras, podrían mejorar su gestión del riesgo; debido a que los modelos facilitarían una asignación más informada de los recursos escasos para entregar ayuda y alivio a la población afectada con el fin de minimizar las consecuencias usualmente devastadoras ocasionadas por los sismos, dada la naturaleza inesperada de este fenómeno geológico, el tiempo de respuesta es un factor determinante en el éxito de la logística humanitaria.

2 Objetivos

2.1 Objetivo del Proyecto

Desarrollar y probar distintos modelos para la estimación de las consecuencias sociales y económicas de un terremoto, haciendo uso de la regresión lineal múltiple.

2.2 Objetivos Específicos

1. Analizar la literatura y los trabajos previos realizados relacionados con la utilización de modelos de regresión lineal múltiple para el estudio de datos de movimientos telúricos.
2. Generar los modelos de regresión lineal y validar sus supuestos, con ayuda de software estadístico.
3. Aplicar los modelos a los contextos de las ciudades de Cali y Bucaramanga.
4. Evaluar la pertinencia de los planes de contingencia de las principales organizaciones relacionadas con la atención y prevención de Desastres.

2.1.1 Entregables

1. Informe de la literatura relacionada con la utilización de modelos de regresión lineal múltiple en el estudio de movimientos telúricos.
2. Modelos de regresión lineal múltiple con su respectiva validación.
3. Análisis de los resultados de la aplicación de los modelos a las ciudades de Cali y Bucaramanga.
4. Tabla de calificación de pertinencia de los planes de contingencia de las oficinas relacionadas con la atención y prevención de desastres de cada ciudad.

3 Marco de Referencia

3.1 Marco Teórico

Los pilares teóricos de esta investigación son El Riesgo, Los Movimientos Telúricos, La Gestión de Desastres y La Regresión Lineal Múltiple.

3.1.1 Riesgo

El riesgo hace parte del día a día de las personas porque el futuro es impredecible. A menudo, este término es percibido como algo negativo, pero no siempre tiene una connotación negativa. Un riesgo es la posibilidad de perder y la esperanza de ganar (Alvarado & Ospina, 2016). Sin embargo, para efectos de este trabajo es necesario entender el riesgo desde su perspectiva negativa.

El concepto de riesgo hace referencia a la probabilidad de que a una población (personas, estructuras físicas, sistemas productivos, etc.), o segmentos de esta, le ocurra algo nocivo o dañino. Para que exista un riesgo debe haber tanto una amenaza (o como algunos dirían, un peligro) como una población vulnerable a sus impactos (Lavell, 1996). La vulnerabilidad o las amenazas, por separado, no representan un peligro. Pero si se juntan, se convierten en un riesgo, o sea, en la probabilidad de que ocurra un desastre. Por lo tanto, el grado del riesgo siempre está en función de la magnitud de la amenaza y de los niveles de vulnerabilidad existentes (Lavell, 1996).

La palabra “riesgo” tiene dos connotaciones distintas: en el lenguaje popular, por lo general se hace énfasis en el concepto de la probabilidad o la posibilidad de algo, tal como el “riesgo de un accidente”, mientras que, en un contexto técnico, con frecuencia se hace más énfasis en las consecuencias, en términos de “pérdidas posibles” relativas a cierta causa, lugar y momento en particular (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009).

A continuación, se especificarán algunos conceptos relacionados con el término riesgo.

3.1.1.1 Amenaza

Las amenazas son un factor de riesgo que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009). Diversos autores las clasifican en “amenazas naturales” y “amenazas tecnológicas”. Para efectos de este trabajo, se precisará el concepto de amenazas naturales.

3.1.1.2 Amenazas naturales

Estas son manifestaciones de la naturaleza que se tipifican por su intensidad y violencia. Estas son normales, completamente naturales y formar parte de la

historia y de la coyuntura de la formación de la tierra y de la dinámica geológica, geomorfológica, climática y oceánica (Lavell, 1996). Tradicionalmente, las amenazas naturales se clasifican en estas cuatro categorías:

- De origen geotectónico (entre los que se encuentran sismos, actividad volcánica, desplazamientos verticales y horizontales de porciones de tierra, tsunamis, maremotos)
- De origen geomórfico (también conocido como geodinámico, entre los cuales destacan fenómenos como deslizamientos y avalanchas, hundimientos, erosión terrestre y costera)
- De origen meteorológico o climático (entre los cuales se tienen en cuenta los huracanes, tormentas tropicales, tornados, granizadas, sequías, incendios espontáneos, entre otros).
- De origen hidrológico (entre los cuales se incluyen las inundaciones, desbordamientos y agotamiento de acuíferos)

Todas estas amenazas naturales se relacionan entre sí, ya que la ocurrencia de una puede conllevar a la otra.

Este trabajo investigativo está enfocado en las amenazas naturales de origen geotectónico, específicamente los sismos.

3.1.1.3 Vulnerabilidad

Se define como vulnerabilidad las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Esta varía considerablemente dentro de una comunidad y en el transcurso del tiempo (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009). Además, Lavell (2001) la define como un factor de riesgo interno de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza correspondiente a su predisposición a ser afectado, de ser susceptible a sufrir un daño, y encontrar dificultades para recuperarse después de este.

La vulnerabilidad depende siempre del tipo e intensidad de la amenaza (Lavell, 1996)

3.1.1.4 Desastres

A diferencia del riesgo, que es una condición potencial, un desastre es la materialización de estas condiciones (Felipe, *et al*, 2014). Los desastres muestran las condiciones de vulnerabilidad existentes y revela el riesgo latente (Lavell, 2001)

Es fundamental entender que un desastre se convierte en uno cuando alguien autorizado a decir que lo es, lo hace. En otras palabras, las declaraciones de estados de emergencia y desastre son actos políticos y legales con requisitos y autoridades específicos (Altay & Green, 2006). Además, es importante conocer las consecuencias de llamar correctamente a los sucesos inesperados que ocurran en

una comunidad. Debido a que, si las autoridades declaran un evento como “desastre”, la ayuda internacional recibida se incrementa considerablemente, pues se supone que este evento ha superado por completo la capacidad de respuesta de esta población y es necesario ofrecer ayuda de manera solidaria.

Un ejemplo de las consecuencias de declarar como “desastre” un evento, es el terremoto de Armenia, Quindío (25 de enero de 1999) que, con 6,2 grados en la escala de Richter, dejó 1.185 muertos, 8.523 heridos y 731 desaparecidos. El Gobierno declaró en situación de desastre a los departamentos de Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca y esto provocó la ayuda de alrededor de 40 países que enviaron una cuantiosa suma, donde se destacan Estados Unidos, la Comunidad Europea y Japón (Alvarado & Ospina, 2016)

3.1.2 Gestión de Desastres

Para el contexto de la gestión de desastres, el riesgo también puede ser considerado como una probabilidad amenazante de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino dentro de un período de tiempo y área específica. Además de que se puede dar por causas naturales u ocasionado por el hombre (Victoriano *et al*, 2013, p.18)

Para la gestión de los desastres es clave la diferenciación entre los términos emergencia, desastre y catástrofe. A continuación, se definen estos conceptos (excluyendo el término desastre, ya que este ya fue definido en la sección anterior)

3.1.2.1 Emergencia

Es una situación que plantea un riesgo inmediato para la salud, la vida, la propiedad o el medio ambiente (Victoriano *et al* , 2013, p.18).

3.1.2.2 Catástrofe

Según lo señalado por los autores (Victoriano *et al*, 2013, p.18) ,existe una discusión literaria sobre la diferencia entre el desastre y la catástrofe. Así como los desastres son cualitativamente diferentes de las emergencias cotidianas de la comunidad, también lo son las catástrofes, que por lo general se consideran como un desastre a gran escala. Este salto cualitativo se refleja en varias características y resulta en importantes diferencias en la logística de la intervención.

3.1.2.3 Agentes involucrados

De acuerdo con (Victoriano *et al*, 2013, p.19), la respuesta ante desastres es un proceso complejo, debido a que implica presiones de tiempo, alta incertidumbre y muchas partes interesadas. También involucra a varias agencias autónomas que se encargan de ayudar a la sociedad a atravesar las cuatro etapas de gestión de desastres que se definen más adelante.

Los agentes involucrados en el proceso difieren dependiendo del lugar del desastre y las consecuencias de este. Según Victoriano *et al* (2013) estos pueden ser clasificados en tres grandes grupos:

3.1.2.3.1 Nivel local

El primer nivel de respuesta generalmente está dirigido por agencias locales, organizaciones de la sociedad civil y protección civil. Típicamente, este nivel de emergencia no es un desastre.

3.1.2.3.2 Nivel nacional

El ejército o la protección civil nacional, las organizaciones gubernamentales, suelen participar cuando se define una emergencia como un desastre. A veces, organizaciones internacionales con oficinas locales también participan en este nivel.

3.1.2.3.3 Nivel internacional

Gobiernos extranjeros y organizaciones intergubernamentales, ONG's internacionales participan en la respuesta ante desastres, así como organismos de las Naciones Unidas.

Como se puede evidenciar, los procesos de toma de decisiones en la gestión de desastres son extremadamente difíciles, debido a los múltiples actores (tomadores de decisiones) involucrados, y a la complejidad de las tareas que se necesitan realizar.

3.1.2.4 Logística Humanitaria

Se define como todo el proceso de planificar, implementar y controlar el flujo eficiente, rentable del almacenamiento de bienes y materiales, así como manejo de información necesaria e importante, desde el punto de origen hasta el punto de uso o consumo, para satisfacer las necesidades y aliviar el sufrimiento de las personas vulnerables y afectadas por el desastre (Victoriano *et al*, 2013, p.19)

Los procesos de toma de decisiones requieren de la logística humanitaria para la gestión de los desastres. Decidir acerca de las acciones preventivas para mitigar los efectos de un terremoto antes que suceda, no es lo mismo cuando se decide sobre las acciones posteriores que se deben tomar cuando ya sucedió. Las incertidumbres relacionadas con el contexto y la presión de tiempo pueden variar de una situación a otra, así como de las decisiones adoptadas y de los criterios de los agentes que intervienen. La gran mayoría de autores que discuten sobre la gestión de desastres, siempre identifican, distinguen y definen cuatro fases sucesivas en el manejo de emergencias y desastres, de acuerdo con la naturaleza principal de las tareas a realizar y su asignación temporal con respecto al desastre. Victoriano *et al* (2013) las define de la siguiente manera:

3.1.2.4.1 Mitigación

Todas las acciones y decisiones de mediano y largo plazo destinadas a prevenir, disminuir o eliminar de ser posible, las consecuencias de un desastre futuro, siempre que no sea inminente. Las tareas típicas de esta fase son la identificación

de los grupos de riesgo y patrones de vulnerabilidad y su tratamiento, o el desarrollo de sistemas de predicción y planes de emergencia y la asignación de recursos para ellos.

3.1.2.4.2 Preparación

Todas las intervenciones a corto plazo una vez que los sistemas de predicción disponibles hayan despertado la alarma de un fenómeno futuro próximo que no se produzca. Esto incluye el establecimiento de los sistemas de emergencia y los planes de evacuación, el seguimiento en tiempo real del peligro, el análisis de los escenarios más probables, el refuerzo de las infraestructuras críticas, etc. Esta fase también incluye las decisiones a largo plazo, por ejemplo, la localización de inventarios y diseños de red.

3.1.2.4.3 Respuesta

Esta fase se centra en salvar vidas y se caracteriza por una corta duración con alta emergencia y alta incertidumbre. Se suele dividir en una primera fase de respuesta, dedicada al rescate y a la asistencia médica urgente de las personas lesionadas y afectadas (dependiendo del escenario del desastre, puede durar alrededor de una semana desde el momento del desastre) y una fase de respuesta a mediano plazo, dedicada para estimar y mitigar las primeras necesidades potencialmente desatendidas de la población afectada como resultado de posibles daños a las infraestructuras y a los recursos de la línea de vida (refugio, asistencia médica ordinaria, suministro de agua y alimentos, etc.). Esta etapa de mediano plazo suele implicar la entrega de ayuda desde fuera de la zona afectada y puede durar semanas o incluso meses desde el momento del desastre, dependiendo de su naturaleza y magnitud, así como de las circunstancias económicas y de desarrollo del país afectado.

3.1.2.4.4 Recuperación

Esta fase se centra en el logro de la eficiencia y se caracteriza por su larga duración con baja emergencia y baja incertidumbre. Se refiere a todas las acciones y decisiones a largo plazo destinadas a recuperar el funcionamiento normal de la comunidad afectada y la reconstrucción del tejido social, incluidos los recursos, servicios e infraestructuras vitales, y las mejoras necesarias para no repetir la especificidad de los grupos y lugares afectados. A veces, después de las catástrofes, un flujo a periódico de los seres humanos puede ser utilizado para ayudar a las personas particularmente vulnerables, lo que está fuera del alcance de la gestión de los desastres.

En contraste con otros autores (Altay & Green, 2006), hacen una definición que puede ser más sencilla, de todas las etapas en la gestión de desastres.

La mitigación, es la aplicación de medidas que impedirán la aparición de un desastre o reducirán los impactos que se produzcan. Las actividades de preparación preparan a la comunidad para responder cuando ocurre un desastre. La respuesta es el empleo de recursos y procedimientos de emergencia guiados

por planes para preservar la vida, la propiedad, el medio ambiente y la estructura social, económica y política de la comunidad y finalmente, la recuperación implica las acciones tomadas a largo plazo después de que el impacto inmediato del desastre haya pasado para estabilizar la comunidad y para restaurar cierta apariencia de normalidad.

3.1.3 Movimientos telúricos

Un movimiento telúrico es un movimiento que se produce en la tierra, debido a la liberación brusca de energía que se produce, con el choque o fricción de las placas tectónicas (Shearer, 2009). A continuación, se definen algunos conceptos relacionados con los sismos.

3.1.3.1 Hipocentro

Es el punto subterráneo donde se inicia un terremoto (Vera Lizcano, 2015).

3.1.3.2 Epicentro

Es el punto en la superficie ubicado directamente encima del hipocentro (Vera Lizcano, 2015).

3.1.3.3 Litosfera

Es la capa externa de la tierra que comprende la corteza y el manto superior y forma un nivel relativamente rígido y frío, consta de materiales cuyas composiciones químicas son notablemente diferentes del resto de las capas y tiende a actuar como una unidad que muestra un comportamiento inflexible, tiene un grosor que puede llegar hasta los 250 kilómetros dependiendo de la porción de la tierra en la que se analice. Esta capa se subdivide en placas tectónicas (Tarbuck et al., 2005).

3.1.3.4 Astenosfera

Es la capa que se encuentra ubicada bajo la litosfera, a una profundidad de aproximadamente 660 kilómetros, se encuentra una capa blanda, comparativamente plástica, tiene unas condiciones de temperatura y presión mucho más altas que la litosfera, además de ser una zona muy dúctil (Tarbuck et al., 2005).

3.1.3.5 Placas tectónicas

Son fragmentos que como conjunto forman la litosfera, se mueven arrastradas por el material que se encuentra bajo ellas, teniendo velocidades del orden de 2 cm/año aproximadamente. (Zuñiga, 2011).

3.1.3.6 Límites de placas

Las divisiones entre las placas, se llaman límites de placas, el movimiento de las placas tectónicas se produce debido a las corrientes de calor que se encuentran en la Astenosfera e interactúan con la litosfera, estos desplazamientos pueden ser de entre 1 y 6 cm al año, y pueden darse en ambos sentidos tanto alejando las placas tectónicas entre ellas, como apretándolas.

Los límites de capa que se separan se llaman divergentes o movimiento de tensión (Las grietas se llenan con material que viene desde el mar, la mayor parte de estos límites están en el lecho marino).

Los límites de capa que se unen se llaman convergentes o movimiento de compresión, en estos casos casi siempre una de las placas se hunde debajo de la otra, ocasionando actividad volcánica y terremotos de gran magnitud, este tipo de movimiento es el responsable de la formación de cordilleras montañosas.

Las placas tectónicas también se pueden deslizar de forma paralela o movimiento cizalla, esto se denomina fallas transformantes. Debido a la fuerte presión y fricción que involucra este movimiento, hace que se acumule una gran cantidad de energía, que eventualmente se libera de golpe, ocasionando un movimiento telúrico.

3.1.3.7 Ondas que genera un terremoto

Un terremoto puede generar 3 tipos de ondas:

3.1.3.7.1 Ondas de presión

Estas ondas consisten en la transmisión de compresiones y rarefacciones, similares a las del sonido, se desplazan en la misma dirección de la propagación, viajan rápido y no son destructivas (Zuñiga, 2011).

3.1.3.7.2 Ondas secundarias

Estas ondas se mueven perpendicularmente a la dirección de propagación y solo pueden viajar en sólidos (Zuñiga, 2011).

3.1.3.7.3 Ondas superficiales

Estas ondas se desplazan a lo largo de la superficie de la tierra, son las más lentas, pero son las más destructivas porque levantan el suelo (Zuñiga, 2011)

Para ganar un poco de tiempo antes de que ocurran los terremotos, lo que se hace es que mediante equipo especializado se monitorean las primeras y no destructivas ondas de presión, lo que indica que un terremoto viene en camino, y nos puede dar unos cuantos minutos de ventaja para salvar muchas vidas.

3.1.3.8 Escala de Richter

Es una escala logarítmica que sirve para medir la magnitud de un sismo, desarrollada por Charles Francis Richter. En esta escala cada grado representa un temblor que libera 10 veces más energía que el grado anterior (Tarbuck et al., 2005).

3.1.4 Regresión lineal múltiple

Se pretende emplear un modelo de regresión lineal múltiple, ya que para estimar las consecuencias esperadas de un terremoto se requiere tener en cuenta más de una variable explicativa.

Un modelo de regresión lineal múltiple emplea más de una variable explicativa (\mathbf{x}) para determinar el comportamiento de la variable dependiente (\mathbf{y}). Esto ofrece la ventaja de utilizar más información en la construcción del modelo y, consecuentemente, realizar estimaciones más precisas (Rojo, 2007).

En general, la variable dependiente o respuesta \mathbf{y} puede estar relacionada con k variables explicativas o regresores. El modelo

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon$$

Recibe el nombre de modelo de regresión lineal múltiple con k variables de regresión. Los parámetros β_j , $j = 0, 1, \dots, k$, se conocen como coeficientes de regresión. El parámetro β_j representa el cambio esperado en la respuesta \mathbf{y} por unidad de cambio en x_j cuando todos los demás regresores x_j ($i \neq j$) se mantienen constantes (Montgomery & Runger, 1996).

Los coeficientes de regresión pueden ser estimados con el método de mínimos cuadrados, donde se busca minimizar la varianza residual, es decir, la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los predichos de \mathbf{y} .

Además, el modelo cuenta con un componente ϵ a fin de compensar el error aleatorio. Este componente debe obedecer los supuestos del modelo de regresión lineal simple; a saber, que tenga una distribución normal con media 0 y varianza igual a σ^2 . Además, se supone que los errores aleatorios asociados a cualquier par de valores de \mathbf{y} son independientes (Mendenhall & Sincich, 1997). El modelo regresión lineal y los supuestos correspondientes se resumen en la figura 2.

Supuestos de un análisis de regresión lineal múltiple

1. La media de ϵ es 0, es decir, $E(\epsilon) = 0$. Esto implica que la media de \mathbf{y} equivale al componente determinístico del modelo, esto es,

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

2. Para todos los valores de las variables independientes de x_1, x_2, \dots, x_k , la varianza de ϵ es constante.
3. La distribución de probabilidad de ϵ es normal.
4. Los errores aleatorios son independientes (en un sentido probabilístico)

Figura 2. Supuestos de un análisis de regresión lineal múltiple. FUENTE: Adaptado de Mendenhall, William & Sincich (1997)

3.2 Antecedentes

Existe una amplia literatura relacionada con la Gestión de Operaciones de Desastres o DOM, por sus siglas en inglés (Disaster Operations Management). Para comprender mejor este gran panorama, muchos investigadores han clasificado dicha literatura según aspectos como la metodología de investigación empleada, el tipo de desastre, la contribución de la investigación, la fase del ciclo de vida de la gestión de desastres a la cual pertenece, entre otras. Todo esto con el fin de visualizar en qué áreas aún falta realizar más investigación.

Por lo tanto, estos estudios serán tomados en cuenta como antecedentes, por sus aportes al entendimiento del campo de la gestión de desastres. El primero de ellos es la revisión bibliográfica realizada por Altay & Green (2006), de la cual obtuvieron 109 artículos. Una vez realizaron su clasificación, observaron que la programación matemática es el método de investigación más utilizado, seguido por la teoría de probabilidad y estadística, aunque el uso de este último es mucho menos frecuente. Igualmente, la fase de mitigación es la que más investigación presenta, sin embargo, sólo hay 3 artículos relacionados con terremotos. La figura 3 muestra la distribución de la contribución de la investigación en cada una de las cuatro etapas del ciclo de vida de la gestión de desastres, esta sugiere que se necesita más investigación para desarrollar herramientas de mitigación, ya que existen una gran cantidad de teoría y modelos, pero muy poco avance en cuanto a los aportes aplicativos.

