



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

La coordinación inter-organizacional en los procesos logísticos de preparación de emergencias y desastres

Juan Camilo López Vargas

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Manizales, Colombia

2021

La coordinación inter-organizacional en los procesos logísticos de preparación de emergencias y desastres

Juan Camilo López Vargas

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Doctor en Ingeniería

Directora:

Doctora Diana María Cárdenas Aguirre

Codirector:

Doctor José David Meisel Donoso

Línea de Investigación:

Métodos y modelos de optimización y estadística en Ingeniería Industrial y Administrativa

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Manizales, Colombia

2021

Siempre que los hombres quieren hacer alguna cosa, deben prepararse hábilmente para que, llegada la ocasión, puedan realizarla: cuando las preparaciones se hacen cautamente, no se conocen, y a nadie se puede acusar de negligencia si no ha llegado la oportunidad de ejecutar la empresa; pero, al llegar, descúbrese en seguida si no está bien dispuesto o si no había pensado en tal cosa.

*Nicolás Maquiavelo
(Del arte de la guerra, 1521)*

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Juan Camilo López Vargas

04/03/2021

Resumen

La coordinación inter-organizacional en los procesos logísticos de preparación de emergencias y desastres

Ante los registros crecientes de desastres naturales acaecidos a nivel global, junto con otras amenazas que afronta la humanidad en la actualidad, como el aumento incontrolado de la población, los fenómenos de cambio climático, la seguridad alimentaria y la inequidad social, es necesario que desde el sector académico, y particularmente desde la Ingeniería, se aborden estas grandes problemáticas para formular alternativas de solución efectivas y sostenibles para el bienestar de las comunidades en condición de vulnerabilidad y la preservación de los ecosistemas en el mundo. Esta tesis se enmarca en el estudio de los procesos logísticos de preparación para la atención de emergencias y desastres a nivel local. El objetivo principal de la investigación es la formulación de distintos mecanismos de coordinación para que los actores locales clave puedan mejorar el desempeño global del sistema logístico durante los procesos de preparación para los desastres.

Para dicho propósito, fue necesario abordar un enfoque metodológico mixto que combinó prácticas tradicionalmente cualitativas como el estudio de expertos y un trabajo de campo basado en entrevistas semi-estructuradas. Asimismo, desde el enfoque cuantitativo se aplicó el proceso de diseño para la estructuración y simulación de un modelo basado en agentes. Con base en un caso particular –la ciudad de Manizales, en Colombia–, se modelaron las principales decisiones que los actores del nivel local asumen en el marco de la preparación de emergencias causadas por fenómenos hidrometeorológicos. De este modo, y a partir de la formulación de escenarios alternativos basados en mecanismos de coordinación elegidos estratégicamente, se evidencia una mejora en el desempeño global del sistema local de preparación conformado por los principales actores locales. Los resultados obtenidos permiten vislumbrar una posibilidad de proponer e implementar mecanismos de coordinación en contextos reales, así como otras variantes en el modelo diseñado para dirigir futuras líneas de trabajo.

Palabras clave: logística humanitaria, preparación para los desastres, coordinación inter-organizacional, modelación basada en agentes.

Abstract

Inter-organizational coordination in logistics processes for emergency and disaster preparedness

Given the growing records of natural disasters that have occurred globally, as well as other threats that humanity endures, such as uncontrolled population growth, climate change, food security and social inequity, it is necessary to address these great problems from the academic sector, and particularly from Engineering, with the aim to formulate effective and sustainable solutions for the well-being of vulnerable communities and the preservation of ecosystems in the world. This thesis is focused on the study of the preparedness logistical processes for emergency and disaster response at the local level. The main research objective is the formulation of coordination mechanisms so that key local actors can improve the overall performance of the logistics system during disaster preparedness processes.

For this purpose, it was necessary to apply a mixed methodological approach that combined traditionally qualitative practices such as the study of experts and a field work based on semi-structured interviews. Likewise, from the quantitative approach, the design process was applied for the structuring and simulation of an agent-based model. Based on a particular case –the city of Manizales, in Colombia–, the main decisions that local actors take during preparedness stage for emergencies caused by hydrometeorological phenomena were modeled. Thus, and from the formulation of alternative scenarios based on strategically chosen coordination mechanisms, there is evidence of an improvement in the overall performance of the local preparedness system composed of the key local actors. The results obtained allow for the visualization of the possibility of proposing and implementing coordination mechanisms in real contexts, as well as other variants in the model designed to direct future lines of work.