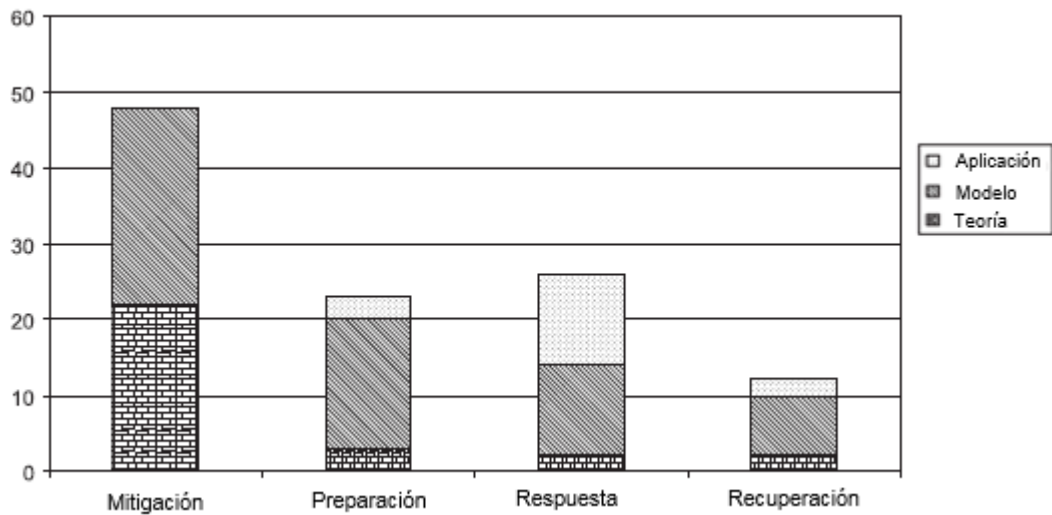


Figura 3. Distribución de la contribución investigativa para las etapas del ciclo de vida del DOM. FUENTE: Adaptado de Altay & Green (2006)

Por otra parte, la revisión realizada por Galindo & Batta (2013) es una continuación del trabajo realizado por Altay & Green (2006), que pretende evaluar cómo ha evolucionado la investigación en gestión de desastres desde la publicación de ellos. Su investigación abarcó 155 artículos y al realizar la clasificación, se dieron cuenta que la metodología preferida aún seguía siendo la programación matemática, seguida por la teoría de probabilidad y estadística, pero en menos proporción, comparada con el estudio de Altay & Green. Además, la investigación en desastres naturales aumentó considerablemente, superando a la realizada en los desastres causados por el hombre; la cual constituye una gran diferencia entre ambas publicaciones. Según Galindo & Batta este cambio se pudo dar debido a la serie de sucesos de desastres naturales que ha ocurrido desde 2004, como el tsunami en Indonesia en 2004, el huracán Katrina en 2005 y el terremoto de Haití en 2010, lo cual ha capturado el interés de la audiencia pública.

La fase que continúa predominando en investigación es la de mitigación. A diferencia de Altay & Green, en esta fase ya hay presencia de desarrollo de herramientas con aporte aplicativo, pero en pequeña medida, como se evidencia en la figura 4. Además, Galindo & Batta incluyeron una quinta categoría en las fases del ciclo de vida de la gestión de desastres que corresponde a los artículos que abarcan más de una etapa y la denominaron "Múltiple". En este caso, la teoría es el tipo más común de contribución investigativa, ya que se han publicado muchos artículos que presentan abstracciones sobre aspectos generales del DOM y esto implica todas sus etapas. Aunque la teoría es relevante para una mejor comprensión de los problemas de DOM y como base para el desarrollo de modelos, la investigación en aplicación no se debe dejar atrás, ya que el DOM requiere herramientas que apoyen el proceso de toma de decisiones de una manera rápida y eficiente.

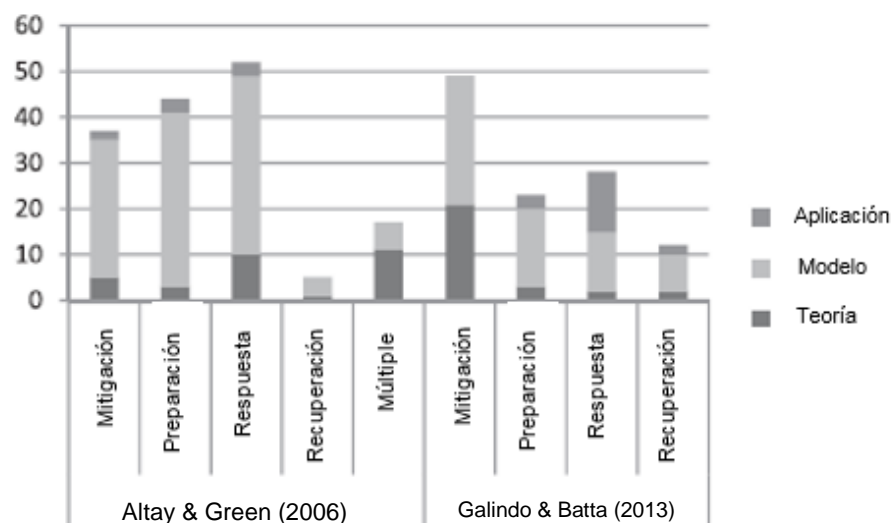


Figura 4. Distribución de la contribución investigativa para las etapas del DOM. FUENTE: Adaptado de Galindo & Batta (2013)

Otros autores son (Hoyos, Morales, & Akhavan-Tabatabaei, 2015) quienes trabajaron con 101 artículos relacionados con modelos con un componente estocástico, con el propósito de ayudar a la toma de decisiones en la logística humanitaria, y atender cada una de las fases de la gestión del riesgo. En la figura 5 se evidencia en qué proporción se distribuyen los modelos desarrollados en cada una de las fases.

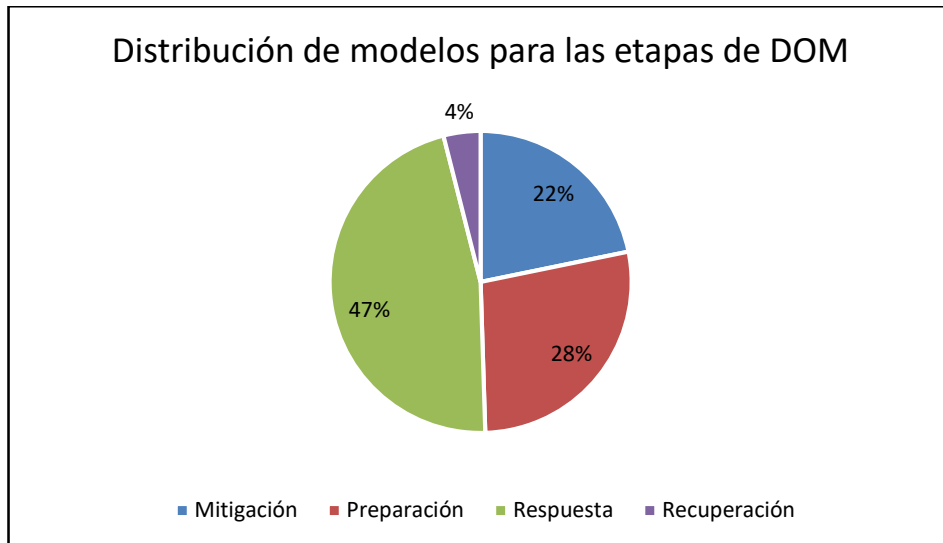


Figura 5. Distribución de modelos para las etapas de DOM. FUENTE: Adaptada de Hoyos et al., (2015)

Estos 101 artículos a su vez se pueden clasificar en 4 grandes categorías: Matemáticos, Simulación, Estadísticos/Probabilísticos, Inteligencia artificial. En la figura 6 se clasifican con base a la metodología empleada.

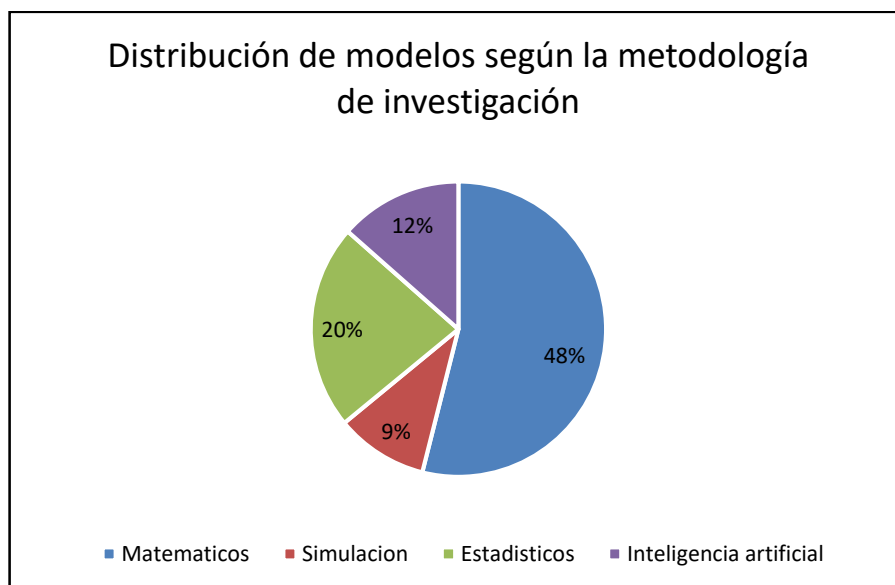


Figura 6. Modelos desarrollados según metodología empleada. FUENTE: Autores

El modelo propuesto en este trabajo investigativo está dirigido a atender la fase de mitigación, haciendo uso de la regresión lineal múltiple, la cual hace parte de la metodología estadística. A partir de la cual solo se realizaron 20 modelos, en la Figura 7 se evidencia la distribución de estos 20 en cada teoría o concepto de la metodología estadística.

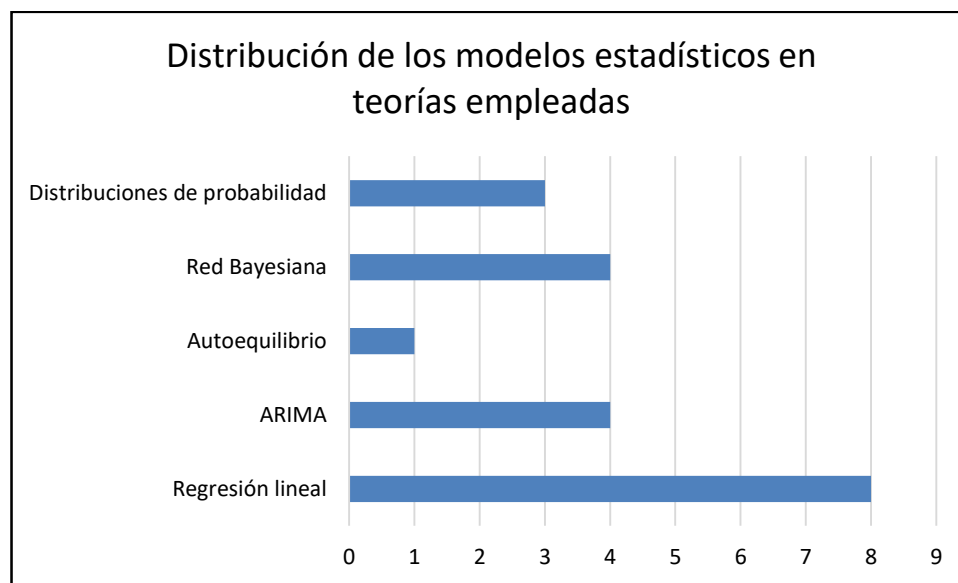


Figura 7. Distribución de los modelos estadísticos en teorías empleadas. FUENTE: Adaptada de Hoyos et al. (2015)

Cabe resaltar que los modelos que hacen uso de la metodología estadística no están todos enfocados hacia el mismo objetivo. Estos varían y atacan diferentes actividades de diferentes fases, comportamiento evidenciado en la figura 5.

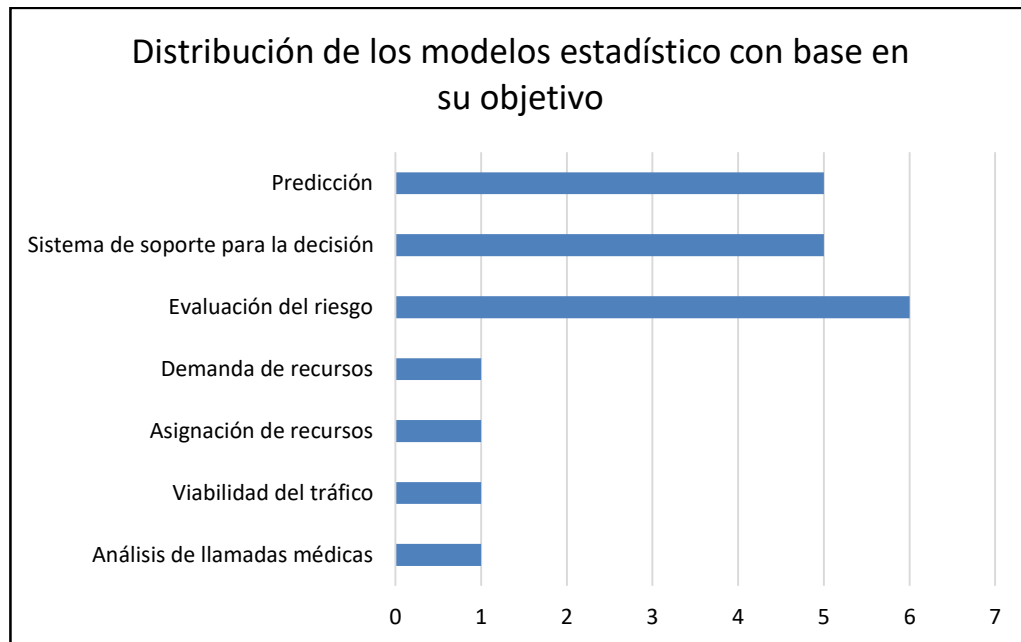


Figura 8. Distribución de los modelos estadístico con base en su objetivo. FUENTE: Adaptada de Hoyos et al. (2015)

A partir de las figuras 7 y 8, se puede evidenciar que de los 101 artículos investigados por (Hoyos et al., 2015) tan solo se han llevado a cabo 8 modelos que hagan uso de la regresión lineal. Por otro lado, de las distintas técnicas empleadas por los desarrolladores de los modelos, solo 5 tenían como objetivo principal la predicción de algún tipo de variable, actividad que cabría dentro de la fase de mitigación a la que se centra el modelo propuesto en este proyecto de grado.

3.3 Contribución Intelectual

El primer aporte que se hizo en este contexto fue la consolidación y curación de una base de datos lo suficientemente amplia y que cuenta con un considerable número de entradas y variables descriptivas, que investigadores del grupo Icubo pueden usar para futuros estudios. Esta configuración de datos se dio debido a que, mediante la investigación realizada, se evidenció que muchas bases de datos tenían datos incompletos, o en muchos casos no contaban con la cantidad necesaria de variables que se requieren para un estudio adecuado sobre el tema.

Como segunda medida, el aporte más significativo y definido anteriormente como objetivo principal de este escrito, es el desarrollo como tal de los modelos de estimación de los impactos sociales y económicos de un terremoto (heridos, muertos, daños económicos, etc.). Después de la revisión bibliográfica que se

realizó, se constató que se han realizado modelos haciendo uso de la regresión lineal múltiple para apoyar la logística humanitaria, pero ninguno se enfocó en el objetivo del presente trabajo, por lo que los modelos desarrollados son un significativo avance en materia de logística humanitaria.

Por otro lado, se evidenció mediante estadísticas presentadas por los autores de los artículos investigados, que un porcentaje muy bajo de los modelos que se desarrollan para ayudar a la logística humanitaria, es probado o testeado, así que se aplicaron los modelos elaborados en el presente trabajo a las ciudades de interés, empleando datos reales de sus respectivos contextos. De esa manera, es posible realizar conclusiones y aportes escritos, en los que la logística humanitaria pueda basarse, así como los modelos por sí mismos, para mejorar su rendimiento al momento de atención de estos desastres.

Finalmente, con el desarrollo de este proyecto, se considera que se hará un gran aporte a una de las problemáticas a las que se enfrenta la logística humanitaria, dado que, en muchos casos por falta de una estimación de número de heridos, muertos, etc.; no pueden realizar un cálculo de asignación de personal adecuado para las diferentes áreas de una ciudad, por ejemplo.

4 Metodología

4.1 Recolección y análisis de datos

Para el primer objetivo, que consiste en una revisión de la literatura relacionada con la utilización de modelos de regresión lineal múltiple para el estudio de movimientos telúricos, se emplearon las bases de datos proporcionadas por la universidad como fuentes para recolectar la información. Una vez se obtuvo toda la información necesaria, se realizó una síntesis comparativa de todos los estudios encontrados al respecto y se extrajeron los elementos útiles para la realización del modelo objeto de la presente investigación.

Con relación al segundo objetivo, la recolección de datos para construir el modelo se realizó mediante la selección de las variables de interés como número de muertos, heridos, damnificados, entre otras, teniendo en cuenta la disponibilidad de dichos datos en bases de datos de dominio público como la del Observatorio Sismológico de Estados Unidos y la EM-DATA de la Universidad Católica de Lovaina (UCL), Bruselas, Bélgica. Una vez se consolidó la base de datos con la cual se desarrolló el modelo, se realizó un análisis estadístico de los datos con ayuda de software estadístico para comprobar los supuestos necesarios para validar la utilidad del modelo. Este fue un proceso iterativo, ya que fue necesario probar con diversos grupos de datos para obtener el modelo que representa de manera más fiable la realidad.

Para el tercer objetivo, que consiste en determinar las consecuencias esperadas de un terremoto en Cali y Bucaramanga, el insumo principal fueron los modelos anteriormente desarrollados. La creación de los mapas se dio mediante la información acerca de los escenarios más probables de ocurrencia de un terremoto en las ciudades de Cali y Bucaramanga, brindados por el PLEC (Plan Local de Emergencias y Contingencias).

Finalmente, el cuarto objetivo se desarrolló teniendo en cuenta una hoja de evaluación de planes de contingencia perteneciente a SURATEP y los PLEC de las ciudades. Con base en lo anterior y los mapas construidos se realizó un análisis para determinar si las medidas de contingencia que tienen las ciudades, se encuentran alineadas con los resultados obtenidos a partir de los modelos desarrollados y las simulaciones planteadas por los mismos documentos.

En las sesiones donde se desarrollaron cada uno de los objetivos, se explicó con mayor detalle la metodología empleada.

5 Resultados

5.1 Objetivo 1: Análisis de la literatura relacionada con la utilización de modelos de regresión lineal múltiple para el estudio de datos de movimientos telúricos.

5.1.1 Metodología

Para el desarrollo del primer objetivo se realizó una revisión bibliográfica, contando como insumo principal las bases de datos proporcionadas por la Universidad Icesi.

En primer lugar, se revisaron los artículos que se emplearon en los antecedentes, donde se dio un panorama general acerca de la Gestión de Operaciones de Desastres. De los artículos clasificados en la fase de mitigación, que desarrollaron un modelo como contribución de su investigación y a su vez, este fue de tipo estadístico/probabilístico, ninguno empleaba la regresión lineal múltiple para explicar la relación entre diversas variables.

Por lo tanto, se trabajó con los artículos encontrados en las bases de datos.

Cabe mencionar que la información encontrada no fue muy amplia. Esto tiene aspectos tanto positivos como negativos. Lo bueno de que se haya obtenido poca información indica que la estimación de los impactos sociales y económicos generados por un terremoto empleando regresión lineal no ha sido muy abordada, lo que significa que el aporte de esta investigación puede ser relevante en el campo del estudio de movimiento sísmicos. Igualmente, se evidenció que, empleando otras metodologías de investigación, tales como redes neuronales (por ejemplo, Wang, Niu, & Wu (2011)) esta temática ha sido abordada. Entonces, queda una pregunta para futuras investigaciones: ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de emplear regresión lineal múltiple para estimar los impactos sociales y económicos de un terremoto, respecto a otras metodologías de investigación?

Por otra parte, los aspectos negativos de la poca información encontrada radican en que no se tienen muchas referencias para la elaboración del presente trabajo y, por lo tanto, no se puede hacer algún tipo de comparación. Sin embargo, es una gran oportunidad para comenzar a explorar la regresión lineal múltiple en el estudio de movimientos telúricos.

5.1.2 Resultados

Se encontraron 3 artículos que desarrollan modelos de regresión lineal múltiple empleando variables explicativas y dependientes que son de interés para este trabajo.

El primero de ellos fue desarrollado por Öztürk (2014). En este estudio son comparadas cuatro normas diferentes de regresión, con el fin de obtener una herramienta de estimación correcta que permita establecer la mejor relación empírica entre la magnitud de onda superficial y la ruptura de longitud para los terremotos en Turquía.

Las cuatro normas de regresión que se comparan son: mínimos cuadrados, mínimas desviaciones absolutas, mínimos cuadrados totales y regresiones robustas.

La regresión por mínimos cuadrados es la más empleada en el análisis de datos estadísticos. Sin embargo, el estimador de regresión lineal por mínimos cuadrados es altamente sensible a los valores atípicos en los datos; por ende, surgió la regresión de las desviaciones absolutas, la cual permite establecer unos estimadores más robustos. El uso de esta norma es apropiado cuando se sospecha que una pequeña porción de los datos que se analizan no es confiable (es decir, contiene datos atípicos). La regresión ortogonal busca minimizar las distancias ortogonales (perpendiculares) desde los puntos de los datos hasta la línea de ajuste. A diferencia de la regresión de mínimos cuadrados, tanto el estimador como el predictor en la regresión ortogonal contienen error de medición.

Como ya se mencionó, un problema de la regresión por mínimos cuadrados es su no robustez a valores atípicos, por esto, la regresión robusta busca eliminar esta sensibilidad descartando iterativamente los datos que peor se ajustan a la línea y volviendo a calcular el ajuste de mínimos cuadrados para los datos restantes.