Keywords: humanitarian logistics, disaster preparedness, inter-organizational coordination, agent-based modeling.

Contenido

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| Resumen | VII |
| Abstract | VIII |
| Lista de figuras | XIII |
| Lista de tablas | XV |
| PARTE I | 1 |
| 1. Capítulo primero: Introducción | 3 |
| 1.1 Descripción del problema de investigación | 3 |
| 1.1.1 Justificación de la investigación | 5 |
| 1.2 Preguntas de investigación | 6 |
| 1.3 Hipótesis de la investigación | 7 |
| 1.4 Sistema de objetivos | 8 |
| 1.5 Diseño metodológico de la investigación | 8 |
| 1.5.1 Metodologías aplicadas en la investigación | 8 |
| 1.5.2 Enfoque metodológico la investigación | 9 |
| 1.5.3 Estructura de la tesis | 11 |
| 2. Capítulo segundo: Marco teórico | 13 |
| 2.1 La logística humanitaria desde un enfoque de procesos | 13 |
| 2.1.1 Taxonomía de los desastres | 14 |
| 2.1.2 La logística humanitaria en el marco de la gestión de desastres | 17 |
| 2.1.3 Etapas que componen la logística humanitaria | 18 |
| 2.1.4 Importancia de la preparación para los desastres..... | 21 |
| 2.1.5 Procesos logísticos en la preparación para los desastres | 23 |
| 2.1.6 Indicadores de desempeño en la logística humanitaria..... | 26 |
| 2.2 La logística humanitaria desde un enfoque de sistemas | 28 |
| 2.2.1 La cadena logística humanitaria (HSC) como sistema complejo | 29 |
| 2.2.2 Sectores que participan en la cadena logística humanitaria..... | 33 |
| 2.2.3 El problema de la coordinación en la HSC..... | 36 |
| 2.2.4 Factores de influencia en la coordinación inter-organizacional | 38 |
| 2.2.5 Mecanismos de coordinación aplicados a la HSC..... | 40 |
| 2.2.6 Metodologías aplicadas al estudio de las HSC desde el enfoque de sistemas complejos | 42 |
| 2.3 Declaración del vacío de conocimiento | 47 |
| 2.4 Conclusiones del capítulo..... | 50 |

| | |
|---|------------|
| PARTE II..... | 53 |
| 3. Capítulo tercero: Estudio de expertos | 55 |
| 3.1 Elementos que constituyen el sistema logístico de preparación para los desastres..... | 56 |
| 3.1.1 Los procesos logísticos en el marco de la preparación para los desastres.... | 57 |
| 3.1.2 Los actores involucrados en la preparación para los desastres..... | 59 |
| 3.1.3 Los indicadores de desempeño en la preparación para los desastres..... | 60 |
| 3.2 El estudio de expertos: una necesidad propia de la investigación..... | 62 |
| 3.3 Diseño del instrumento de investigación..... | 63 |
| 3.4 Aplicación del instrumento de investigación..... | 64 |
| 3.4.1 Selección de la muestra para el estudio..... | 65 |
| 3.4.2 Envío y recolección de datos..... | 65 |
| 3.4.3 Procesamiento y análisis de la información reunida..... | 65 |
| 3.5 Conclusiones del capítulo..... | 67 |
| 4. Capítulo cuarto: Modelo conceptual | 69 |
| 4.1 Introducción: Metodología de la simulación..... | 69 |
| 4.2 Aproximación al modelo conceptual..... | 70 |
| 4.2.1 Definición del objetivo del modelo..... | 71 |
| 4.2.2 Alcance del modelo conceptual..... | 72 |
| 4.3 Descripción del modelo conceptual..... | 74 |
| 4.3.1 Propiedades (P)..... | 74 |
| 4.3.2 Acciones (A)..... | 79 |
| 4.3.3 Reglas (R)..... | 84 |
| 4.3.4 Tiempo (T)..... | 93 |
| 4.3.5 Entorno (E)..... | 94 |
| 4.4 Conclusiones del capítulo..... | 97 |
| 5. Capítulo quinto: Trabajo de campo | 99 |
| 5.1 Introducción: Generalidades metodológicas..... | 100 |
| 5.1.1 Presentación del caso..... | 101 |
| 5.2 Proceso de diseño del instrumento..... | 106 |
| 5.2.1 Estructuración inicial del instrumento de investigación..... | 106 |
| 5.3 Aplicación del instrumento..... | 109 |
| 5.4 Hallazgos del estudio..... | 110 |
| 5.4.1 Sobre las capacidades funcionales de los actores locales..... | 110 |
| 5.4.2 Sobre las capacidades individuales de los actores locales..... | 111 |
| 5.4.3 Sobre las capacidades requeridas de los procesos..... | 113 |
| 5.4.4 Sobre los tiempos de ejecución de los procesos..... | 114 |
| 5.4.5 Sobre la probabilidad de coordinación inter-organizacional..... | 115 |
| 5.5 Conclusiones del capítulo..... | 117 |
| 6. Capítulo sexto: Modelo de simulación | 119 |
| 6.1 Introducción: Metodología de la simulación..... | 119 |
| 6.2 Etapa crítica de diseño: Implementación del modelo..... | 120 |
| 6.2.1 Decisiones para el proceso de implementación..... | 121 |
| 6.2.2 Descripción del modelo implementado..... | 121 |
| 6.3 Evaluación del rigor metodológico del proceso de diseño..... | 125 |
| 6.3.1 Verificación del modelo de simulación..... | 125 |
| 6.3.2 Validación del modelo de simulación..... | 126 |