Los datos que el autor empleó para realizar los modelos de regresión se obtuvieron de 63 terremotos ocurridos entre 1905 y 2005 en Turquía y sus alrededores, cuyas magnitudes de ondas superficiales fueran mayores que 5.5.

Los criterios empleados por el autor del artículo para determinar la regresión que mejor representa la relación entre las variables fueron el coeficiente de correlación y los intervalos de confianza del 90%, 95% y 99%, con el fin de estimar las características estadísticas de los datos de la muestra.

El autor primero desarrolla los modelos de regresión con todos los datos. Dando como resultado que la regresión que obtuvo un mayor coeficiente de correlación fue la regresión de desviaciones absolutas y el mayor número de eventos dentro de los límites de confianza.

Luego, agrupan los terremotos en tres subgrupos según las longitudes de ruptura y obtienen como resultado que la correlación en todas las regresiones es bastante débil para todos los subgrupos. Lo cual es explicado al considerar la pequeña cantidad de datos empleados para realizar el modelo en cada subgrupo. Finalmente, afirma que la subdivisión del conjunto de datos no mejoró mucho la significación estadística de las regresiones, en cambio, se pueden proporcionar

resultados más confiables con el uso de todo el conjunto de datos. Esto proporciona una información relevante para el presente trabajo.

Este artículo brinda un análisis importante en la aplicación de las regresiones lineales, ya que no existe una regla para seleccionar la distribución que mejor se ajuste a un conjunto de datos para estimar ciertos parámetros. Sin embargo, en este trabajo se empleará la regresión de mínimos cuadrados, asegurándose de cumplir todos los supuestos, para garantizar la idoneidad de los modelos que se desarrollen.

El segundo artículo consultado fue desarrollado por Habibi, *et al.* (2014). En este artículo fueron recolectados 10 criterios de vulnerabilidad física de la textura urbana y datos de cada criterio para seis zonas municipales de Teherán. Los criterios de vulnerabilidad se obtuvieron al revisar diversos tipos de investigaciones y combinar los principales criterios que afectan las zonas urbanas en un terremoto, obteniendo como resultado los siguientes criterios: edad de construcción, materiales de construcción, calidad de la construcción, construcción de tiendas, área de la construcción, densidad de construcción, confinamiento, uso de la tierra, acceso a espacios abiertos y aceleración horizontal terrestre.

Estos criterios fueron clasificados en cuatro factores principales empleando el método de análisis funcional. Uno de los beneficios de este método, mencionado por los autores, es que el analista puede enfocar su atención en los elementos centrales, en lugar de los redundantes atributos, además de servir como un 'preprocesador' de datos para los modelos de regresión. Los cuatro factores principales obtenidos son: Construcción y Uso (conformado por los criterios de materiales de construcción, edad de construcción, calidad de la construcción y uso de la tierra), Forma y Dimensiones (conformado por la construcción de tiendas, densidad de construcción y confinamiento), Ubicación (compuesto por la aceleración horizontal del terreno y acceso a espacios abiertos) y Área.

Tomando como base de datos primaria una mezcla entre los mapas disponibles del Sistema de Información Geográfica (o GIS, en inglés) y la adición de datos recolectados en el Distrito VI de Teherán, los autores construyeron unos mapas que documentan las condiciones del área con respecto a cada uno de los criterios, condensándolos en un mapa de cada uno de los factores nombrados anteriormente.

Después de dicho análisis, los autores emplearon regresión lineal múltiple, donde establecieron como variable dependiente la vulnerabilidad sísmica y los cuatro factores, como variables independientes. Resumiendo, los puntajes funcionales de los diferentes factores y considerando la dependencia de cada factor a la vulnerabilidad general, crearon el mapa final de vulnerabilidad sísmica para el Distrito VI de Teherán. Igualmente, dieron un nuevo orden de los criterios, con el fin de priorizar los programas que tratan con las condiciones de vulnerabilidad en las zonas mayormente afectadas por un terremoto. La priorización reveló que la

ubicación de los edificios es un factor muy importante, seguido por los criterios que abordan las reglas de tamaño y forma de los edificios.

De este artículo se pueden rescatar muchos aspectos que son importantes para la realización del presente trabajo. En primer lugar, el artículo busca ser una herramienta que permita mejorar el poder de los órganos de toma de decisiones, gestión y supervisión de desastres, evaluando el concepto de vulnerabilidad urbana para estar preparados inteligentemente en el momento de una crisis. Lo cual es muy similar al objeto de la investigación que aquí tiene lugar, ya que se busca ser una herramienta que facilite a las principales oficinas de atención y prevención de desastres hacer una adecuada distribución de los recursos y lograr minimizar el impacto de los terremotos en las ciudades.

Por otra parte, los autores afirman que las áreas urbanas, especialmente en los países en desarrollo, tienden a ser más vulnerables a los terremotos debido a la mala planificación, diseño deficiente de los edificios, descuido en la implementación de los proyectos de construcción cívica, falta de cuidado adecuado en reparadores y mantenimiento, asentamiento en áreas de riesgo, etc. Por lo tanto, un estudio realizado en un país en vías de desarrollo como Irán se puede asemejar a una situación que pueda ocurrir en Colombia, ya que presenta características similares.

Otro aspecto importante por considerar es la inclusión de algunos criterios evaluados en este artículo en el presente estudio. Dadas las condiciones de desigualdad en el país, sería adecuado tener en cuenta las condiciones de construcción de las viviendas en Cali, ya que esto también determinará el impacto social y económico que pueda tener un terremoto en la ciudad.

Finalmente, el tercer artículo consultado fue desarrollado por Pairojn & Wasinrat (2015). En este estudio se propone un modelo de regresión lineal múltiple para estimar la aceleración pico promedio del suelo de los terremotos registrados por los sismómetros de la estación Chiang Mai, Tailandia. Un total de 66 terremotos registrados de 2006 a 2012, los autores utilizaron en el modelo propuesto. Las variables independientes empleadas por los investigadores son la distancia del epicentro y la magnitud del terremoto.

Al desarrollar el modelo, los autores de este artículo hacen especial énfasis en el cumplimiento de todos los supuestos de los modelos de regresión lineal múltiple, es decir, que los errores se distribuyan normalmente, estén centrados en cero, que sean independientes y su varianza sea constante. Esto es importante para el presente trabajo, ya que permite verificar que el cumplimiento de los supuestos garantiza la idoneidad del modelo.

El resultado obtenido por los investigadores es que el modelo de estimación de la aceleración pico promedio del suelo brinda una información muy cercana a los

movimientos del suelo proporcionados por la estación sísmica de Chiang Mai. Esto confirma lo enunciado anteriormente con el cumplimiento de los supuestos.

5.1.3 Conclusiones

Como se evidencia en la sección anterior, no se encontraron artículos que empleen un modelo de regresión lineal múltiple para estimar los impactos sociales y económicos generados por un terremoto.

Igualmente, ninguno de estos artículos emplea la totalidad de variables con las que se pretende desarrollar el modelo del presente trabajo, tales como muertos, heridos, daños económicos, entre otras.

Esto abre una buena oportunidad para comenzar a explorar los modelos de regresión lineal como metodología de investigación en los impactos de los terremotos y crear puntos de comparación con otras metodologías recurrentemente empleadas.

5.2 Objetivo 2: Generar los modelos de regresión lineal y validar sus supuestos, con ayuda de software estadístico.

5.2.1 Consideraciones

Para el desarrollo de este objetivo se tuvo como referencia un estudio realizado por (Wells & Coppersmith, 1994), debido a la similitud en la metodología empleada. En este artículo se compiló una base de datos mundial de 421 terremotos históricos, los cuales fueron obtenidos a partir de resultados publicados de investigaciones de campo de fallas superficiales e investigaciones sismológicas.

En este aspecto, se evidencia una diferencia con respecto a la metodología empleada en el presente trabajo, ya que las bases de datos utilizadas por nosotros son de dominio público.

Para cada terremoto en la base de datos de dicho artículo, las variables descriptivas que se consideraron fueron parámetros sísmicos de fuente y características de falla tales como: momento sísmico, magnitud, mecanismo focal, profundidad focal, tipo de deslizamiento, longitud de ruptura superficial y subsuperficial, desplazamiento de superficie máximo y promedio, ancho de ruptura de gota descendente y ruptura zona.

Las únicas variables que comparten ese estudio con el presente trabajo son la magnitud y la profundidad focal. Por otra parte, en el análisis final de dicho artículo no fueron incluidos la totalidad de los terremotos de la base de datos, debido a que los autores realizaron una actualización de esta, clasificando cada parámetro como confiable o no confiable, según una evaluación de la precisión de los valores individuales. De esta manera, solo los valores confiables fueron empleados en el análisis final, obteniendo como resultados 244 terremotos.

De la base de datos final, los terremotos se clasificaron por ubicación, nombre (descriptor geográfico o falla asociada) y fecha de origen en Tiempo Universal Coordinado (UTC), además de que fueron excluidos del estudio los terremotos asociados con las zonas de subducción, los terremotos con interfaz de placa y los que ocurren dentro de las losas oceánicas, lo que representa una similitud y limitación en común con nuestro trabajo, debido a que las bases de datos empleadas por nosotros, no cuentan con tal información.

Es importante resaltar que los terremotos que fueron incluidos en ese estudio se presentaron en un periodo comprendido entre 1857 y 1993. En el presente trabajo las entradas disponibles después del año 1993 y antes de 1857 equivalen al 51% aproximadamente del total de entradas para las bases de datos que se consideraron en nuestro estudio (NOAA y EM DATA). En la tabla 1 se evidencia dicha información.

Tabla 1. Porcentaje de entradas de bases de datos. FUENTE: Autores

No. Entradas	NOAA	%	EM DATA	%
Total	5985	100,00%	1342	100,00%
Antes de 1857	1870	31,24%	0	0,00%
Después de 1993	1182	19,75%	690	51,42%

5.2.2 Metodología

Para el desarrollo del segundo objetivo, se comenzó con la recolección de datos para la construcción de los modelos. Estos fueron obtenidos de las bases de datos mencionadas a continuación, sugeridas por el tutor como conjuntos de datos de interés para el desarrollo de este proyecto:

1. Base de datos NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, n.d.): Es una base de datos que cuenta con exactamente 5.985 entradas, que datan del año -2.150 hasta el año 2.018. Cada entrada cuenta con un total de 25 variables, tanto descriptivas como categóricas. Dichas entradas se distribuyen entre más de 100 países alrededor de todo el planeta, lo que equivale al 52% aproximadamente del total de países a nivel global.

2. Base de datos EM DATA (EM-DAT: The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir - www.emdat.be, Brussels, n.d.): Es una base de datos que cuenta con exactamente 1342 entradas, que datan del año 1900 hasta el año 2018. Cada entrada cuenta con un total de 16 variables, tanto descriptivas como categóricas. Dichas entradas se distribuyen entre un total de 121 países, lo que equivale al 62% aproximadamente del total de países a nivel global. Acerca de esta base de datos es preciso comentar que es alimentada por personal dedicado exclusivamente a la labor de recoger este tipo de datos y tiene soporte especializado. Razón por la cual, solo permite descargar hasta un cierto tope de registros, luego de pasar ese tope, se debe realizar un pago de suscripción anual para seguir teniendo acceso a la información. Además de que se debe pedir autorización previa mediante correo para poder ingresar a la misma.

Luego se procedió con la selección de las variables de interés para el desarrollo de los modelos. Para este paso del proceso se descartaron aquellos campos o variables que no contaran con por lo menos 30 entradas, cantidad que se puede considerar representativa a la hora del desarrollo de estos modelos.

Haciendo uso de este criterio, se seleccionaron las siguientes variables continuas y categóricas de las bases de datos anteriormente nombradas.

1. NOAA

Tabla 2. Variables seleccionadas base de datos NOAA. FUENTE: Autores

Variabes	Continua	Categórica
Latitud	X	
Longitud	X	
Magnitud	X	
Focal Depth	X	
Deaths	X	
Description of deaths		X
Injuries	X	
Description of injuries		X
Economic damage	X	
Description of economic damage		X
Houses destroyed	X	
Description of destroyed houses		X
Houses damaged	X	
Description of damaged houses		X

2. EM DATA

Tabla 3. Variables seleccionadas base de datos EM DATA. FUENTE: Autores

Variables	Continua	Categórica
Latitud	X	
Longitud	X	
Magnitud	X	
Associated disaster		X
Deaths	X	
Affected	X	
Economic damage	X	
Insured losses	X	

La definición de las variables seleccionadas en cada una de las bases de datos, son las siguientes:

1. NOAA

- a) Latitud y Longitud: Coordenadas geográficas en las cuales se presentó el movimiento sísmico.
- b) Magnitude: Escala que mide la intensidad del evento sísmico (entre más elevado sea el valor de la escala, más elevado es la intensidad del evento sísmico).
- c) Focal Depth: Distancia en kilómetros entre el hipocentro (punto debajo de la superficie donde se presenta el evento sísmico) y el epicentro (punto proyectado en la superficie donde se presenta el movimiento sísmico).
- d) Deaths: Número de muertos ocasionados por el evento sísmico.
- e) Injuries: Número de heridos ocasionados por el evento sísmico.
- f) Economic damage: Daño en términos económicos (millones de dólares), ocasionados por el evento sísmico.
- g) Houses destroyed: Número de casas destruidas por el evento sísmico.
- h) Houses damaged: Número de casas afectadas por el evento sísmico.
- i) Description of deaths:

Tabla 4. Interpretación de los valores de la variable “Description of deaths”. FUENTE: Base de datos NOAA

Description of deaths	0	None
	1	Few (~1 to 50 deaths)
	2	Some (~51 to 100 deaths)
	3	Many (~101 to 1000 deaths)
	4	Very Many (~1001 or more deaths)

j) Description of injuries:

Description of injuries	0	None
	1	Few (~1 to 50 injuries)
	2	Some (~51 to 100 injuries)
	3	Many (~101 to 1000 injuries)
	4	Very Many (~1001 or more injuries)

Tabla 5. Interpretación de los valores de la variable “Description of injuries”. FUENTE: Adaptado de NOAA

k) Description of Economic Damage:

Description of Economic Damage	0	None
	1	Limited (roughly corresponding to less than \$1 million)
	2	Moderate (~\$1 to \$5 million)
	3	Severe (~>\$5 to \$24 million)
	4	Extreme (~\$25 million or more)

Tabla 6. Interpretación de los valores de la variable “Description of economic damage”. FUENTE: Adaptado de NOAA

l) Description of houses destroyed:

Description of houses destroyed	0	None
	1	Few (~1 to 50 houses)
	2	Some (~51 to 100 houses)
	3	Many (~101 to 1000 houses)
	4	Very Many (~1001 or more houses)

Tabla 7. Interpretación de los valores de la variable “Description of houses destroyed”. FUENTE: Adaptado de NOAA

m) Description of houses damages:

Description of houses damaged	0	None
	1	Few (~1 to 50 houses)
	2	Some (~51 to 100 houses)
	3	Many (~101 to 1000 houses)
	4	Very Many (~1001 or more houses)

Tabla 8. Interpretación de los valores de la variable "Description of houses damaged". FUENTE: Adaptado de NOAA

2. EM DATA

- a) Latitude y Longitude: Coordenadas geográficas en las cuales se presentó el movimiento sísmico.
- b) Magnitude: Escala que mide la intensidad del evento sísmico (entre más elevado sea el valor de la escala, más elevado es la intensidad del evento sísmico).
- c) Associated Disaster: Variable que asocia un segundo desastre que haya sido causado por el evento sísmico.
- Avalanche (Avalancha)
 - Collapse (Derrumbe)
 - Fire (Incendio)
 - Flood (Inundación)
 - Slide (Deslizamiento)
 - Tsunami (Tsunami)
 - Volcanic activity (Actividad volcánica)
- d) Deaths: Número de muertos ocasionados por el evento sísmico.
- e) Affected: Número de heridos ocasionados por el evento sísmico.
- f) Economic damage: Daño en términos económicos (Millones de dólares), ocasionados por el evento sísmico.
- g) Insured losses: Pérdidas aseguradas cubiertas por seguros, por razón de daños ocasionados por el evento sísmico.

Una vez seleccionadas las variables de interés de las dos bases de datos, se procedió con la eliminación de las entradas que estuvieran incompletas; es decir

aquellas que tuvieran campos vacíos en cualquiera de las variables de interés seleccionadas, debido a que es importante e indispensable trabajar solo con registros completos.

Es importante aclarar que se realizaron varios experimentos con distintos conjuntos de datos y variables, por lo cual al sacar o incluir alguna variable explicativa del modelo, los registros completos pueden aumentar o disminuir considerablemente. Un ejemplo de esto fue cuando se eliminó la variable Insured Losses; se volvió a filtrar y se obtuvo un total de 381 registros completos. Por lo tanto, cuando se presenten los modelos desarrollados, se indicara el número de registros utilizados para su desarrollo, así como las variables tenidas en cuenta.

Posteriormente, se continuó con el uso de software estadístico (Minitab) para ajustar los distintos modelos de regresión. Lo que se busca con el software es encontrar la línea media y/o ecuación lineal que resuma o sintetice la dependencia entre la variable dependiente “Y” y la/las variables independientes “X”. Además de obtener información útil para la validación de los supuestos de la regresión lineal múltiple.

Este fue un proceso iterativo, ya que era necesario probar con diversos grupos de datos y variables. Como ya se mencionó anteriormente, el objetivo era intentar conseguir el modelo que mejor se ajustara el comportamiento entre las distintas variables de interés.

Para cada conjunto de datos probado, Minitab arroja información estadística y gráficas necesarias para la validación de los supuestos del modelo, como se muestra a continuación:

- Gráficas

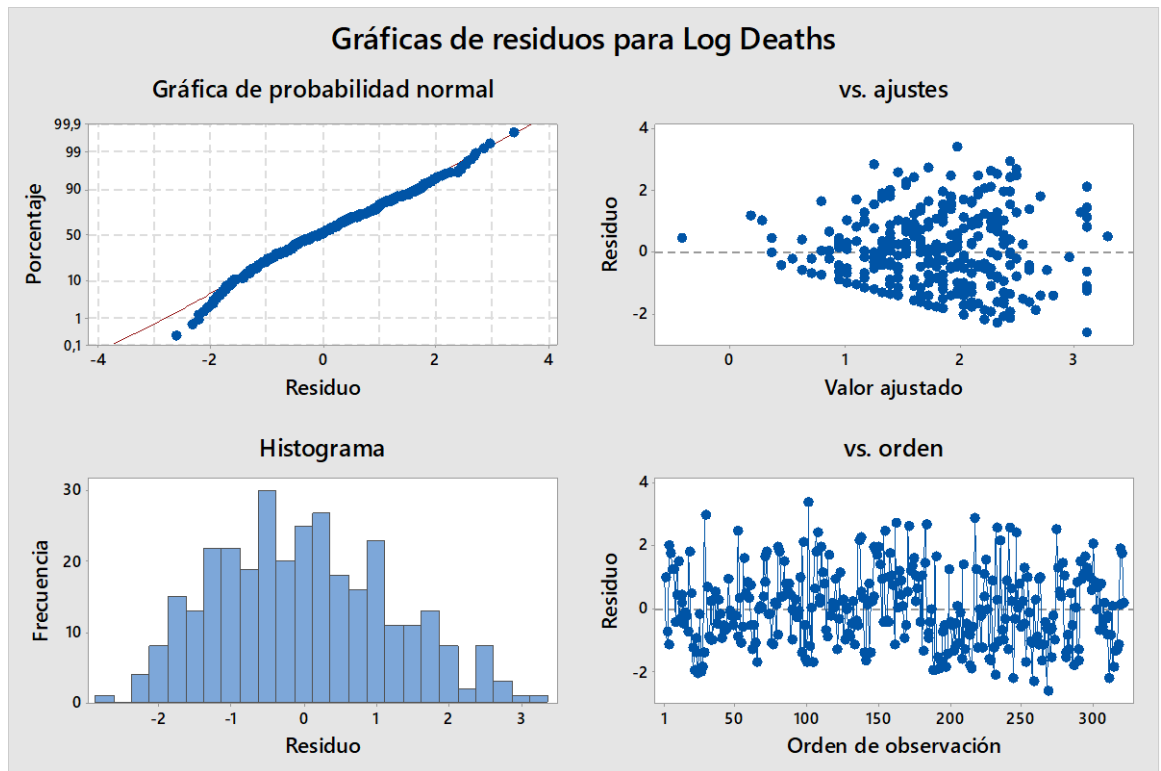


Figura 9. Ejemplo de los resultados gráficos de un modelo generados por el software estadístico Minitab. FUENTE: Minitab

- Informe estadístico

Minitab genera un informe estadístico donde presenta un análisis de la varianza, un resumen del modelo que incluye los valores de correlación y varianza, un análisis de los coeficientes del modelo y la ecuación del modelo.

Análisis de regresión: LOG Injuries vs. Focal Depth. ... houses damaged

Método

Codificación de predictores categóricos (1. 0)

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	17	94,798	5,57634	15,05	0,000
Focal Depth	1	0,107	0,10670	0,29	0,593
Magnitud	1	0,418	0,41782	1,13	0,291
Deaths	1	0,450	0,45026	1,22	0,273
Houses Destroyed	1	0,008	0,00751	0,02	0,887
Houses Damaged	1	0,000	0,00003	0,00	0,993
Description of deaths	3	9,037	3,01225	8,13	0,000
Descripcion of economic damage	3	4,640	1,54676	4,17	0,008
Description of houses destroyed	3	1,680	0,55991	1,51	0,217
Description of houses damaged	3	0,984	0,32816	0,89	0,451
Error	96	35,570	0,37052		
Total	113	130,368			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,608703	72,72%	67,88%	9,56%

Figura 10. Ejemplo del informe estadístico generado por el software estadístico Minitab. FUENTE: Minitab

Una medida de dispersión que demuestra el grado en el que se puede sustituir el promedio de las observaciones por las observaciones individuales de las cuales se obtuvo, además de su doble funcionalidad para poder comparar los diferentes modelos entre ellos, es el coeficiente de determinación lineal “R²”. Este coeficiente es una medida que representa el porcentaje de variación total de la variable de respuesta “Y”, que es explicado por el modelo de regresión. Un R²=1 significa un ajuste lineal perfecto, por el contrario, un R²=0 indica la no representatividad del modelo de regresión, lo que supone que la variable predictora “X” no explica nada de la variación total de la variable de respuesta “Y” (Martínez Rodríguez, Cristina, & Lorenzo, 2005).

Por otro lado, de acuerdo con (Martínez Rodríguez et al., 2005) el número de variables explicativas o independientes condicionan el valor del coeficiente R², de manera que a medida que aumenta el número de variables explicativas, el valor de R² también aumenta.

Es debido a lo anterior que a la hora de analizar y comparar los modelos, se usó como medida de dispersión el coeficiente R²- ajustado, debido a que tiene como

propiedad la neutralidad frente a la introducción de variables adicionales (Martínez Rodríguez et al., 2005).

Es importante aclarar que, aunque el R²- ajustado es una medida que no tomo como guía, la robustez del modelo radica en la validación de los supuestos de regresión tales como normalidad/independencia de los residuos e igualdad de varianza de los residuos.

5.2.3 Resultados

Los conjuntos de datos probados para cada base de datos y los resultados obtenidos se presentan a continuación.

1. NOAA

a) Conjunto de datos 1:

Modelos probados = 16

Número de entradas = 114

Tabla 9. Modelos probados del conjunto de datos 1 de la base de datos NOAA. FUENTE: Autores

Variable dependiente	Variables independientes																R2 ajustado	
	Focal depth	Magnitude	Injuries	Description of injuries	Deaths	Description of deaths	Description of economic damage	Houses destroyed	Description of houses destroyed	Houses damaged	Description of houses damaged	LOG Focal depth	LOG Magnitude	LOG Injuries	LOG Deaths	LOG Houses destroyed		LOG Houses damaged
Deaths	X	X	X	X			X	X	X	X	X							10,77%
LOG Deaths	X	X	X	X			X	X	X	X	X							65,86%
Deaths				X			X		X		X	X	X	X		X	X	1,17%
LOG Deaths				X			X		X		X	X	X	X		X	X	67,67%
Injuries	X	X			X	X	X	X	X	X	X							84,70%
LOG Injuries	X	X			X	X	X	X	X	X	X							67,88%
Injuries						X	X		X		X	X	X		X	X	X	25,20%
LOG Injuries						X	X		X		X	X	X		X	X	X	74,54%
Houses destroyed	X	X	X	X	X	X	X			X	X							99,80%
LOG Houses destroyed	X	X	X	X	X	X	X			X	X							69,22%
Houses destroyed				X		X	X				X	X	X	X	X		X	23,92%
LOG Houses destroyed				X		X	X				X	X	X	X	X		X	85,60%
Houses damaged	X	X	X	X	X	X	X	X	X									99,80%
LOG Houses damaged	X	X	X	X	X	X	X	X	X									67,81%
Houses damaged				X		X	X		X			X	X	X	X	X		26,15%
LOG Houses damaged				X		X	X		X			X	X	X	X	X		83,33%

- b) Conjunto de datos 2:
Modelos probados = 20
Número de entradas = 41

Tabla 10. Modelos probados del conjunto de datos 2 de la base de datos NOAA. FUENTE: Autores

Variable dependiente	Variable independiente																	R2 ajustado						
	Focal depth	Magnitude	Latitude	Longitude	Injuries	Description of injuries	Deaths	Description of deaths	Economic damaged	Description of economic damage	Houses destroyed	Description of houses destroyed	Houses damaged	Description of houses damaged	LOG Focal depth	LOG Magnitude	LOG Injuries		LOG Deaths	LOG Economic damage	LOG Houses destroyed	LOG Houses damaged		
Deaths	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X										0,0%
LOG Deaths	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X										70,49%
Deaths			X	X		X				X		X		X	X	X	X		X	X	X			0,0%
LOG Deaths			X	X		X				X		X		X	X	X	X		X	X	X			76,88%
Injuries	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X										76,89%
LOG Injuries	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X										77,56%
Injuries			X	X				X		X		X		X	X	X		X	X	X	X			12,06%
LOG Injuries			X	X				X		X		X		X	X	X		X	X	X	X			83,97%
Economic damage	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X										57,01%
LOG Economic damage	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X										66,36%
Economic damage			X	X		X		X				X		X	X	X	X	X		X	X			7,08%
LOG Economic damage			X	X		X		X				X		X	X	X	X	X		X				74,54%
Houses destroyed	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X										99,91%
LOG Houses destroyed	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X										63,06%
Houses destroyed			X	X		X		X		X				X	X	X	X	X	X	X		X		6,83%
LOG Houses destroyed			X	X		X		X		X				X	X	X	X	X	X	X		X		93,87%
Houses damaged	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X												99,22%
LOG Houses damaged	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X												51,65%
Houses damaged			X	X		X		X		X					X	X	X	X	X	X	X			7,11%
LOG Houses damaged			X	X		X		X		X					X	X	X	X	X	X	X			91,95%

- c) Conjunto de datos 3:
 Modelos probados = 16
 Número de entradas = 114

Tabla 11. Modelos probados del conjunto de datos 1 de la base de datos NOAA. FUENTE: Autores

Variable dependiente	Variables independientes																R2 ajustado				
	Focal depth	Magnitude	Latitude	Longitude	Injuries	Description of injuries	Deaths	Description of deaths	Description of economic damage	Houses destroyed	Description of houses destroyed	Houses damaged	Description of houses damaged	LOG Focal depth	LOG Magnitude	LOG Injuries		LOG Deaths	LOG Houses destroyed	LOG Houses damaged	
Deaths	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X								13,63%
LOG Deaths	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X								63,78%
Deaths			X	X		X			X		X		X	X	X			X	X		2,85%
LOG Deaths			X	X		X			X		X		X	X	X			X	X		67,56%
Injuries	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X								84,45%
LOG Injuries	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X								67,93%
Injuries			X	X				X	X		X		X	X	X		X	X	X		24,0%
LOG Injuries			X	X				X	X		X		X	X	X		X	X	X		74,13%
Houses destroyed	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X								99,80%
LOG Houses destroyed	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X								69,83%
Houses destroyed			X	X		X		X	X				X	X	X	X	X		X		23,11%
LOG Houses destroyed						X		X	X				X	X	X	X	X		X		85,35%
Houses damaged	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										99,80%
LOG Houses damaged	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										68,48%
Houses damaged			X	X		X		X	X		X			X	X	X	X	X			25,53%
LOG Houses damaged			X	X		X		X	X		X			X	X	X	X	X			82,78%

- d) Conjunto de datos 4:
Modelos probados = 20
Número de entradas = 41

Tabla 12. Modelos probados del conjunto de datos 4 de la base de datos NOAA. FUENTE: Autores

Variable dependiente	Variables independientes														R2 ajustado
	Focal depth	Magnitude	Injuries	Deaths	Economic damage	Houses destroyed	Houses damaged	LOG Focal depth	LOG Magnitude	LOG Injuries	LOG Deaths	LOG Houses destroyed	LOG Economic damage	LOG Houses damaged	
Deaths	X	X	X		X	X	X								18,50%
LOG Deaths	X	X	X		X	X	X								27,30%
Deaths								X	X	X		X	X	X	2,81%
LOG Deaths								X	X	X		X	X	X	76,59%
Injuries	X	X		X	X	X	X								83,14%
LOG Injuries	X	X		X	X	X	X								18,31%
Injuries								X	X		X	X	X	X	20,73%
LOG Injuries								X	X		X	X	X	X	86,14%
Houses destroyed	X	X	X	X	X		X								99,90%
LOG Houses destroyed	X	X	X	X	X		X								18,61%
Houses destroyed								X	X	X	X		X	X	15,22%
LOG Houses destroyed								X	X	X	X		X	X	90,71%
Houses damaged	X	X	X	X	X	X									99,90%
LOG Houses damaged	X	X	X	X	X	X									18,32%
Houses damaged								X	X	X	X	X	X		11,23%
LOG Houses damaged								X	X	X	X	X	X		86,15%
Economic damage	X	X	X	X		X	X								56,00%
LOG Economic damage	X	X	X	X		X	X								7,91%
Economic damage								X	X	X	X	X		X	21,27%
LOG Economic damage								X	X	X	X	X		X	54,39%

2. EM DATA

- a) Conjunto de datos 1:
Modelos probados = 16
Número de entradas = 321

Tabla 13. Modelos probados del conjunto de datos 1 de la base de datos EM DATA. FUENTE: Autores

Variable dependiente	Variables independientes								R2 ajustado
	Magnitude	Deaths	Affected	Economic damage	LOG Magnitude	LOG Deaths	LOG Affected	LOG Economic damage	
Deaths	X								4,70%
Deaths					X				4,33%
Deaths	X		X	X					8,90%
Deaths					X		X	X	9,45%
LOG Deaths	X								19,65%
LOG Deaths					X				19,87%
LOG Deaths	X	X		X					23,67%
LOG Deaths	X		X	X					44,35%
Economic damage					X	X		X	5,06%
Economic damage	X	X	X						10,56%
LOG Economic damage	X	X	X						10,67%
LOG Economic damage					X	X	X		25,58%
Affected	X	X		X					12,79%
Affected					X	X		X	6,86%
LOG Affected	X	X		X					9,54%
LOG Affected					X	X		X	38,23%

- b) Conjunto de datos 2:
Modelos probados = 16
Número de entradas = 38

Tabla 14. Modelos probados del conjunto de datos 2 de la base de datos EM DATA. FUENTE: Autores

Variable dependiente	Variables independientes											R2 ajustado
	Magnitude	Deaths	Affected	Economic damage	Insured losses	Associated disaster	LOG Magnitude	LOG Deaths	LOG Affected	LOG Economic damage	LOG Insured	
Deaths	X		X	X	X	X						13,79%
Deaths						X	X		X	X	X	11,01%
LOG Deaths	X		X	X	X	X						51,72%
LOG Deaths						X	X		X	X	X	75,05%
Affected	X	X		X	X	X						41,71%
Affected						X	X	X		X	X	14,22%
LOG Affected	X	X		X	X	X						31,65%
LOG Affected						X	X	X		X	X	54,09%
Economic damage	X	X	X		X	X						83,59%
Economic damage						X	X	X	X		X	42,43%
LOG Economic damage	X	X	X		X	X						20,81%
LOG Economic damage						X	X	X	X		X	82,90%
Insured losses	X	X	X	X		X						80,74%
Insured losses						X	X	X	X	X		24,39%
LOG Insured losses	X	X	X	X		X						21,87%
LOG Insured losses						X	X	X	X	X		77,04%

En total se probaron 104 modelos, de los cuales se seleccionaron 18. Para esto se emplearon unos criterios cualitativos, es decir, la elección se hizo observando el informe gráfico que brinda Minitab y comparándolo con los patrones de comportamiento que se esperan obtener para cada una de las gráficas. Esto representa la prueba no formal realizada a cada modelo. Seguidamente, a los modelos seleccionados se les realizaron pruebas estadísticas para validar los supuestos de regresión (prueba formal), los cuales son:

1. Normalidad de los errores (Prueba Anderson - Darling)
2. Independencia de los errores (Prueba Durbin – Watson)
3. Varianza de los errores constante (Prueba de Breusch Pagan)

Para cada una de las pruebas se plantearon las siguientes hipótesis:

1. Prueba Anderson – Darling

Ho: Normalidad de los errores
Ha: NO Normalidad de los errores

Criterio de rechazo: SI Valor $p < 0,05$ Rechazo Ho

2. Prueba Durbin - Watson

Ho: Independencia de los errores
Ha: NO Independencia de los errores

Múltiples Criterios: Se hace uso de tablas estadísticas, dependiendo de "k" (número de variables independientes o explicativas), para encontrar intervalo definido entre DL y DU

- a) SI: Estadístico DW(Durbin-Watson) $< DL$, Rechazo Ho
- b) SI: $DL < DW < DU$, La prueba no es concluyente
- c) SI: $DW > DU$, Acepto Ho

3. Prueba de Breusch Pagan

Ho: Homocedasticidad
Ha: Heterocedasticidad

Criterio de rechazo: SI Valor $p < 0,05$ Rechazo Ho

La tabla 15 contiene la información de los modelos seleccionados. Los datos de los primeros cinco modelos provienen de la base de datos EM DATA, los demás provienen de la NOAA.

Tabla 15. Modelos seleccionados cualitativamente. FUENTE: Autores

N°	Variable dependiente	Variables independientes																	R2 ajustado	Número de entradas													
		Focal depth	Magnitude	Latitude	Longitude	Injuries	Description of injuries	Deaths	Description of deaths	Economic damage	Description of economic damage	Houses destroyed	Description of houses destroyed	Houses damaged	Description of houses damaged	Insured losses	Associated disaster	LOG Focal depth			LOG Magnitude	LOG Injuries	LOG Deaths	LOG Economic damage	LOG Houses destroyed	LOG Houses damaged	LOG Insured losses						
1	LOG Affected		X					X		X																						38,23%	321
2	LOG Deaths		X			X				X						X	X															51,72%	38
3	LOG Deaths																X	X	X		X						X					75,05%	38
4	LOG Affected																X	X		X	X						X					54,09%	38
5	LOG Economic damage																X	X	X	X							X					82,90%	38
6	LOG Deaths	X	X			X				X		X		X																		76,59%	41
7	LOG Houses destroyed																	X	X	X	X	X				X						90,71%	41
8	LOG Deaths						X			X		X		X			X	X	X				X	X			X	X				67,67%	114
9	LOG Injuries							X		X		X		X			X	X		X		X	X		X	X						74,54%	114
10	LOG Houses destroyed	X	X			X	X	X		X			X	X																		69,22%	114
11	LOG Houses destroyed						X	X		X				X			X	X	X	X						X						85,60%	114
12	LOG Houses damage						X	X		X		X					X	X	X	X			X									83,33%	114
13	LOG Deaths	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X																	70,49%	41
14	LOG Deaths			X	X		X			X		X		X			X	X	X				X	X			X	X				76,88%	41
15	LOG Houses destroyed			X	X		X			X		X		X			X	X	X	X						X						93,87%	41
16	LOG Houses damaged			X	X		X			X		X					X	X	X	X			X									91,95%	41
17	LOG Houses destroyed			X	X		X			X				X			X	X	X	X						X						83,35%	114
18	LOG Houses damaged						X	X		X		X					X	X	X	X		X										82,78%	114

En la tabla 16 se presentan los resultados de las pruebas de hipótesis de validación de supuestos para los 18 modelos seleccionados (los valores p y estadísticos de prueba son entregados por Minitab).

Tabla 16. Resultados de la validación de supuestos de los modelos seleccionados. FUENTE: Autores

N°	PRUEBA DE NORMALIDAD		PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD		PRUEBA DE INDEPENDENCIA			
	Valor p	¿Cumple?	Valor p	¿Cumple?	Estadístico de prueba	dL	dU	¿Cumple?
1	0,01	NO	0,03599	NO	1,509	1,738	1,799	NO
2	0,377	SI	0,175	SI	1,437	1,204	1,792	La prueba no es concluyente
3	0,622	SI	0,5142	SI	1,574	1,204	1,792	La prueba no es concluyente
4	0,023	NO	0,6446	SI	1,648	1,204	1,792	La prueba no es concluyente
5	0,516	SI	0,5871	SI	1,52	1,204	1,792	La prueba no es concluyente
6	0,525	SI	0,8754	SI	1,871	1,175	1,854	SI
7	0,214	SI	0,8318	SI	2	1,175	1,854	SI
8	0,172	SI	0,2345	SI	2,088	1,068	1,862	SI
9	0,566	SI	0,03946	NO	2,123	1,068	1,862	SI
10	0,41	SI	0,2606	SI	1,931	1,068	1,862	SI
11	0,014	NO	0,8113	SI	1,508	1,068	1,862	La prueba no es concluyente
12	0,005	NO	0,01415	NO	1,468	1,068	1,862	La prueba no es concluyente
13	0,04	NO	0,1129	SI	2,398	0,84	2,309	SI
14	0,121	SI	0,1168	SI	2,436	0,84	2,309	SI
15	0,626	SI	0,9489	SI	1,988	0,84	2,309	La prueba no es concluyente
16	0,237	SI	0,7918	SI	2,111	0,84	2,309	La prueba no es concluyente
17	0,008	NO	0,7766	SI	1,499	1,654	1,885	NO
18	0,005	NO	0,01524	NO	1,459	1,654	1,885	NO

Cuando se trata de regresión lineal múltiple hay dos corrientes estadísticas que tienen diversas posturas sobre el cumplimiento de los supuestos de regresión para que el modelo sea válido o tenga la robustez suficiente. Están los que afirman que todos los supuestos deben de cumplirse para que el modelo sea válido y están los que aseguran que mientras se cumpla el supuesto de independencia de los errores, los demás supuestos pueden quedar relegados a un segundo plano.

En este trabajo se determinaron los mejores modelos, mediante el uso de unos rankings para cada una de las pruebas de validación de supuestos. Se tuvo en cuenta la contundencia con la que se acepta o se rechaza la hipótesis nula. Así que aquellos modelos que presentaron un mayor valor p, fueron los que tenían un mayor cumplimiento del supuesto. Esto para el caso de la Prueba de Normalidad y la de Breusch Pagan.

En las tablas 17 y 18 se presentan los rankings.

Tabla 17. Ranking de la prueba de normalidad. FUENTE: Autores

N°	PRUEBA DE NORMALIDAD	
	Valor p	¿Cumple?
15	0,6260	SI
3	0,6220	SI
9	0,5660	SI
6	0,5250	SI
5	0,5160	SI
10	0,4100	SI
2	0,3770	SI
16	0,2370	SI
7	0,2140	SI
8	0,1720	SI
14	0,1210	SI
13	0,0400	NO
4	0,0230	NO
11	0,0140	NO
1	0,0100	NO
17	0,0080	NO
12	0,0050	NO
18	0,0050	NO

Tabla 18. Ranking de la prueba de homocedasticidad. FUENTE: Autores

N°	PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD	
	Valor p	¿Cumple?
15	0,9489	SI
6	0,8754	SI
7	0,8318	SI
11	0,8113	SI
16	0,7918	SI
17	0,7766	SI
4	0,6446	SI
5	0,5871	SI
3	0,5142	SI
10	0,2606	SI
8	0,2345	SI
2	0,1750	SI
14	0,1168	SI
13	0,1129	SI
9	0,0395	NO
1	0,0360	NO
18	0,0152	NO
12	0,0142	NO

Para el desarrollo del tercer y último ranking, el criterio que se utilizó fue la diferencia entre el estadístico de prueba (DW) y DU; a mayor diferencia positiva, mayor es la contundencia de la validación del supuesto. En la tabla 19 se evidencia el ranking.

Tabla 19. Ranking de la prueba de independencia. FUENTE: Autores

PRUEBA DE INDEPENDENCIA				
N°	Estadístico de prueba	dU	¿Cumple?	Contundencia
9	2,1227	1,862	SI	0,2607
8	2,08797	1,862	SI	0,2260
7	2,00016	1,854	SI	0,1462
14	2,43551	2,309	SI	0,1265
13	2,39844	2,309	SI	0,0894
10	1,93098	1,862	SI	0,0690
6	1,87095	1,854	SI	0,0169
16	2,1112	2,309	La prueba no es concluyente	-0,1978
4	1,64846	1,854	La prueba no es concluyente	-0,2055
1	1,50865	1,799	NO	-0,2904
15	1,98828	2,309	La prueba no es concluyente	-0,3207
11	1,50789	1,862	La prueba no es concluyente	-0,3541
2	1,43729	1,792	La prueba no es concluyente	-0,3547
17	1,49891	1,885	NO	-0,3861
12	1,46814	1,862	La prueba no es concluyente	-0,3939
18	1,4592	1,885	NO	-0,4258
3	1,57354	2,309	La prueba no es concluyente	-0,7355
5	1,51963	2,309	La prueba no es concluyente	-0,7894

5.2.4 Conclusiones

Desde el punto de vista de la recolección de los datos, se pudo evidenciar que a pesar de los pocos estudios que se han realizado en esta área haciendo uso de modelos de regresión, los datos sí existen. Se encuentran disponibles a través de bases de datos de dominio público, como las utilizadas en esta investigación (NOAA y EM DATA). Además, la cantidad de entradas y el tiempo que abarcan es bastante amplio, por lo que se puede decir que son datos relevantes.

Por otro lado, una de las bases de datos utilizadas, específicamente la EM DATA, advierte que los datos que ellos proporcionan tienen limitaciones, como en la mayoría de las bases de datos existentes. Estas limitaciones podrían llegar a sesgar los resultados derivados de los modelos, razón por la que siempre es importante y se recomienda asumir un porcentaje de error cuando se utilicen los modelos. Además, si se contrasta esto con el estudio realizado por (Wells & Coppersmith, 1994), se observa que ellos tienen la misma limitación de información, por lo que el acceso a información más confiable siempre es recomendable.