| | |
|---|------------|
| 6.3.3 El análisis de sensibilidad como mecanismo de validación del MBA..... | 128 |
| 6.4 Conclusiones del capítulo..... | 137 |
| PARTE III..... | 139 |
| 7. Capítulo séptimo: Estudio de simulación..... | 141 |
| 7.1 Justificación metodológica..... | 141 |
| 7.2 Generación de escenarios..... | 143 |
| 7.2.1 Proposición de los mecanismos de coordinación..... | 144 |
| 7.2.2 Escenario basado en la centralización del sistema..... | 146 |
| 7.2.3 Escenario basado en el enfoque de clúster..... | 149 |
| 7.3 Resultados y discusión..... | 152 |
| 7.3.1 Demostración de la hipótesis..... | 164 |
| 7.4 Conclusiones del capítulo..... | 166 |
| 8. Capítulo octavo: Conclusiones..... | 169 |
| 8.1 Conclusiones generales y particulares de la investigación..... | 169 |
| 8.2 Limitaciones de la investigación..... | 173 |
| 8.3 Orientaciones para el trabajo posterior..... | 173 |
| 9. Fuentes de referencia..... | 175 |
| A. Anexo A: Revisión de literatura..... | 199 |
| B. Anexo B: Diseño del instrumento de encuesta..... | 207 |
| C. Anexo C: Aplicación de la encuesta a expertos..... | 227 |
| D. Anexo D: Diseño del instrumento de entrevista..... | 241 |
| E. Anexo E: Estimación de la variable Probabilidad de Coordinación (PC)..... | 269 |
| F. Anexo F: Verificación del modelo de simulación..... | 283 |
| G. Anexo G: Corridas del modelo de simulación..... | 291 |
| H. Anexo H: Análisis de sensibilidad del modelo de simulación..... | 333 |
| I. Anexo I: Corridas de los escenarios alternativos propuestos..... | 351 |
| J. Anexo J: Síntesis de la difusión de resultados parciales..... | 357 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1.1. Estrategia metodológica para la investigación. | 10 |
| Figura 1.2. Relación de causalidad entre los factores considerados en la investigación. 11 | |
| Figura 1.3. Estructura general de la tesis..... | 12 |
| Figura 2.1. Clasificación de los desastres..... | 14 |
| Figura 2.2. Impacto de los desastres registrados a nivel global. | 15 |
| Figura 2.3. Registro de desastres ocurridos según el tipo de fenómeno. | 16 |
| Figura 2.4. La logística humanitaria en el marco de la gestión del riesgo de desastres. 18 | |
| Figura 2.5. El ciclo de la gestión de desastres y logística humanitaria. | 20 |
| Figura 2.6. Estructura de la cadena logística humanitaria..... | 30 |
| Figura 2.7. Actores involucrados en la cadena logística humanitaria. | 33 |
| Figura 4.1. Representación visual del modelo de agentes multi-capas..... | 76 |
| Figura 4.2. Diagrama del modelo conceptual diseñado para el sistema logístico de preparación. | 83 |
| Figura 4.3. Diagrama de estados de los agentes definidos en el diseño del MBA. | 84 |
| Figura 4.4. Ciclos causales y de realimentación provistos en el modelo conceptual propuesto. | 96 |
| Figura 5.1. Ubicación geográfica de Manizales (Caldas, Colombia). | 102 |
| Figura 6.1. Seudocódigo del modelo de simulación basado en agentes (MBA). | 123 |
| Figura 6.2. Interfaz gráfica diseñada en el software de simulación Netlogo. | 124 |
| Figura 7.1. Esquema procedimental del modelo para el mecanismo de coordinación centralizado. | 147 |
| Figura 7.2. Esquema procedimental del modelo para el mecanismo de coordinación basado en el enfoque de clúster..... | 150 |
| Figura 7.3. Indicadores de agilidad y flexibilidad del sistema según los escenarios modelados. Resultados para 50 corridas de simulación. | 154 |
| Figura 7.4. Indicadores de confiabilidad y aprovechamiento de recursos de acuerdo con los escenarios modelados. Resultados para 50 corridas de simulación. | 155 |