Finalmente, se pudo evidenciar a partir de los rankings elaborados (utilizando como criterio las distintas pruebas realizadas) que aquellos que en principio tenían el R^2 más elevado, no fueron necesariamente los que ocuparon los primeros puestos. Así que en consecuencia con lo dicho por (Martínez Rodríguez et al., 2005), se debe evitar caer en errores a la hora de interpretar el coeficiente de determinación lineal. Ninguno de los modelos validados ocupó el primer lugar en los 3 rankings simultáneamente.

5.3 Objetivo 3: Aplicar los modelos a los contextos de las ciudades de Cali y Bucaramanga.

5.3.1 Metodología

De todos los modelos probados en el objetivo anterior, tan solo 5 pasaron las tres pruebas de validación de supuestos. Para poder emplear dichos modelos en la realización de los mapas, se agregaron variables tales como densidad poblacional de las ciudades que reportaron los damnificados y distancia entre la ciudad y el epicentro del terremoto. Cabe aclarar que algunas entradas tenían diversas ciudades asociadas con los afectados, por lo tanto, se eligió la ciudad con la que se iba a trabajar teniendo en cuenta la cercanía con el epicentro y la disponibilidad de la información de densidad poblacional. La metodología que se empleó para dicha elección fue, en primer lugar, buscar las densidades poblacionales de las ciudades, si la información de todas estaba disponible, seguidamente se medían las distancias empleando Google Earth y finalmente, se elegía la ciudad más cercana al epicentro. En el caso de que la información de densidad poblacional no estuviera disponible, se eliminaba la ciudad y se seguían manejando los criterios explicados anteriormente. No obstante, cuando alguna de las ciudades era la capital, se elegía automáticamente. Algunas entradas fueron eliminadas, debido a la falta de información de densidad poblacional de todas las ciudades reportadas.

Una vez se completó toda la información que se requería, se procedieron a realizar nuevamente las pruebas de validación de supuestos a los 5 modelos. Para esto, se probó el modelo con las variables añadidas transformándolas a logarítmicas y normales. Por lo tanto, de cada modelo se obtuvieron dos versiones, a excepción de un modelo, ya que en su versión original las variables no estaban transformadas. De esta manera, se tuvieron 9 modelos. En la tabla 20 se presentan los modelos con sus respectivas pruebas de validación de supuestos.

Tabla 20. Validación de los supuestos de los 18 modelos seleccionados con todas las variables. FUENTE: Autores

N°	Variable dependiente	Variables independientes																				PRUEBA DE NORMALIDAD		PRUEBA DE HOMOCE- DASTICIDA D		PRUEBA DE INDEPENDENCIA								
		Focal depth	Magnitude	Latitude	Longitude	Injuries	Description of injuries	Deaths	Economic damage	Description of economic damage	Houses destroyed	Description of houses destroyed	Houses damaged	Description of houses damaged	LOG Focal depth	LOG Magnitude	LOG Injuries	LOG Deaths	LOG Economic damage	LOG Houses destroyed	LOG Houses damaged	Population density	Distance	LOG Population density	LOG Distance	R2 ajustado	Valor p	¿Cumple?	Valor p	¿Cumple?	Estadístico de prueba	dL	dU	¿Cumple?
1	LOG Deaths			X	X									X	X	X		X	X	X	X	X				75,66%	0,207	SI	0,6452	SI	1,92824	0,952	2,149	N.C*
2	LOG Deaths			X	X									X	X	X		X	X	X			X	X		76,47%	0,205	SI	0,4223	SI	2,0222	0,952	2,149	N.C
3	LOG Houses destroyed			X	X									X	X	X	X	X		X	X	X				90,30%	0,42	SI	0,8339	SI	2,05084	0,952	2,149	N.C
4	LOG Houses destroyed			X	X									X	X	X	X	X		X		X				90,26%	0,422	SI	0,9287	SI	2,00931	0,952	2,149	N.C
5	LOG Deaths			X	X	X				X	X	X	X	X	X	X			X		X	X				66,99%	0,132	SI	0,4297	SI	1,80595	1,393	1,974	N.C
6	LOG Deaths			X	X	X				X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X				68,71%	0,465	SI	0,3506	SI	1,92593	1,393	1,974	N.C
7	LOG Houses destroyed	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								X	X				69,12%	0,623	SI	0,545	SI	2,00455	1,393	1,974	SI
8	LOG Deaths			X	X	X				X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X			75,03%	0,064	SI	0,0568	SI	2,23792	0,731	2,473	N.C
9	LOG Deaths			X	X	X				X	X	X	X	X	X	X			X	X	X			X	X	74,86%	0,133	SI	0,0964	SI	2,29145	0,731	2,473	N.C

* La prueba no es concluyente

De los modelos que predicen el número de muertos, solo uno pasó todas las pruebas. Por lo tanto, ese fue el que se empleó para la realización de uno de los mapas.

Por otra parte, los modelos que predicen la cantidad de casas destruidas resultaron no concluyentes en el supuesto de autocorrelación. Sin embargo, omitiendo este supuesto, todos los modelos cumplieron las otras dos pruebas, por lo tanto, se van a utilizar. Para elegir el mejor modelo, se jerarquizaron las pruebas, teniendo el primer lugar la prueba de homocedasticidad, seguida por la normalidad y finalmente, la correlación. Al aplicar dichos criterios, el modelo seleccionado fue el modelo número 1.

De esta manera, las ecuaciones de dichos modelos se presentan a continuación:

LOG Houses destroyed

$$\begin{aligned}
 &= 0,625 - 0,000005 \textit{ Latitude} + 0,000002 \textit{ Longitude} \\
 &- 0,00213 \textit{ Focal Depth} + 0,0761 \textit{ Magnitude} + 0,000002 \textit{ Deaths} \\
 &- 0,000002 \textit{ Injuries} + 0,000001 \textit{ Houses damaged} \\
 &- 0,000010 \textit{ Population density} + 0,000035 \textit{ Distance} \\
 &+ 0,0 \textit{ Description of deaths}_1 + 0,055 \textit{ Description of deaths}_2 \\
 &+ 0,107 \textit{ Description of deaths}_3 + 0,015 \textit{ Description of deaths}_4 \\
 &+ 0,0 \textit{ Description of injuries}_1 + 0,208 \textit{ Description of injuries}_2 \\
 &+ 0,098 \textit{ Description of injuries}_3 + 0,636 \textit{ Description of injuries}_4 \\
 &+ 0,0 \textit{ Description of economic damage}_1 \\
 &+ 0,058 \textit{ Description of economic damage}_2 \\
 &+ 0,337 \textit{ Description of economic damage}_3 \\
 &+ 0,838 \textit{ Description of economic damage}_4 \\
 &+ 0,0 \textit{ Description of houses damage}_1 \\
 &+ 0,710 \textit{ Description of houses damage}_2 \\
 &+ 0,827 \textit{ Description of houses damage}_3 \\
 &+ 1,840 \textit{ Description of houses damage}_4
 \end{aligned}$$

Ec. 1

$$\begin{aligned}
 \textit{LOG Deaths} &= -6,45 - 0,259 \textit{ LOG Focal Depth} + 7,57 \textit{ LOG Magnitude} \\
 &+ 1,068 \textit{ LOG Injuries} - 0,015 \textit{ LOG Economic damage} \\
 &- 0,260 \textit{ LOG Houses destroyed} + 0,125 \textit{ LOG Houses damaged} \\
 &+ 0,000007 \textit{ Latitude} + 0,00000 \textit{ Longitude} \\
 &- 0,000002 \textit{ Population density} - 0,00111 \textit{ Distance}
 \end{aligned}$$

Ec. 2

5.3.2 Resultados

En la realización de los mapas, se tuvo en cuenta la información proporcionada por el PLEC de Santiago de Cali, elaborado por el CLOPAD, bajo la dirección de la Alcaldía. Para esta sección, se trabajó principalmente con el simulacro de sismo propuesto por dicho documento. Este simulacro es una guía que pretende facilitar y orientar la actualización de todos los asistentes al ejercicio de simulación de escenarios de riesgos por sismo, en el marco del diseño del Plan Local de Emergencias y Contingencias para Santiago de Cali. La técnica utilizada para el ejercicio es la construcción de “escenario de riesgos”, dicha técnica permite prever en un territorio definido el impacto de eventos de origen natural, socio – natural o antrópicos asociados a la ocurrencia de fenómenos potencialmente peligrosos, en interacción con los elementos expuestos, como apoyo a una visión desde la reducción de riesgos. El conocimiento previo sobre los impactos que estos eventos pueden generar permite planificar de manera anticipada la respuesta y la recuperación del municipio de Santiago de Cali, como un sistema, que tiene el fin primordial de salvar vidas, socorrer personas y proteger los bienes e infraestructuras vitales de sus asociados.

El simulacro propuesto por el PLEC se presenta a continuación.

“Esta madrugada del 10 de diciembre del 2009 a las 2 a.m., ha ocurrido un sismo en el suroccidente colombiano, con epicentro al Oriente de Cali. Se trata de un sismo de magnitud 6,9 en la escala de Richter, cuyo epicentro se encuentra localizado en la cordillera Central, sobre el sistema de Fallas de Romeral, a una distancia de 40 km al oriente de Santiago de Cali, y cuya profundidad fue de 30 km, según reportes oficiales de la red sísmica nacional de INGEOMINAS.

Escenario de afectación

Las áreas más afectadas de la ciudad se localizan al oriente de Santiago de Cali y al occidente; se trata al oriente de las comunas 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 21. Al occidente se han afectado las comunas de la ladera 1 y 20, la comuna 18 sufrió daños menores. Más del 80% de las escuelas de estas comunas colapsaron, por lo tanto no se cuentan con ellas para atención médica ni albergue”

En la tabla 21 se presentan las pérdidas hipotéticas ocasionadas por un sismo de magnitud 6,9 en Santiago de Cali.

Tabla 21. Pérdidas por un sismo de magnitud de 6,9 en Cali. Fuente: PLEC

Comuna	Heridos	Muertos	Damnificados	Total afectados
1	8.000	100	10.000	18.100
9	2.000	150	5.000	7.150
11	6.000	1.300	8.000	15.300
12	1.000	500	7.000	8.500
13	500	1.000	9.000	10.500
14	2.500	200	10.000	12.700

15	16.000	2.000	5.000	23.000
16	300	1.500	4.000	5.800
20	4.000	8.000	13.000	25.000
21	12.000	1.200	20.000	33.200
Resto de la ciudad	20.000	50	20.700	40.750
Total	72.300	16.000	111.700	200.000

Además, se reportan pérdidas totales por un billón de pesos.

Para la realización de los mapas, se requirieron el número de las casas destruidas, las casas dañadas y las pérdidas económicas de cada una de las comunas. Dado que estos datos no están disponibles en el simulacro contenido en el PLEC, se hicieron unas ponderaciones basadas en el supuesto de que los datos de damnificados que proporciona el simulacro hacen referencia a la sumatoria de casas dañadas y destruidas; así como que los daños económicos son consecuencia de la cantidad de damnificados. De esta manera, para el modelo que predice la cantidad de casas destruidas, se realizó una ponderación del número de casas dañadas con los datos proporcionados por la base de datos empleada para su realización y con estos, se calculó un promedio histórico. Por otra parte, los daños económicos se calcularon empleando el número de casas dañadas, obtenido anteriormente, y asumiendo como iguales los costos de las casas dañadas y las casas destruidas, es decir, dividiendo el billón de pesos entre el total de damnificados. De igual forma se procedió con el modelo que predice el número de muertos, empleando los datos correspondientes.

Cabe aclarar que los datos de las comunas que fueron incluidas por el simulacro del PLEC dentro de la categoría 'Resto de la ciudad' resultaron de dividir en partes iguales los datos presentados en esta categoría. Excluyendo la comuna 3, que se le asignaron más datos debido a la inexactitud de la división y teniendo en cuenta que en dicha comuna se encuentra el centro histórico de la ciudad, por lo tanto su infraestructura es más antigua.

Otros datos requeridos para la realización de los mapas fueron la densidad poblacional y la distancia entre el epicentro del terremoto y el centro geográfico de cada una de las comunas. La densidad poblacional fue rescatada del informe Cali en Cifras 2016 realizado por la Alcaldía de Santiago de Cali. Las coordenadas geográficas (latitud y longitud) del centro de cada una de las comunas fueron obtenidas mediante la Red de Control Geodésico de Santiago de Cali. Para calcular la distancia se empleó Google Earth.

Las tablas 22 y 23 contienen toda la información que se empleó para realizar los mapas.

Tabla 22. Datos de comunas de Cali empleados en el modelo de predicción del número de casas destruidas. FUENTE: Autores

Comuna	Heridos	Descripción de heridos	Muertos	Descripción de muertos	Casas dañadas	Descripción de casas dañadas	Descripción de daños económicos	Densidad poblacional (hab/km ²)	Distancia hasta el epicentro (km)
1	8.000	4	100	2	6.074	4	3	25.345,09	46,9
2	1.666	4	4	1	1.047	4	2	10.658,23	42,43
3	1.674	4	6	1	1.057	4	2	12.622,34	43,44
4	1.666	4	4	1	1.047	4	2	11.587,45	41,04
5	1.666	4	4	1	1.047	4	2	27.358,81	39,5
6	1.666	4	4	1	1.047	4	2	38.888,15	38,84
7	1.666	4	4	1	1.047	4	2	13.993,42	38,48
8	1.666	4	4	1	1.047	4	2	19.563,13	40,29
9	2.000	4	150	3	3.037	4	3	15.165,16	42,25
10	1.666	4	4	1	1.047	4	2	26.104,48	42,68
11	6.000	4	1.300	4	4.860	4	3	29.502,10	41,22
12	1.000	3	500	3	4.252	4	3	28.497,06	39,73
13	500	3	1.000	3	5.467	4	3	37.766,33	38,66
14	2.500	4	200	3	6.074	4	3	39.146,69	37,09
15	16.000	4	2.000	4	3.037	4	3	41.505,18	39,63
16	300	3	1.500	4	2.430	4	3	25.771,58	41,41
17	1.666	4	4	1	1.047	4	2	11.904,73	43,28
18	1.666	4	4	1	1.047	4	2	26.315,39	45,69
19	1.666	4	4	1	1.047	4	2	10.187,74	44,57
20	4.000	4	8.000	4	7.897	4	3	28.848,14	46,28
21	12.000	4	1.200	4	12.149	4	4	24.431,10	35,65
22	1.666	4	4	1	1.047	4	2	1.137,39	44,26

Tabla 23. Datos de comunas de Cali empleados en el modelo de predicción del número de muertos. FUENTE: Autores

Comuna	Heridos	Casas destruidas	Casas dañadas	Daños económicos	Densidad (hab/km ²)	Distancia hasta el epicentro (km)
1	8.000	4.143	5.857	\$ 89.525.514.772	25.345,09	46,9
2	1.666	714	1.010	\$ 15.434.198.747	10.658,23	42,43
3	1.674	722	1.014	\$ 15.541.629.364	12.622,34	43,44
4	1.666	714	1.010	\$ 15.434.198.747	11.587,45	41,04
5	1.666	714	1.010	\$ 15.434.198.747	27.358,81	39,5
6	1.666	714	1.010	\$ 15.434.198.747	38.888,15	38,84
7	1.666	714	1.010	\$ 15.434.198.747	13.993,42	38,48

8	1.666	714	1.010	\$ 15.434.198.747	19.563,13	40,29
9	2.000	2.072	2.928	\$ 44.762.757.386	15.165,16	42,25
10	1.666	714	1.010	\$ 15.434.198.747	26.104,48	42,68
11	6.000	3.315	4.685	\$ 71.620.411.817	29.502,10	41,22
12	1.000	2.900	4.100	\$ 62.667.860.340	28.497,06	39,73
13	500	3.729	5.271	\$ 80.572.963.295	37.766,33	38,66
14	2.500	4.143	5.857	\$ 89.525.514.772	39.146,69	37,09
15	16.000	2.072	2.928	\$ 44.762.757.386	41.505,18	39,63
16	300	1.657	2.343	\$ 35.810.205.909	25.771,58	41,41
17	1.666	714	1.010	\$ 15.434.198.747	11.904,73	43,28
18	1.666	714	1.010	\$ 15.434.198.747	26.315,39	45,69
19	1.666	714	1.010	\$ 15.434.198.747	10.187,74	44,57
20	4.000	5.386	7.614	\$ 116.383.169.203	28.848,14	46,28
21	12.000	8.286	11.714	\$ 179.051.029.543	24.431,10	35,65
22	1.666	714	1.010	\$ 15.434.198.747	1.137,39	44,26

Una vez se obtuvo toda la información requerida para aplicar los modelos, se pudieron elaborar los mapas, teniendo como resultado los mapas de Cali mostrados en la figura 11 y 12. Los resultados cuantitativos se pueden ser en el anexo 1.

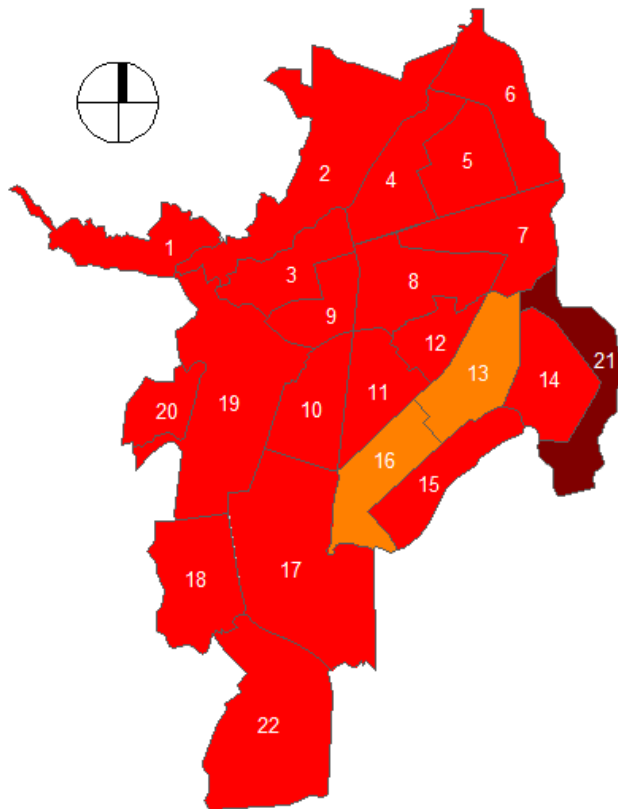


Figura 11. Mapa de Cali ilustrando la cantidad de casas destruidas por sismo de magnitud 6,9 en escenario 1. FUENTE: Autores

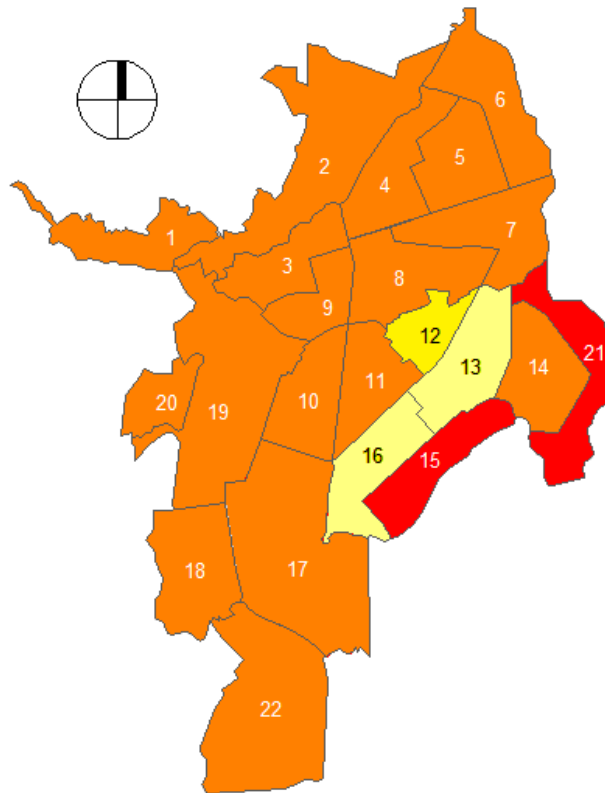


Figura 12. Mapa de Cali ilustrando el número de muertos ocasionados por un terremoto de magnitud 6,9 en escenario 1. FUENTE: Autores

Los criterios empleados para la categorización del número de casas destruidas y la cantidad de muertos es la misma que propone la base datos NOAA. La tabla 24 muestra la escala empleada.

Tabla 24. Escala empleada en los mapas de ilustración del número muertos y de casas destruidas. FUENTE: Base de datos NOAA

0	Ninguna
1	Pocos (~1 a 50 muertos) (~1 a 50 casas)
2	Algunos (~51 a 100 muertos) (~51 a 100 casas)
3	Muchos (~101 a 1000 muertos) (~101 a 1000 casas)
4	Muchísimos (~1001 a más muertos) (~1001 a más casas)

En el mapa que ilustra la cantidad de casas destruidas, se indicó la comuna 21 con un color más oscuro que no está incluido en la escala empleada. Esto se hizo para indicar que el resultado obtenido para dicha comuna es alarmante.

Adicionalmente, se hizo una prueba de sensibilidad para los resultados de los modelos. Esto debido a que el simulacro proporcionado por el PLEC de Cali, no

brinda las coordenadas geográficas exactas del epicentro. Por lo tanto, en primera instancia se asumió que el epicentro se ubicaba a 40 km del oriente rectilíneamente (se denominó escenario 1) y los resultados de este escenario son los presentados anteriormente. Los otros dos escenarios que se evaluaron se obtuvieron ubicando el epicentro hacia la diagonal inferior (escenario 2) y hacia la diagonal superior (escenario 3). En el anexo 2, se muestran las distancias calculadas y los resultados obtenidos.