| Figura 7.5. Series de tiempo para los escenarios alternativos propuestos. Resultados para 50 corridas de simulación. | 157 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 2.1. Procesos que se llevan a cabo durante la fase de preparación..... | 23 |
| Tabla 2.2. Procesos logísticos de preparación según los niveles jerárquicos de gestión. | 25 |
| Tabla 2.3. Indicadores de desempeño aplicados en la etapa de preparación para los desastres..... | 27 |
| Tabla 2.4. Principales diferencias entre las cadenas logísticas comerciales y humanitarias..... | 31 |
| Tabla 2.5. Factores de influencia en la coordinación a nivel local. | 40 |
| Tabla 2.6. Investigaciones recientes que abordan la coordinación en la LH aplicando DS. | 45 |
| Tabla 2.7. Investigaciones recientes que abordan la coordinación en la LH aplicando MBA. | 45 |
| Tabla 2.8. Generalidades que demarcan los vacíos de conocimiento identificados en la literatura. | 47 |
| Tabla 3.1. Resumen de los procesos de preparación hallados en la revisión de literatura. | 58 |
| Tabla 3.2. Resumen de actores involucrados hallados en la revisión de literatura. | 59 |
| Tabla 3.3. Indicadores de desempeño aplicables a la preparación a partir de la revisión de literatura. | 61 |
| Tabla 3.4. Elementos consolidados para el diseño final del instrumento..... | 64 |
| Tabla 3.5. Resultados del estudio de expertos para los procesos de preparación. | 66 |
| Tabla 3.6. Resultados del estudio de expertos para los actores locales..... | 66 |
| Tabla 3.7. Resultados del estudio de expertos para los indicadores de desempeño..... | 67 |
| Tabla 4.1. Categorización de los procesos de preparación según su nivel jerárquico. ... | 73 |
| Tabla 4.2. Estados posibles de los agentes definidos en el modelo conceptual..... | 76 |
| Tabla 4.3. Principales parámetros y variables, individuales y globales, de los agentes modelados..... | 77 |
| Tabla 4.4. Indicadores de desempeño definidos para el MBA..... | 92 |
| Tabla 5.1. Requerimientos de datos e información propuestos en el trabajo de campo. | 107 |
| Tabla 5.2. Datos representativos de las encuestas realizadas en el trabajo de campo. | 109 |
| Tabla 5.3. Funciones de los actores locales de acuerdo con el trabajo de campo. | 111 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 5.4. Recursos disponibles informados por las agencias durante las entrevistas realizadas. | 112 |
| Tabla 5.5. Recursos requeridos por los procesos como resultado del trabajo de campo. | 113 |
| Tabla 5.6. Tiempos y frecuencias de ejecución suministrados por los entrevistados. | 115 |
| Tabla 5.7. Estimación de los valores de probabilidad de coordinación para los actores locales. | 116 |
| Tabla 6.1. Resultados globales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con las funciones asignadas a los actores..... | 130 |
| Tabla 6.2. Resultados globales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con los recursos disponibles de los actores..... | 132 |
| Tabla 6.3. Resultados globales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con los tiempos de ejecución de los procesos. | 133 |
| Tabla 6.4. Resultados globales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con el porcentaje mínimo de cumplimiento de los procesos. | 134 |
| Tabla 6.5. Resultados globales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con la probabilidad de coordinación de los actores locales. | 135 |
| Tabla 7.1. Resultados globales de 50 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados. | 153 |
| Tabla 7.2. Pruebas de hipótesis formuladas para el análisis de escenarios propuestos en el estudio de simulación. | 164 |
| Tabla 7.3. Significancia de las pruebas de hipótesis planteadas para los escenarios incluidos en el estudio de simulación. | 165 |

PARTE I

Aproximación al problema de investigación

Contextualización, generalidades y diseño de la investigación

Propósito: La logística humanitaria ha surgido como un campo de conocimiento enfocado al mejoramiento en los procesos logísticos de preparación y atención de desastres. Por lo cual, su objetivo principal se enfoca en salvaguardar la mayor cantidad de vidas posibles ante la materialización de situaciones de desastre. En este sentido, en la literatura especializada se ha hecho énfasis en la importancia de los procesos de preparación para la atención de desastres, así como de la importancia y el valor de la coordinación inter-organizacional en la labor humanitaria. En consecuencia, estos asuntos continúan siendo objeto de investigación y divulgación en los ámbitos académicos y prácticos. El objeto de esta parte inicial es analizar los principales aspectos teóricos involucrados en los procesos de manejo de desastres y logística humanitaria, que sustentan el problema de investigación. A partir de lo cual se diseña una propuesta metodológica para dar solución a unos objetivos de investigación establecidos.

Metodología: El principal método de investigación para esta parte es la revisión de literatura.

Hallazgos/Resultados: Esta parte provee un marco general de lo que es una cadena logística humanitaria, sus características y etapas principales. En lo particular, se hace énfasis en la preparación logística para la respuesta, los diversos actores-sectores involucrados y el problema de la coordinación inter-organizacional durante la fase de preparación. El proceso de revisión de literatura ha permitido soportar estos postulados presentados, así como definir las preguntas de investigación y el diseño metodológico que se desarrolla en los capítulos posteriores.

Implicaciones para la investigación: Esta parte constituye un primer paso en la definición del problema de investigación y la necesidad de abordar mayores estudios en el campo de la logística humanitaria. Igualmente, define los objetivos de la investigación que se abordan y desarrollan a lo largo de las partes II y III de esta tesis.

1. Capítulo primero: Introducción

El propósito principal de este capítulo es compartir los elementos principales que sustentan el problema de investigación abordado en esta tesis, que se circunscribe en la logística humanitaria, y particularmente se enfoca tanto en la preparación para la respuesta a desastres como en la coordinación inter-organizacional. Del mismo modo, se esquematiza el diseño metodológico con base en la sistematización del diseño general de la investigación, cuya ejecución y desarrollo han conllevado a la estructuración del presente manuscrito de tesis doctoral.

1.1 Descripción del problema de investigación

El incremento del número de desastres a nivel mundial ha develado la necesidad de mejorar la planeación y las operaciones de las agencias responsables en la gestión de desastres; considerando también el creciente interés desde el sector académico por abordar y profundizar en estos temas (Ransikarbum y Mason, 2014). El incremento en el número de amenazas globales, en términos de la degradación ambiental, el crecimiento exponencial de la población mundial y los procesos de urbanización masiva, así como los asuntos de seguridad alimentaria, el acceso al agua y a otros recursos vitales, han generado una preocupación global por suplir las necesidades y demandas de la humanidad y del planeta (OCHA, 2012).

En las últimas décadas, la logística humanitaria ha surgido como área emergente del conocimiento. Esta engloba la gestión de los procesos relacionados con el aprovisionamiento, almacenamiento, distribución y coordinación de personas, bienes (como alimentos, agua potable, medicamentos y refugio), equipos y servicios necesarios para atender a las comunidades víctimas de un desastre (Mohan et al., 2013; Day, 2014; Sharif y Salari, 2015). En este sentido, Day et al. (2012) han definido la cadena logística humanitaria como el sistema responsable de gestionar los procesos logísticos necesarios para hacer frente a los desastres, así como la evaluación, integración y coordinación de las operaciones realizadas por los distintos sectores involucrados.