El mapa de la cantidad de casas destruidas, tanto para el escenario 2 como para el 3, no tuvo variaciones cualitativamente. Es decir, los resultados obtenidos no variaron sustancialmente y por tal razón, se asignaron las mismas categorías obtenidas en el escenario 1 a cada una de las comunas. Cabe aclarar que los resultados de los escenarios 2 y 3 son menores que los del 1.

Mientras que el mapa del número de muertos del escenario 1 sí presentó variaciones al evaluar los escenarios 2 y 3. La comuna 21 que estaba catalogada en la escala con un 4, pasó a ser 3. Es decir, la cantidad de muertos disminuyeron considerablemente. El mapa obtenido con los escenarios 2 y 3 se evidencia en la figura 13.

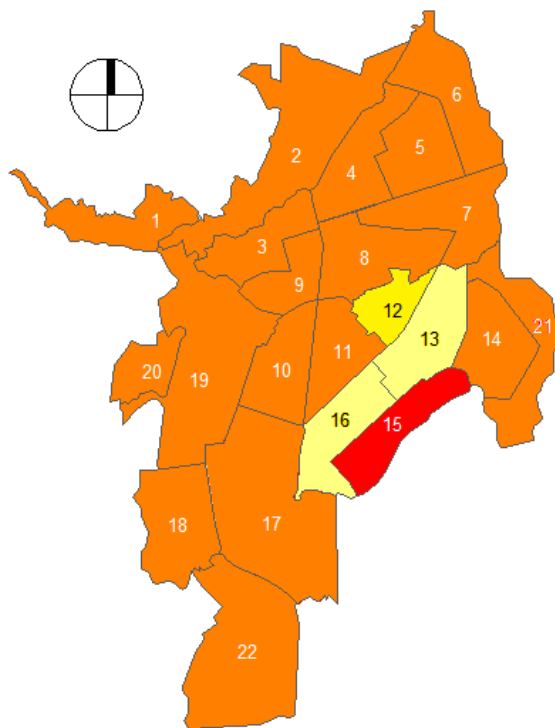


Figura 13. Mapa de Cali ilustrando el número de muertos ocasionados por un terremoto de magnitud 6,9 en escenarios 2 y 3. FUENTE: Autores

La estimación de los daños económicos se hizo a partir de los resultados obtenidos mediante el modelo de casas destruidas. Para ello, se empleó el avalúo

catastral de cada zona de la ciudad de Cali, obtenido por el censo mobiliario 2012 – 2013, el cual fue realizado por la Subdirección de Catastro Municipal. Se empleó un promedio de las casas destruidas de los 3 escenarios evaluados. En la tabla 25, se muestra la información proporcionada por el censo mobiliario.

Tabla 25. Avalúo catastral de Cali. FUENTE: Censo mobiliario 2012 – 2013. Subdirección de Catastro Municipal.

Zona	Comunas	Predios	Avalúo Catastral (Billones)	Avalúo catastral promedio por casa
Norte	4, 5	121.238	\$ 9,60	\$ 79.183.094
Centro	9	32.493	\$ 3,90	\$ 120.025.852
Oriente	7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 21	211.415	\$ 9,70	\$ 45.881.323
Oeste	1, 2, 3, 6, 18, 19, 20	117.900	\$ 7,30	\$ 61.916.879
Sur	10, 17, 22	154.369	\$ 16,00	\$ 103.647.753

Las pérdidas económicas generadas por un sismo de magnitud 6,9 en Cali, se aproximan a los 3 billones de pesos. La información de los daños económicos en cada comuna, se encuentran resumidos en la tabla 26.

Tabla 26. Daños económicos generados por un sismo de magnitud 6,9 en cada una de las comunas de Cali. FUENTE: Autores

Comuna	Casas destruidas	Pérdidas económicas
1	2.671	\$ 165.379.983.036
2	1.766	\$ 109.324.568.844
3	1.687	\$ 104.474.413.345
4	1.728	\$ 136.828.387.139
5	1.202	\$ 95.151.685.115
6	922	\$ 57.066.723.212
7	1.635	\$ 75.000.670.088
8	1.438	\$ 65.977.343.140
9	3.885	\$ 466.300.433.940
10	1.237	\$ 128.246.819.849
11	2.239	\$ 102.743.577.009
12	836	\$ 38.356.786.415
13	680	\$ 31.214.593.730
14	2.247	\$ 103.080.040.048
15	1.620	\$ 74.343.037.785
16	723	\$ 33.172.196.864
17	1.716	\$ 177.824.995.088
18	1.232	\$ 76.260.955.612
19	1.785	\$ 110.542.267.458
20	2.384	\$ 147.609.838.846
21	7.883	\$ 361.667.179.087
22	2.199	\$ 227.886.859.840
TOTAL		\$ 2.888.453.355.490

El PLEC de la ciudad de Bucaramanga no se encontró, por lo tanto, la información necesaria para la realización de los mapas se obtuvo mediante el Plan de Ordenamiento Territorial de la Ciudad. De este se emplearon los datos de densidad poblacional y número de viviendas por comuna. Para calcular las pérdidas provocadas por un sismo en la ciudad, se empleó un promedio histórico obtenido por las bases de datos, donde se asumió que los damnificados (muertos y heridos) correspondían al 50% del total de la población. El mismo porcentaje se consideró para la cantidad de casas afectadas (dañadas y destruidas). Para calcular los daños económicos se empleó el avalúo catastral de Bucaramanga, que según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi es de \$18,4 billones de pesos en 181.841 predios.

La realización de los mapas de estimación de impactos sociales para un terremoto en Bucaramanga es un ejercicio netamente ejemplificativo. Debido a que casi toda la información está basada en supuestos y por tal razón, no representa adecuadamente la realidad de la ciudad.

Se asumió que el terremoto tuvo como epicentro la Mesa de los Santos (el segundo nido sísmico del mundo) con una magnitud de 6,6 en la escala de Richter y cuya profundidad fue de 70 km.

La información que se empleó para realizar los mapas se encuentra en las tablas 27 y 28.

Tabla 27. Datos de comunas de Bucaramanga empleados en el modelo de predicción del número de casas destruidas. FUENTE: Autores

Comuna	Nombre	Heridos	Descripción de heridos	Muertos	Descripción de muertos	Casas dañadas	Descripción de casas dañadas	Descripción de daños económicos	Densidad poblacional (<i>hab/km²</i>)	Distancia hasta el epicentro (km)
1	Norte	16.448	4	10.524	4	3.471	4	4	12.300	43,96
2	Nororiental	10.699	4	6.845	4	2.258	4	4	25.900	43,19
3	San Francisco	13.565	4	8.679	4	2.863	4	4	16.400	42,74
4	Occidental	11.358	4	7.267	4	2.397	4	4	2.700	41,66
5	García Rovira	13.206	4	8.449	4	2.787	4	4	7.600	39,38
6	La Concordia	8.510	4	5.445	4	1.796	4	4	13.500	38,18
7	La Ciudadela	8.248	4	5.278	4	1.741	4	4	28.400	38,88
8	Suroccidente	5.627	4	3.600	4	1.188	4	4	21.400	37,98
9	La Pedregosa	5.066	4	3.242	4	1.069	4	4	19.100	38,35
10	Provenza	10.003	4	6.400	4	2.111	4	4	11.200	36,52
11	Suroccidente	8.690	4	5.560	4	1.834	4	4	9.700	36,01
12	Cabecera	10.184	4	6.516	4	2.149	4	4	12.100	39,71
13	Oriental	14.490	4	9.271	4	3.058	4	4	16.000	41,92
14	Morrórico	5.812	4	3.718	4	1.227	4	4	21.600	42,14

15	Centro	2.558	4	1.637	4	540	3	4	8.100	40,36
16	Tejar	4.521	4	2.892	4	954	3	4	7.700	39,09
17	Mutis	8.865	4	5.672	4	1.871	4	4	8.100	37,85

Tabla 28. Datos de comunas de Bucaramanga empleados en el modelo de predicción del número de muertos. FUENTE: Autores

Comuna	Heridos	Casas destruidas	Casas dañadas	Daños económicos	Densidad (hab/km ²)	Distancia (km)
1	16.448	3.273	3.471	\$ 351.221.121.749	12.300	43,96
2	10.699	2.129	2.258	\$ 228.480.925.644	25.900	43,19
3	13.565	2.699	2.863	\$ 289.699.242.745	16.400	42,74
4	11.358	2.260	2.397	\$ 242.545.960.482	2.700	41,66
5	13.206	2.628	2.787	\$ 282.009.007.870	7.600	39,38
6	8.510	1.694	1.796	\$ 181.732.392.585	13.500	38,18
7	8.248	1.642	1.741	\$ 176.167.091.030	28.400	38,88
8	5.627	1.120	1.188	\$ 120.210.513.581	21.400	37,98
9	5.066	1.009	1.069	\$ 108.169.224.762	19.100	38,35
10	10.003	1.991	2.111	\$ 213.606.392.398	11.200	36,52
11	8.690	1.729	1.834	\$ 185.577.510.022	9.700	36,01
12	10.184	2.027	2.149	\$ 217.451.509.836	12.100	39,71
13	14.490	2.884	3.058	\$ 309.430.766.439	16.000	41,92
14	5.812	1.157	1.227	\$ 124.156.818.319	21.600	42,14
15	2.558	509	540	\$ 54.641.142.537	8.100	40,36
16	4.521	900	954	\$ 96.532.685.148	7.700	39,09
17	8.865	1.764	1.871	\$ 189.321.440.159	8.100	37,85

De esta manera, los resultados obtenidos se presentan en las figuras 14 y 15.

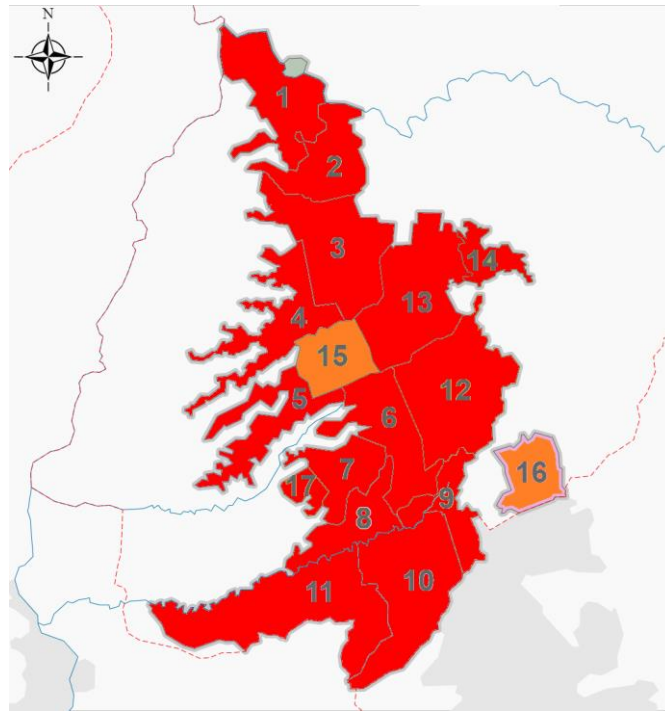


Figura 14. Mapa de Bucaramanga ilustrando el número de casas destruidas por un sismo de magnitud 6,6. FUENTE: Autores

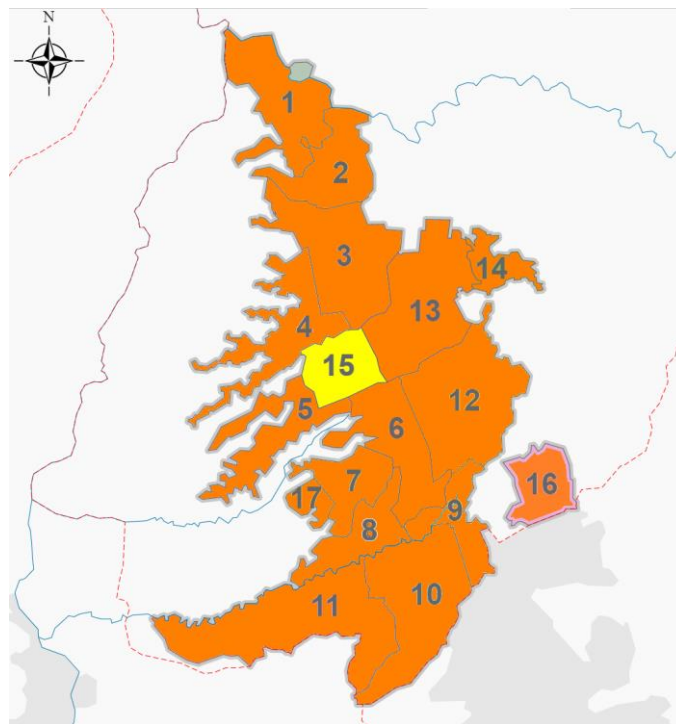


Figura 15. Mapa de Bucaramanga ilustrando la cantidad de muertos ocasionados por un sismo de magnitud 6,6. FUENTE: Autores

5.3.3 Conclusiones

En el caso de que ocurra un terremoto de magnitud 6,9 en la escala de Richter en Santiago de Cali, la comuna más afectada sería la comuna 21. Esta comuna está compuesta por 13 barrios con estratos socioeconómicos entre 0 y 2. Las comunas menos afectadas serían la comuna 13 y 16.

Igualmente, se puede observar que el panorama en general de la ciudad es alarmante en cuanto a la cantidad de casas destruidas. Se ve afectada casi toda la ciudad, teniendo en cada comuna más de más de 1.000 casas destruidas, a excepción de la comuna 13 y 16. La comuna 21 presenta una cantidad exorbitante de casas destruidas, teniendo un total de 9.847, lo que representa un 31% de la totalidad de las viviendas situadas en esta comuna.

El panorama en cuanto a la cantidad de muertos también es alarmante. La mayoría de las comunas presenta más de 100 muertos, a excepción de las comunas 12, 13 y 16. La mayor cantidad de muertos se presenta en la comuna 15 y 21.

5.4 Objetivo 4: Evaluar la pertinencia de los planes de contingencia de las principales organizaciones relacionadas con la atención y prevención de desastres.

5.4.1 Metodología

Para el desarrollo del último objetivo se comenzó con la búsqueda de los documentos o planes de gestión contra el riesgo, pertinentes de la ciudad Cali y Bucaramanga en sus respectivas Oficinas de Atención y Prevención de Desastres.

El documento con el que se desarrolló el presente objetivo es el PLEC (Plan Local de Emergencias y Contingencias), debido a que es el documento que el Comité Local de Prevención y Atención de Desastres (CLOPAD) de cada ciudad del territorio colombiano debe desarrollar e involucra a todas las entidades municipales disponibles (Policía Nacional, Secretaria de Tránsito, Red de Urgencias, Cruz Roja, EMCALI, DAGMA, Bomberos, etc.).

Luego se procedió con la selección de los criterios para calificar la pertinencia del PLEC de la ciudad de Cali. Para esto se investigaron los criterios que normalmente son utilizados para evaluar este tipo de planes de contingencia y se encontró una hoja de criterios de evaluación de planes de contingencia perteneciente a SURATEP (Administradora de Riesgos Profesionales), que hace parte de la casa matriz Suramericana S.A. Esta es reconocida como la aseguradora de riesgos más importante a nivel Latinoamérica con presencia en países como México, Chile, Argentina, Brasil, Uruguay y Colombia.

Con base en los criterios entregados por esta hoja de evaluación, se le otorgó al PLEC evaluado una puntuación para cada uno de los ítems listados por SURATEP, para establecer así una puntuación global y determinar qué tan pertinente es el PLEC que fue desarrollado por la CLOPAD de cada ciudad.

Adicionalmente, se compararon los recursos para la atención de desastres propuestos en el PLEC con los resultados de su propia simulación y los resultados de los modelos desarrollados en el presente trabajo.

5.4.2 Limitaciones

Inicialmente, el objetivo se había planteado para evaluar los planes de contingencia de las ciudades de Cali y Bucaramanga, sin embargo, no fue posible ubicar el PLEC de Bucaramanga, pese a los esfuerzos que se realizaron para conseguirlo. Por tal motivo, este objetivo solo se desarrolló para la ciudad de Cali, dado que, sin el PLEC de Bucaramanga, no se puede hacer una evaluación de pertinencia.

5.4.3 Resultados

De acuerdo con la UMAIC (Unidad de Manejo y Análisis de información Colombia, n.d.), el PLEC es un plan en el cual se definen las “Políticas, organización y los métodos que indican la manera de enfrentar una emergencia o desastre tanto en lo general como en lo particular”.

En esencia el PLEC cuenta con dos componentes:

- Plan de emergencia: “Políticas, organización y métodos para enfrentar una situación de emergencia bajo el marco del Sistema Nacional para la prevención y atención de desastres” (UMAIC, n.d.)
- Plan de contingencia: “Operativos para la pronta y eficaz respuesta en caso de presentarse un evento generado por una amenaza específica, determinada por los análisis de riesgos previamente realizados” (UMAIC, n.d.)

Por otro lado, el termino pertinencia se refiere a la congruencia, orientación, vinculación, inherencia de algo (Parra, Vergel, & Sánchez, 2013). Trayendo lo anterior al contexto actual, en el presente objetivo se evaluó la congruencia, orientación, vinculación e inherencia del PLEC de la ciudad de Cali, con base a los criterios encontrados en la hoja de evaluación de SURATEP.

La hoja de criterios de evaluación de modelos de plan de emergencias de SURATEP se encuentra dividida en 4 diferentes fases:

1. Sensibilización y diagnóstico.
2. Diseño y documentación del plan de emergencias.

3. Planeación de simulacros y ejecución de programas preventivos.
4. Evaluación.

Cabe resaltar que la hoja de evaluación está desarrollada de forma generalizada, por tanto, cuando en los distintos criterios se hable de empresa, se referirá al CLOPAD (Comité Local de Prevención y Atención de Desastres) de la ciudad de Cali, que fueron los encargados del desarrollo del PLEC de la ciudad. Los criterios son expuestos en las tablas 29, 30, 31 y 32.

Tabla 29. Criterios de la fase 1 de la evaluación de planes de emergencia. FUENTE: SURATEP

FASE 1: SENSIBILIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO					
FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO	Menos del 30%	Del 31 al 50%	Del 51 al 70%	Del 71 al 90%	Mejoramiento continuo
1. Presentación del Modelo y sensibilización	Se ha logrado concertar la fecha para su presentación	Se le explicó al contacto en la empresa de manera informal el contenido del modelo	Se realizó una presentación formal de algunos componentes del modelo	El modelo se presentó de manera integral con todos los componentes y filosofía y se logró sensibilizar a los asistentes en el tema	La presentación del modelo motivo a los asistentes a concertar otra cita para profundizar en los temas
2. Elaboración del prediagnóstico	No se ha realizado prediagnóstico	Se realizó prediagnóstico en algunas áreas de la empresa	Se realizó prediagnóstico en todas las áreas de la empresa	El prediagnóstico es considerado fundamental para iniciar el proceso de implementación del modelo	
3. Conformación del comité de emergencias	No hay comité de emergencias	Existe seleccionados los integrantes del comité de emergencias pero no se ha establecido formalmente	El comité de emergencias se conformó pero no ha sido presentado en la empresa y no se reúnen	El comité de emergencias tiene plan de trabajo y reuniones planeadas y programadas	Los directivos y trabajadores de la empresa reconocen y saben quiénes son y que hacen el comité y hacen aportes al funcionamiento de este
4. Análisis de amenazas	No se conoce con claridad cuáles son las amenazas de la empresa	Se conoce qué factores amenazan a la empresa pero no se conoce la fuente de la amenaza	El comité de emergencias y los grupos de apoyo realizan la identificación y determinación de las amenazas de la empresa y se registran en el formato de inspección	Las directivas, trabajadores y empleados conocen la priorización de las amenazas y hacen recomendaciones para minimizar el riesgo	Los trabajadores y directivos de la empresa participan y hacen observaciones para el control de los riesgos en la empresa y cada vez que se presente una amenaza nueva la reportar
5. Determinación de la vulnerabilidad	No se entiende con claridad el concepto de vulnerabilidad	Si tienen priorizados y valorados los riesgos pero sin ninguna metodología	Se aplica el método de determinación de la vulnerabilidad y se prioriza de acuerdo a la metodología del modelo	Las directivas, trabajadores y empleados conocen la priorización de las amenazas y hacen recomendaciones para minimizar el riesgo	Periódicamente verifican y validan la vulnerabilidad de la amenaza y hacen seguimiento al control de la amenaza evaluada

Tabla 30. Criterios de la fase 2 de la evaluación de planes de emergencia. FUENTE: SURATEP

FASE 2: DISEÑO Y DOCUMENTACIÓN DEL PLAN DE EMERGENCIAS					
FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO	Menos del 30%	Del 31 al 50%	Del 51 al 70%	Del 71 al 90%	Mejoramiento continuo
1. Diseño del plan de emergencias y elaboración del documento	No se tiene plan de emergencias	Existe plan de emergencias parcial o para una amenaza o área.	Existe un plan de emergencias para toda la empresa documentado pero no estaba actualizado	El plan de emergencias fue elaborado por el comité y grupos de apoyo con los resultados y análisis de la fase 1	Existe un plan de emergencia documentado, conocido por los comités de emergencia, brigadas y personal de la empresa y se actualiza periódicamente de acuerdo a la variación de las amenazas
2. Conformación de brigadas y grupos de apoyo	No hay grupos de apoyo conformados formalmente	Se tiene grupo de apoyo (bomberos – salud) pero no están definidas las responsabilidades	Existen grupos de apoyo conformados pero no tienen un plan de trabajo establecido y se reúnen esporádicamente	Los grupos de apoyo están conformados y cumplen con el perfil de selección del personal, además tiene plan de trabajo y capacitación específico	Los grupos de apoyo están conformados por diferentes niveles de la organización y periódicamente se califica el perfil para permanecer en cada grupo
3. Programas de capacitación y entrenamiento o a grupos de apoyo	No hay programa de capacitación ni de entrenamiento para las brigadas y grupos de apoyo	El plan de entrenamiento no contempla los temas de carácter técnico que ayuden a controlar las amenazas de la empresa	El programa de capacitación de la empresa contempla como mínimo los siguientes temas: Identificación de riesgos Primeros auxilios Técnicas bomberiles Técnicas de salvamento y rescate	El programa está estructurado de acuerdo al análisis de amenazas y contempla prácticas de campo que son apoyadas por la empresa	Existe un programa que se actualiza periódicamente en el que participan expertos en los diferentes temas
4. Elaboración y documentación del plan de evacuación	No hay plan de contingencias ni evacuación	Existe el plan de evaluación escrito pero no divulgado	Existe la señalización de las rutas de evacuación pero el personal no la relaciona con el plan	Todas las personas de la empresa y personal visitante conocen el plan de evacuación y es apoyado por la señalización de la planta	El plan de evacuación se actualiza y se ajusta de acuerdo a los cambios de la empresa y el resultado de los simulacros

Tabla 31. Criterios de la fase 3 de la evaluación de planes de emergencia. FUENTE: SURATEP

FASE 3: PLANEACIÓN DE SIMULACROS Y EJECUCIÓN DE PROGRAMAS PREVENTIVOS					
FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO	Menos del 30%	Del 31 al 50%	Del 51 al 70%	Del 71 al 90%	Mejoramiento continuo
1. Plan de reducción y/o control del riesgo	No se tiene un programa de control y/o reducción del riesgo	Los cambios y control de los riesgos que realiza la empresa no obedecen a la priorización de las amenazas; se realiza por acción correctiva	Se verifican periódicamente los sistemas de seguridad y se modifican o corrigen de acuerdo a la inspección realizada	Se tiene un plan de reducción del riesgo de acuerdo a las características del proceso y de cada área y obedece al análisis de amenazas realizado por el comité	Existe presupuesto asignado para realizar las acciones preventivas que minimizan el riesgo
2. Planeación y ejecución de simulacros	No se realizan simulacros	Han realizado simulacros parciales para una amenaza	Se realizan simulacros de toda la empresa de manera esporádica y no programada	Se tiene un programa establecido para realizar simulacros	Existe un plan de simulacros en los que se involucran entidades de apoyo externas
3. Plan de auditorías	No hay plan de auditorías pero se realizan revisiones esporádicas no programadas al plan de emergencias	Existe un plan de auditorías que lo realiza el comité con apoyo de los diferentes grupos y se realizan las mejoras al plan	Existen un plan de auditorías que lo realiza el comité con apoyo de diferentes grupos y se realizan las mejoras al plan	Las auditorías al plan de emergencias están contempladas dentro del programa de calidad de las empresas y los resultados se analizan en la alta gerencia	Se contemplan auditorías con expertos en el tema para verificar el estado y grado de avance del modelo en la empresa

Tabla 32. Criterios de la fase 4 de la evaluación de planes de emergencia. FUENTE: SURATEP

FASE 4: EVALUACIÓN					
FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO	Menos del 30%	Del 31 al 50%	Del 51 al 70%	Del 71 al 90%	Mejoramiento continuo
1. Evaluación de simulacros	No hay evaluación de simulacros	La evaluación la realiza el comité con el equipo de salud ocupacional de la empresa	Se evalúan las diferentes etapas del simulacro y en los sitios de control	En la evaluación participa personal directivo de la empresa y se establecen los programas de mejoramiento y control	La evaluación la realizan con el apoyo de personal externo y entidades que participan en el simulacro
2. Revisión y actualización del modelo de plan de emergencias	No se tiene establecido un periodo de tiempo para revisar y mejorar el plan de emergencias de la empresa	Se modifica el plan de emergencias pero los cambios no son conocidos por los diferentes niveles de la organización	Se tiene establecido un periodo de tiempo para revisión y actualización del plan de emergencias	Se tienen en cuenta las recomendaciones de los trabajadores y grupos de apoyo para realizar las modificaciones, se realiza de manera concertada	Con los resultados de los simulacros y de las auditorías, el plan es actualizado y divulgado a todos los trabajadores de la empresa

Dentro de las 4 fases listadas anteriormente, se consideraron un total de 14 criterios o factores críticos de éxito establecidos por SURATEP para evaluar la pertinencia de este tipo de planes de contingencia.

Para efectos del cálculo de la puntuación global del PLEC de Cali, se asumió que cada uno de los factores críticos de éxito tiene el mismo peso dentro de la ponderación total (7,1429%), a los cuales se adjudicó una puntuación de 1 a 5. Dicha puntuación se asignó en representación de las columnas de izquierda a derecha respectivamente, con base a la medida con la cual el PLEC cumpla cada criterio.

Con todas las bases para evaluar la pertinencia planteada, se continuó con la calificación de cada uno de los factores críticos de éxito y se obtuvo lo siguiente:

FASE 1: Sensibilización y diagnóstico.

1. Presentación del modelo y sensibilización.

El Comité Local de Atención y Prevención de Desastres realizó la respectiva presentación del PLEC de la ciudad de Cali, en el auditorio de la Cámara de Comercio en el año 2011 (El País, n.d.). En dicha presentación, se explicó en detalle cada uno de los 4 módulos y múltiples componentes del mismo. Sin embargo, no hay evidencia documentada de que se hayan concertado reuniones posteriores a la presentación del PLEC, entre las partes interesadas e involucradas (Policía nacional, secretaria de tránsito, Red de urgencias, Cruz roja, EMCALI, DAGMA, Bomberos, etc.).

Puntuación: 4

2. Elaboración del prediagnóstico.

En el componente 2 del módulo 1 del PLEC se realiza un análisis detallado que va desde el contexto del Municipio de Santiago de Cali, pasando por una revisión de los aspectos generales de la ciudad, hasta una revisión de las manifestaciones de riesgo (figura 16) que la ciudad había sufrido en los últimos años (partiendo del 2011 - 57 años atrás), junto con una consolidación de dichos resultados.

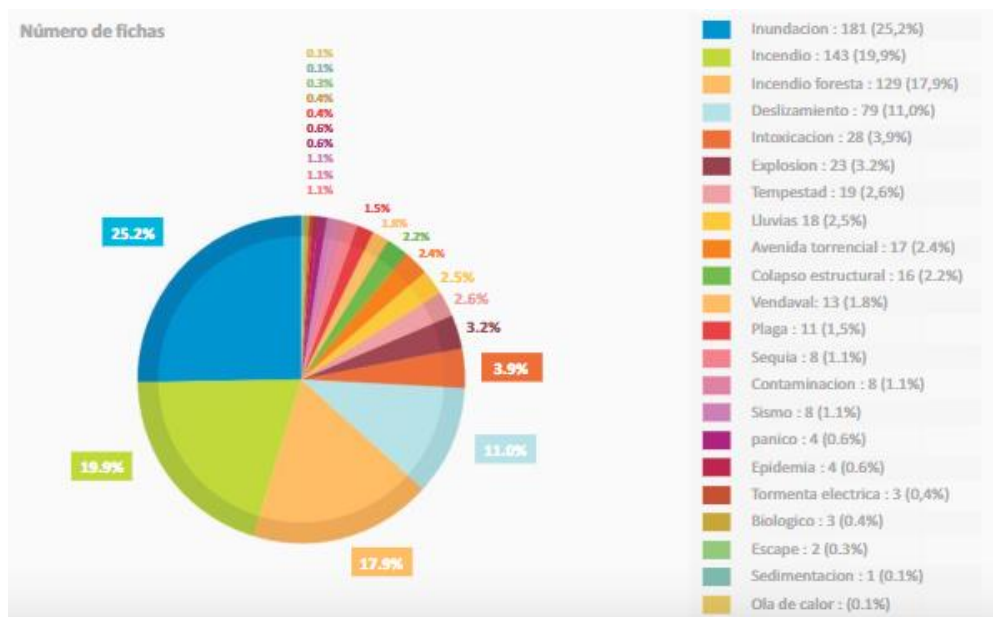


Figura 16. Manifestaciones de riesgo en el municipio de Cali. FUENTE: PLEC Cali

Por otro lado, se hizo un sondeo muy específico acerca de todas las entidades tanto municipales y aledañas que fueron seleccionadas para la prestación de recursos físicos como de capital humano en el momento que se presente una emergencia, las cuales se encuentran resumidas en la tabla 33.

Tabla 33. Instituciones suministradoras de recursos del PLEC. FUENTE: PLEC Cali

INSTITUCIÓN	DIRECCIÓN
Almacenar S.A	Calle 47 No. 6 – 07 Salomia
Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali	Almacén Av. 3N Calle 20
Centro Médico Imbanaco	Cra. 38A 5A – 100
Clínica Santiago de Cali	Av. 4N 21N – 54
Corporación OSSO – Observatorio Sismológico del Sur Occidente	Cra. 101 # 14 – 154
Cosmocentro Ciudadela Comercial	Calle 5ª No. 50 – 103
Cruz Roja Colombiana Seccional Valle del Cauca	Cra. 38bis No. 5 – 91
Defensa Civil Colombiana Seccional Valle del Cauca	Av. 3 Norte No. 63 – 00
Empresa de energía del Pacífico	Calle 15 29B – 30 Autopista Cali – Yumbo
Fundación Valle del Lili	Cra. 98 # 18 – 49
Industrias del Maíz S.A.	Calle 5 No. 52 – 57
Policía Metropolitana de Cali	Calle 21 1N – 65
Protécnica Ingeniería S.A.	Cra. 34 No. 13 – 150 Arroyohondo
REDOG	Calle 3 Bis 35A – 24

Scouts de Colombia	Cra. 44 No. 7 – 10 Nueva Tequendama
Secretaría de Salud Municipal	Cale 4B # 36 – 00 San Fernando
Secretaría de Tránsito Municipal	Cra. 3 No. 56 – 90
Universidad San Buenaventura	La Umbría – Carretera a Pance
DAGMA	Av. 5 # 20N – 08
Hospital Departamental Psiquiátrico del Universitario del Valle	Calle 5 # 80 – 00
Clínica de Occidente	Calle 18 N # 5 – 34
Clínica San Fernando	Calle 5 38 – 48
INGEOMINAS	Cra. 98 16 – 00
Cervecería del Valle	Calle 15 25 A – 37 Yumbo
Constructora Meléndez S.A.	Calle 16 100A – 123
Tecnoplast LTDA.	Cra. 5N 40 – 07

Puntuación: 5

3. Conformación del comité de emergencias.

El Comité Local de Prevención y Atención de desastres (CLOPAD), es el comité seleccionado por el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres (SNPAD). Desde el momento cero de la construcción del PLEC, a cada uno de los integrantes del mismo, se le asignaron distintas funciones y junto con la Alcaldía de la ciudad de Cali, coordinaron y gestionaron el desarrollo del PLEC. Por otro lado, en el Componente 3 del módulo 2 están claramente establecidas las funciones y responsabilidades tanto del CLOPAD como del resto de organizaciones involucradas en la gestión del riesgo.

Puntuación: 5

4. Análisis de amenazas.

A partir de discusiones técnicas con profesionales involucrados en el área de gestión de riesgos, en el PLEC se identificaron y realizaron análisis de 26 amenazas (tabla 34), que por sus características e historial de ocurrencia tendrían un alto porcentaje de presentarse en el marco del municipal de Santiago de Cali. Por otro lado, las entidades como el OSSO, DAGMA, INGEOMINAS entre otras, hacen monitoreo periódico de las nuevas amenazas que se vayan presentando a lo largo del tiempo.

Tabla 34. Identificación de amenazas para el municipio de Cali. FUENTE: PLEC Cali

No.	AMENAZAS
1	Accidente de tránsito
2	Caída de ceniza por actividad volcánica
3	Avenida torrencial
4	Colapso estructural
5	Contaminación
6	Deslizamientos
7	Epidemia
8	Escape de gas/cloro
9	Explosión
10	Granizada
11	Incendio estructural
12	Incendio forestal
13	Inundaciones
14	Licuación
15	Lluvias
16	Neblina
17	Pánico
18	Sedimentación
19	Sequias
20	Sismo
21	Tempestad
22	Tormenta
23	Atentado terrorista
24	Asonada
25	Fuga de presos
26	Intoxicación

Puntuación: 5

5. Determinación de vulnerabilidad.

Mediante métodos propuestos por el PLEC para la estimación de frecuencia, significancia y consecuencias relativas de cada amenaza, se realiza la correcta priorización y valoración de las amenazas mencionadas en la tabla 34; con la falencia de que no se verifican periódicamente las estimaciones de significancia de dichas amenazas. En las tablas 35 y 36 se evidencia la calificación de la significancia de la amenaza para Cali.

Tabla 35. Calificación de la significancia de la amenaza para el municipio de Santiago de Cali. FUENTE: PLEC Cali.

No.	Evento amenazante	T	P	S
1	Accidente de tránsito	1	1	1
2	Caída de ceniza por actividad volcánica	3	1	3
3	Avenida torrencial	2	1	2
4	Colapso estructural	1	1	1
5	Contaminación	2	1	2
6	Deslizamientos	1	1	1
7	Epidemia	2	2	4
8	Escape de gas/cloro	1	3	3
9	Explosión	1	1	1
10	Granizada	2	1	2
11	Incendio estructural	1	1	1
12	Incendio forestal	2	2	4
13	Inundaciones	3	3	9
14	Licuación	2	2	4
15	Lluvias	2	1	2
16	Neblina	1	1	1
17	Pánico	1	1	1
18	Sedimentación	1	1	1
19	Sequías	3	2	6
20	Sismo	3	3	9
21	Tempestad	2	1	2
22	Tormenta	2	1	2
23	Atentado terrorista	1	1	1
24	Asonada	2	1	2
25	Fuga de presos	2	1	2
26	Intoxicación	1	1	1

Tabla 36. Matriz de perfil de riesgo y vulnerabilidad. FUENTE: PLEC Cali

RIESGO ACEPTABLE	HASTA 3% DE PÉRDIDAS	Los controles actuales son suficientes, no es necesario establecer otros diferentes. Se interviene con la <i>Respuesta Básica</i> del Municipio.
RIESGO TOLLERABLE	HASTA 15% DE PÉRDIDAS	Debe ser intervenido en el “mediano plazo”, pues su capacidad de daño es parcial para el municipio no comprometiendo la estabilidad municipal.
RIESGO INACEPTABLE	HASTA 45% DE PÉRDIDAS	Debe ser intervenido en el “corto plazo”, pues su capacidad de daño es alta y puede comprometer gravemente la estabilidad del Municipio.
RIESGO INADMISIBLE	MÁS DE 45% DE PÉRDIDAS	Debe ser intervenido de manera inmediata, pues su capacidad de daño es muy alta y si se presenta puede afectar al Municipio a tal punto de generarle daños irreparables y grandes pérdidas que ponen en peligro su estabilidad.

Puntuación: 4

FASE 2: Diseño y documentación del plan de emergencias.

6. Diseño del plan de emergencias y elaboración del documento.

En relación con lo expuesto para el criterio uno, si existe un plan de emergencias documentado que es el PLEC, y que fue presentado en el año 2011 en la Cámara de Comercio ante los comités de emergencias, brigadas y público en general. Pero, así como en el criterio 5, el PLEC no es periódicamente actualizado ni en términos generales, ni en términos de variación de las amenazas.

Puntuación: 4

7. Conformación de brigadas y grupos de apoyo.

En el componente 4 del módulo 2 del PLEC, se presenta la estructura organizacional para el diseño y administración del mismo incluyendo los diferentes niveles de responsabilidad establecidos. En la figura 17 se observa el organigrama para la atención de la emergencia.

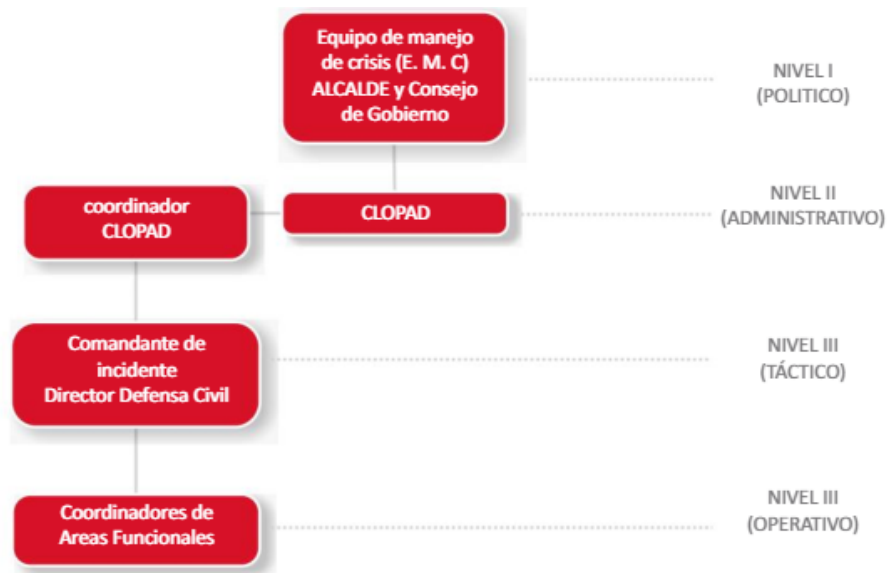


Figura 17. Organigrama para la atención de la emergencia. FUENTE: PLEC Cali

Por otro lado, en el mismo componente del PLEC, se establecen los grupos de apoyo junto con sus respectivas funciones y las instituciones tanto públicas como privadas que apoyaran dichas funciones, en el momento que se presente la emergencia. La tabla 37 agrupa dicha información.

Tabla 37. Áreas funcionales para la atención de emergencias. FUENTE: PLEC Cali

ÁREA FUNCIONAL	RESPONSABLES DE PROCEDIMIENTOS	INSTITUCIONES
Salvamento	Aislamiento y Seguridad	Policía Nacional, Ejército Nacional, Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suárez
	Búsqueda y rescate	Defensa Civil Colombiana, REDOG – Colombia
	Evacuación	Secretaría de Tránsito Municipal, Masivo Integrado de Occidente – MIO, Organismos de Socorro
Salud	Atención en Salud	Red de Urgencias y Emergencias, CRUE, Cruz Roja Colombiana, Cuerpo de Bomberos, Secretaría de Salud, Secretaría de Tránsito Municipal, Salamandra
	Saneamiento Ambiental	Secretaría de Salud, DAGMA, CVC
	Vigilancia Epidemiológica	Secretaría de Salud
	Manejo de Cadáveres	Cuerpo Técnico de Investigación – CTI – de la Fiscalía, Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Policía Judicial de la Policía Nacional, Policía Judicial del Departamento Administrativo de Seguridad - DAS
Hábitat y Sustento	Alojamiento Temporal	Organismos de Socorro, Instituto Colombiano de Bienestar Familiar – ICBF, Secretaría del Deporte y la Recreación
	Sostenibilidad Alimentaria	ICBF, Cruz Roja, ONG, Agencias Internacionales
	Insumo Humanitario	Cruz Roja, CLOPAD, CREPAD, ONG Internacionales, Personería Municipal
Social comunitario	Atención Psicosocial	Psicoclies, Cruz Roja, CLOPAD, ICBF, Secretaría de Salud
	Censos	Organismos de Socorro, CLOPAD
	Información a la comunidad	Alcalde, Coordinador CLOPAD, Director de la Defensa Civil
	Trabajo Comunitario	ICBF, Organismos de Socorro, Asociación de Trabajadores Sociales del Valle, fundaciones, ONG
Infraestructura y Servicios	Evaluación de Daños y Necesidades	AIV, ACODAL, CAMACOL, Grupos de EDAN, Red Sismológica de la Univalle, DAGMA, EMSIRVA, Azohazmat Yumbo, Bomberos, EMCALI, EPSA, Gases de Occidente
	Monitoreo y Control del Evento	CVC, DAGMA, IDEAM, INGEOMINAS, OSSO, Secretaría de Infraestructura
	Remoción de Escombros	Secretaría de Obras Públicas, Batallón Agustín Codazzi, Empresa privada
	Manejo de Sustancias Peligrosas	Azohazmat, Cuerpo de Bomberos, EMCALI, CISPROQUIM, ECOPETROL S.A.

	Servicios Básicos	EMCALI, EPSA, TELECOM, Operadores de Telefonía Celular, Gases de Occidente, Secretaría de Planeación
--	-------------------	--

A pesar de que se hace una correcta confirmación de brigadas y grupos de apoyo, junto con responsabilidades a cargo e instituciones involucradas, periódicamente no se califica el perfil de cada una de estas instituciones para asegurar su permanencia en cada grupo de apoyo.

Puntuación: 4

8. Programas de capacitación y entrenamiento de grupos de apoyo.

Dentro del componente 2 del módulo 2 del PLEC, se establecen los entrenamientos que recibirán cada uno de los coordinadores identificados en la figura 17 y en la tabla 37 (organigrama para la atención de la emergencia y áreas funcionales para la atención de emergencias).

Entrenamiento que dependiendo del nivel en el que se encuentre el coordinador consta de:

- Entrenamiento para coordinador nivel 1:
 - Legislación vigente tanto en prevención y atención de desastres como en planificación territorial y ambiental.
 - Manejo de crisis.
 - Organización para emergencias.
 - Estructura del plan de manejo de crisis.

- Entrenamiento para coordinador nivel 2:
 - Políticas institucionales sobre riesgos.
 - Manejo de crisis.
 - Organización para emergencias.
 - Estructura para el manejo de crisis.

- Entrenamiento para coordinador nivel 3:
 - Estructura y alcances del PLEC.
 - Organización para emergencias.
 - Funciones y responsabilidades en el PLEC.
 - Metodología de planificación para emergencias.
 - Procedimientos estratégicos de emergencia.
 - Administración de emergencias.
 - Sistema comando de incidentes.

Sin embargo, los planes de capacitación y entrenamiento no son actualizados periódicamente.

Puntuación: 4

9. Elaboración y documentación del plan de evacuación.

Dentro de los componentes 7 y 9 del PLEC se tratan específicamente la parte de respuesta a la emergencia y el procedimiento general de la emergencia respectivamente. En donde, a pesar de que se plantean procedimientos evacuativos de forma generalizada, no se plantean rutas de evacuación específicas asumiendo distintos escenarios en cuanto a la localización de los desastres. Por otro lado, la ciudad no cuenta con señalización instructiva en caso de que se presenten emergencias, ni el plan de evacuación es ajustado con base a la realización de simulacros.

Puntuación: 2

FASE 3: Planeación de simulacros y ejecución de programas preventivos.

10. Plan de reducción y/o control del riesgo.

Dentro de la revisión realizada al PLEC de la ciudad de Santiago de Cali, en ningún componente se estableció un plan de reducción o mitigación del riesgo con base a las amenazas que se podrían presentar en el municipio.

Puntuación: 1

11. Planeación y ejecución de simulacros.

De acuerdo con (El Pais, 2011) en el año 2011 se realizó un simulacro para evaluar la capacidad de respuesta ante la eventual presencia de una emergencia en Cali, sin embargo no se encontraron más registros de simulacros realizados ni siquiera de manera esporádica y mucho menos programados.

Puntuación: 2

12. Plan de auditorías.

Dentro de la revisión realizada al PLEC de la ciudad de Santiago de Cali, no se establece un plan de auditorías o siquiera de revisiones periódicas del PLEC en general o de algunos de sus componentes.

Puntuación: 1

FASE 4: Evaluación.

13. Evaluación de simulacros.

A pesar de la carencia de realización de simulacros que involucre el apoyo de entidades externas, dentro el PLEC, más específicamente en el componente 12 del módulo 2, se realizó una simulación muy detallada para tratar de establecer las consecuencias resultantes de un sismo y una inundación en términos de heridos, muertos y damnificados. Donde se evaluó críticamente cada una de las situaciones derivadas del ejercicio de simulación; dicha evaluación se realizó con el apoyo de personal externo especializados en distintas áreas como geología, organismos de socorro, etc.

Puntuación: 5

14. Revisión y actualización del modelo plan de emergencias.

Dentro de la revisión realizada al PLEC de la ciudad de Santiago de Cali, no se estableció un periodo de tiempo para revisar y mejorar el PLEC desarrollado.

Puntuación: 1

Calificación global de pertinencia del PLEC de Cali.

Tabla 38. Calificación global PLEC de Cali. FUENTE: Autores

Criterios	Peso	Puntaje	Puntaje Ponderado
FASE 1	Sensibilización y diagnostico		
1	7,1429%	4	0,29
2	7,1429%	5	0,36
3	7,1429%	5	0,36
4	7,1429%	5	0,36
5	7,1429%	4	0,29
FASE 2	Diseño y documentación del plan de emergencias		
6	7,1429%	4	0,29
7	7,1429%	4	0,29
8	7,1429%	4	0,29
9	7,1429%	2	0,14
FASE 3	Planeación de simulacros y ejecución de programas preventivos		
10	7,1429%	1	0,07
11	7,1429%	2	0,14
12	7,1429%	1	0,07
FASE 4	Evaluación		
13	7,1429%	5	0,36
14	7,1429%	1	0,07
		Puntaje Total	3,36

Adicionalmente, se hizo una comparación entre los recursos con los que se cuentan en el PLEC y los resultados de la simulación que ellos hicieron, así como también los resultados de los modelos del presente trabajo.

En el componente 4 del módulo 3 del PLEC, así como en los anexos de este, se encuentran listados los recursos físicos que proveerán las entidades que apoyan el PLEC y que son consolidados a continuación:

- 26 centros hospitalarios a total disposición distribuidos de la siguiente manera:

Zona norte: 7 centros hospitalarios

Zona oeste: 5 centros hospitalarios

Zona sur: 8 centros hospitalarios

Zona centro: 3 centros hospitalarios

Zona oriente: 3 centros hospitalarios

- Camionetas: 93
- Camperos: 54
- Busetas: 13
- Vehículos: 29
- Gruas:14
- Lanchas:1
- Buses: 3
- Camiones: 14
- Volquetas: 2
- Buses banco de sangre: 2
- Motocicletas: 110
- Ambulancias: 116

Es importante tener en cuenta que dichos recursos físicos (a excepción de los centros hospitalarios) se encuentran ubicados en distintos lugares del Departamento del Valle. Por lo cual, una vez se presente la emergencia y estos recursos sean necesarios, se debe tener en cuenta que hay un tiempo de espera considerable antes de que lo mismos lleguen a la ciudad de Cali. Omitiendo que las rutas vehiculares que se usen para traer esos recursos no se encuentren bloqueadas, debido a la misma emergencia (sismo, inundación, etc.).

Los resultados de la simulación del PLEC se presentan en la tabla 39.

Tabla 39. Resultados de simulación por sismo. FUENTE: PLEC Cali

COMUNA	TIPO DE EVENTO PRINCIPAL	HERIDOS	MUERTOS	DAMNIFICADOS	TOTAL AFECTADOS
1	Deslizamiento	8000	100	10000	18100
9	Incendio	2000	150	5000	7150
11	Licuación, colapso de viviendas	6000	1300	8000	15300
12	Licuación, colapso de viviendas	1000	500	7000	8500
13	Licuación, colapso de viviendas	500	1000	9000	10500
14	Licuación, colapso de viviendas	2500	200	10000	12700
15	Licuación, colapso de viviendas	16000	2000	5000	23000
16	Licuación, colapso de viviendas	300	1500	4000	5800
20	Deslizamiento	4000	8000	13000	25000
21	Licuación, colapso de viviendas	12000	1200	20000	33200
Resto de la ciudad	Colapso estructural de viviendas	20000	50	20700	40750
		72300	16000	111700	200000
Heridos/Muertos			4,51875		
Muertes por C/1000 hab			55,85		
Pérdidas en millones \$					UN BILLÓN DE PESOS

Los resultados de los modelos propuestos en este trabajo se presentan en los anexos 1 y 2 respectivamente al final del documento.

Como se puede evidenciar para la simulación planteada en el PLEC de Cali hay un total de 200.000 afectados, distribuidos así:

- 72.300 heridos
- 16.000 muertos
- 111.700 damnificados

En los resultados obtenidos en el presente trabajo, en el caso donde se presentan los mejores resultados (escenario 3) tenemos:

- 4.892 muertos
- 37.905 casas destruidas

Si para el total de casas destruidas, asumimos que albergaban un promedio de 3 personas por familia, estarías hablando de:

- 113.715 damnificados

A partir de los resultados anteriores, se puede observar que las cifras resultantes de ambos ejercicios de simulación (tanto del PLEC como el propio), son imposibles de manejar con los recursos que se tienen asignados actualmente.

Desde la perspectiva de los heridos (72.300), se necesitarían de 2.410 vehículos con capacidad para 30 heridos, como lo serían buses o busetas, dado que con las 116 ambulancias que se tienen se podrían transportar un máximo de 232 heridos por trayecto.

Por otro lado, el número de heridos es una cifra que no puede ser atendida por los 26 centros hospitalarios que se encuentran en Cali, razón por la cual se necesitaría que fueran trasladados a centros asistenciales en ciudades aledañas como Yumbo, Palmira, Jamundí.

Desde la perspectiva de los damnificados (111.700 - 113.715) se tendría que recurrir a instituciones educativas para ser utilizadas como albergues temporales, mientras se trata de encontrar soluciones a mediano o largo plazo para los mismos.

5.4.4 Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se puede observar que la calificación obtenida para el PLEC de Cali no es de las mejores. De lo cual, es clave apuntar que muchos de los criterios de éxito no alcanzaron la calificación máxima (5), debido a la falta de actualización y/o revisión periódica por parte del comité encargado del mismo.

Por otro lado, a pesar de que sé es consciente de que el perímetro de la ciudad de Cali es bastante amplio, se debe tratar de establecer posibles rutas de evacuación dependiendo de dónde se produzca la emergencia. De esta manera, mejorar la capacidad de respuesta cuando se presente la amenaza o emergencia. Además, se deben coordinar reuniones con mayor frecuencia entre los grupos de apoyo

para identificar más oportunidades de mejora y actualizar el contenido del documento.

6 Limitaciones y recomendaciones

Las limitaciones del presente trabajo se centran en la carencia de la información necesaria para presentar los resultados relacionados con los impactos sociales y económicos de manera más detallada. En el caso de Cali, hay disponibilidad de los datos de densidad poblacional a nivel de comunas, pero no se encuentran disponibles dichos datos a nivel de barrios. Además, la información segregada acerca de los tipos de viviendas, así como sus materiales y edad de construcción, en cada barrio, y de manera más general, en cada comuna, no se encuentra disponible en las fuentes consultadas, que corresponden a las páginas web de la Alcaldía de Santiago de Cali y la Gobernación del Valle del Cauca.

De esta manera, se recomienda para futuros trabajos desarrollar los modelos de estimación de impactos sociales teniendo en cuenta dichas variables, cuando los datos requeridos se encuentren disponibles. Esto último, representa un trabajo de recolección de datos, que generalmente es realizado por parte de la Alcaldía o alguna entidad oficial.

Teniendo dicha información, los resultados proporcionados por los modelos pueden ser más detallados y representativos de cada barrio en particular. Debido a que los datos por comuna no reflejan la realidad existente en cada uno de los barrios que aglomera, teniendo en cuenta que una comuna puede estar compuesta por diversos estratos socioeconómicos.

En el caso de Bucaramanga, no fue posible encontrar el PLEC. Se realizaron llamadas y se enviaron correos a los Coordinadores Departamentales y Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres de Santander, pero nunca se obtuvo respuesta. En el Anexo 3, se encuentra la información de los coordinadores contactados. Debido a la carencia de dicha información, no se pudo evaluar la pertinencia de los planes de contingencia de la ciudad de Bucaramanga contrastado con los resultados obtenidos por los modelos.

Con respecto a lo anterior, resulta preocupante que un área metropolitana con alto nivel de riesgo sísmico, no tenga disponible al público su Plan Local de Emergencias y Contingencias. Esto hace que las principales oficinas de atención y prevención de desastres de la ciudad no estén alineadas en sus planes de acción.

Por otra parte, los modelos con los cuales se realizaron los mapas para las ciudades de Cali y Bucaramanga no necesariamente son los mejores entre todos los modelos evaluados. Esto representa una limitación de la metodología

empleada, debido a que primero se probaron los modelos con los datos provenientes de las bases de datos y se seleccionaron cualitativamente los mejores. Luego, a los modelos seleccionados se les realizaron las pruebas cuantitativas para comprobar el cumplimiento de los supuestos. Seguidamente, a los modelos que cumplieron los tres supuestos se les adicionaron las variables necesarias para estimar los impactos sociales y económicos (tales como densidad poblacional y distancia entre la ciudad que reportó los damnificados y el epicentro del terremoto), puesto que dichas variables no estaban contempladas en las bases de datos. Y finalmente, se les realizaron nuevamente las pruebas de validación de supuestos y se eligieron los mejores entre ellos.

Una recomendación para futuros trabajos en este aspecto es explorar los modelos de forma diferente y comparar de qué manera varían los resultados. Puede ser, por ejemplo, probar los modelos incluyendo todas las variables necesarias, desde el principio. Además, realizar a todos los modelos las pruebas cuantitativas desde el comienzo y omitir el paso de la selección cualitativa. Ya que es probable que en este paso se hayan descartado modelos útiles, dada la subjetividad de dicha elección.

Además, la base de datos NOAA cuenta con variables categóricas para la cantidad de muertos, heridos, casas destruidas, casas dañadas y daños económicos. Estas variables no se tomaron en cuenta como variables dependientes, ya que para ello, se debe emplear la regresión logística nominal y esto se sale del alcance de este trabajo. Por tal razón, una recomendación para futuros trabajos es desarrollar modelos con dichas variables categóricas empleando este tipo de regresión.

7 Conclusiones generales

Al finalizar este trabajo, se concluye que la regresión lineal múltiple no es una metodología ampliamente utilizada en el estudio de impactos sociales y económicos generados por un terremoto. Además, ninguno de los artículos consultados empleó la totalidad de las variables contempladas en este trabajo.

Por otra parte, las bases de datos empleadas para la realización de los modelos provienen de fuentes confiables y cuentan con variables propicias que permitieron el desarrollo de los modelos, en cuanto a la cantidad de entradas y el periodo de tiempo que abarcan. Además, este trabajo brinda una primera aproximación a la estimación de impactos sociales y económicos empleando regresión lineal múltiple, lo cual hace posible que en futuros trabajos se realice una comparación entre los resultados obtenidos mediante otras metodologías de investigación y esta. Con ello, se puede evaluar los factores a favor y en contra de cada una de las metodologías y posiblemente, generar criterios de selección para cada de ellas.

De igual manera, al aplicar los modelos a los contextos de las ciudades de Cali y Bucaramanga se pudo observar que, en ambos casos, los escenarios más dramáticos se presentan por parte de la cantidad de casas destruidas. En Cali, la comuna más afectada, tanto por la cantidad de casas destruidas como por el número de muertos, es la comuna 21. En el caso de Bucaramanga, no se pueden dar conclusiones de este tipo, ya que la aplicación de los modelos se hizo como parte de un ejercicio ejemplificativo, ya que esta ciudad no cuenta con un PLEC, que incluya un simulacro y por tal razón, la mayoría de datos fueron obtenidos mediante supuestos y empleando promedios históricos de las bases de datos.

Finalmente, cuando se evaluó la pertinencia de los planes de contingencia de la ciudad de Cali mediante la hoja de evaluación de SURATEP, se obtuvo como resultado que la calificación para el PLEC de Cali no es la mejor. Dado que existe una desactualización del documento. Todo lo anterior hace que a pesar de que la ciudad cuente con planes de contingencia y respuesta ante posibles emergencias, dichos planes no están ajustados a las realidades del presente inmediato de Cali. En el caso de Bucaramanga, no fue posible evaluar la pertinencia de los planes de contingencia de la ciudad, ya que no fue posible ubicar su PLEC.

8 Anexos

Comuna	Casas destruidas	Muertos
1	3.337	843
2	2.206	223
3	2.108	221
4	2.159	222
5	1.501	208
6	1.151	197
7	2.042	221
8	1.796	215
9	4.853	226
10	1.546	207
11	2.797	638
12	1.044	97
13	850	43
14	2.807	235
15	2.024	1.853
16	903	30
17	2.143	221
18	1.539	205
19	2.230	222
20	2.978	381
21	9.847	1.210
22	2.746	232

Anexo 1. Resultados obtenidos por los modelos de predicción de la cantidad de casas destruidas y muertos, respectivamente, en el escenario 1. FUENTE: Autores

Distancia hasta el epicentro (Escenario 2)	Casas destruidas	Muertos	Distancia hasta el epicentro (Escenario 3)	Casas destruidas	Muertos
47,33	2.360	519	46,02	2.316	507
43,55	1.560	137	41,05	1.531	134
43,87	1.491	136	42,67	1.463	133
42,13	1.527	137	39,76	1.498	134
40,66	1.062	128	38,23	1.042	125
40,37	815	121	37,15	799	119
39,33	1.445	136	37,66	1.417	133
40,85	1.271	132	39,74	1.247	129
42,6	3.433	139	41,85	3.369	136
42,59	1.093	128	42,82	1.073	124
41,24	1.979	393	41,28	1.942	383
40,06	739	60	39,51	725	59
30,87	601	27	38,65	590	26
37,25	1.985	145	37,24	1.948	141
39,29	1.432	1.143	40,24	1.405	1.110
41,03	639	19	41,97	627	18
42,48	1.516	137	44,27	1.488	132
44,82	1.088	127	46,66	1.068	123
44,48	1.578	137	44,6	1.548	133
46,15	2.107	235	46,3	2.067	229
35,85	6.966	745	35,85	6.835	726
42,74	1.943	143	46,07	1.907	138

Anexo 2. Distancias y resultados obtenidos en los escenarios 2 y 3. FUENTE: Autores

SANTANDER	RAMÓN ANDRÉS RAMÍREZ URIBE	LUIS ERNESTO ORTEGA MARTÍNEZ
	Cel: 3202407259, 3174021535	Cel: 3125849892, 3202406893
	cdgrd.santander@gestiondelriesgo.gov.co	cmgrd.bucaramanga@gestiondelriesgo.gov.co

Anexo 3. Directorio de los coordinadores de Gestión del Riesgo de Bucaramanga

9 Bibliografía

- Altay, N., & Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475–493. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.016>
- Alvarado, Laura; Ospina, C. (2016). *Evaluación de la adaptación al cambio climático en el valle del cauca, aplicando la metodología de sistemas suaves*. Cali, Colombia.
- BANCO MUNDIAL. (2012). Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. *Bogotá, Colombia*.
- Cardona, O. D., Wilches-Chaux, G., García, X., Mansilla, E., Ramírez, F., & Marulanda, M. (2004). Estudio sobre desastres ocurridos en Colombia: Estimación de pérdidas y cuantificación de costos. *ERN, Colombia*.
- El Pais. (n.d.). Cali renovó su plan para la atención de emergencias. Retrieved April 25, 2018, from <http://www.elpais.com.co/cali/renovo-su-plan-para-la-atencion-de-emergencias.html>
- El Pais. (2011). Cali tiene una hoja de ruta para atender emergencias. Retrieved May 6, 2018, from <http://www.elpais.com.co/cali/tiene-una-hoja-de-ruta-para-atender-emergencias.html>
- EM-DAT: The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir - www.emdat.be, Brussels, B. (n.d.). EM-DAT | The international disasters database. Retrieved February 24, 2018, from <http://www.emdat.be/>
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (UNISDR). (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres.
- Felipe, L., Cardona, H., Orlando, J., Méndez, M., Donald, M., & Mahecha, B. (2014). Lineamientos de Política de Gestión del Riesgo de Desastres.
- Galindo, G., & Batta, R. (2013). Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 230(2), 201–211. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.039>
- Hoyos, M. C., Morales, R. S., & Akhavan-Tabatabaei, R. (2015). OR models with stochastic components in disaster operations management: A literature survey. *Computers & Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.11.025>
- Lavell, A. (1996). Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y

- conceptos: Hacia la definición de una agenda de investigación. In *Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres en América Latina* (pp. 21–60).
- Lavell, A. (2001). Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición.
- Martínez Rodríguez, E., Cristina, E., & Lorenzo, S. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico Y Económico Escurialense*, 38, 315–332.
- Mendenhall, William & Sincich, T. (1997). Análisis de regresión múltiple. In *Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias* (p. 603).
- Montgomery, Douglas & Runger, G. (1996). Regresión lineal múltiple. In *Probabilidad y Estadística aplicadas a la ingeniería* (p. 533).
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). Significant Earthquakes Database NOAA. Retrieved February 24, 2018, from <https://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=1&d=1>
- Parra, H., Vergel, M., & Sánchez, J. (2013). Hacia Un Modelo Para Evaluar La Pertinencia Social En La Oferta Académica De La Universidad Francisco De Paula Santander, 239. Retrieved from http://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-341895_archivo_pdf.pdf
- Rojo, J. (2007). *Regresión Lineal Múltiple*.
- Shearer, P. (2009). *Introduction to Seismology*. University of California, San Diego. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1975.tb01612.x>
- Tarback, E. J., Lutgens, F. K., Tasa, D., AMR traducciones científicas, J, T. E., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física* (8va edición). PEARSON.
- UNGRD. (2017). Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes. *Comité Nacional Para El Conocimiento Del Riesgo SNGRD*.
- Unidad de Manejo y Análisis de información Colombia. (n.d.). Plan Local de Emergencias y Contingencias - UMAIC Wiki. Retrieved April 11, 2018, from https://wiki.umaic.org/wiki/Plan_Local_de_Emergencias_y_Contingencias
- Vanguardia. (2017). Sismos en Colombia. *Vanguardia*. Retrieved from <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/411223-la-mitad-de-los-sismos-de-2017-en-colombia-ha-ocurrido-en-sant>
- Vera Lizcano, B. E. (2015). *Evaluación de errores de datos sismológicos y sus efectos sobre los parámetros y modelos derivados de éstos para una región*

determinada cubierta por la red del Observatorio Sismológico del SurOccidente - OSSO. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Victoriano, B. et al. (2013a). Decision Aid Models and Systems for Humanitarian Logistics . A Survey. *Atlantis Computational Intelligence Systems*, 7, 17–44. <https://doi.org/10.2991/978-94-91216-74-9>

Victoriano, B. et al. (2013b). Decision Aid Models for Disaster Management and Emergencies. *Atlantis Computational Intelligence Systems*, 7, 17–44. <https://doi.org/10.2991/978-94-91216-74-9>

Wells, D. L., & Coppersmith, K. J. (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974–1002. <https://doi.org/10.1785/BSSA-1994-0017>

Zuñiga, R. (2011). Notas introductorias sismología. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>