Teniendo que el campo de acción de la logística humanitaria enmarca los momentos antes, durante y después de los fenómenos de desastre (como lo sugieren Kovács y Spens, 2007; Rodon et al., 2012; Swanson y Smith, 2013; Day, 2014; Sheu y Pan, 2015), autores como Ozguven y Ozbay (2015) señalan que la preparación es quizás la etapa más importante

en la logística humanitaria, considerando que el éxito en la gestión de desastres depende de una preparación apropiada, que se refleje en la disminución de redundancias operacionales, la duplicación de esfuerzos y el desperdicio de recursos cuando se necesite atender una situación de este tipo (Davis et al., 2013; Osorio-Ramírez, 2016; Ganguly et al., 2017; Timperio et al., 2017). En esta línea, Van Wassenhove (2006) y Charles y Lauras (2011) sostienen que el éxito de la atención a los desastres no es un resultado espontáneo, puesto que la respuesta debe ser planeada y preparada para que pueda ser efectiva. Además, Kunz et al. (2014) y Rodríguez-Espíndola y Gaytán (2015) resaltan la necesidad de incrementar los esfuerzos investigativos hacia la preparación para los desastres. Con esto, se resalta la necesidad de realizar más investigación enmarcada en la fase de preparación a los desastres.

Los procesos involucrados en la preparación para los desastres se ven condicionados a un alto nivel de incertidumbre, puesto que no hay claridad de cuándo ocurrirá el próximo desastre, cuántas personas resultarán afectadas, qué infraestructura resultará averiada, y qué otros obstáculos podrán generarse (Heaslip et al., 2012; Paul y MacDonald, 2016). Otras dificultades durante la fase de preparación están relacionadas con la baja capacidad en transporte, seguridad, logística y planeación, por parte de las organizaciones responsables (Heaslip et al., 2012), sumado a la continua preocupación por obtener recursos financieros para cubrir la ejecución de los planes y procesos durante esta fase (Van Wassenhove, 2006; Jahre et al., 2015; Anjomshoe et al., 2017). En definitiva, estas condiciones generan una situación problemática de alta complejidad. Por estos motivos, es que el sector académico debe propender por mejores alternativas, realistas y complejas, que reflejen ciertamente los aspectos inherentes de la logística humanitaria (Anaya-Arenas et al., 2014); y que, además, estén dirigidos al desarrollo de capacidades conjuntas para la toma de decisiones y el mejoramiento de los procesos de planificación y preparación para la respuesta (Barbarosoğlu y Arda, 2004).

Cozzolino (2012) clasifica a los actores involucrados en el entorno humanitario así: gobiernos, sector militar, agencias humanitarias, organizaciones no gubernamentales (ONG), sector privado y donantes. En este sentido, Kovács y Spens (2007) sostienen que los actores locales son los principales responsables de desarrollar los planes de respuesta y los procesos de preparación, considerando que el gobierno local tiene la responsabilidad de liderar la acción humanitaria, mientras que las organizaciones locales tienen la ventaja de conocer su propio territorio, máxime cuando las fuentes de recursos y de aprovisionamiento durante la preparación son principalmente de carácter local (Vega y Roussat, 2015; John y Ramesh, 2016; Sahebi et al., 2017; Regis-Hernández et al., 2017). Las relaciones inter-sectoriales resultan esenciales durante la preparación (Kaneberg, 2017), ya que los planes de emergencia deben considerar la participación de los diferentes sectores, para asimilar las distintas condiciones del contexto local, permitiéndoles ser facilitadores de la coordinación inter-organizacional (Rodríguez-Espíndola et al., 2018a).

Según lo expresado en Akhtar et al. (2012), el propósito de la coordinación en la logística humanitaria es mejorar la efectividad de los procesos y la capacidad de respuesta a los

desastres. La coordinación durante la preparación facilita la definición de objetivos comunes, el fortalecimiento de las capacidades logísticas, así como el incremento de la cobertura en las regiones, para reducir el impacto de futuros eventos de desastre (Schulz y Blecken, 2010; Day et al., 2012). Pese a que la coordinación se considera un factor esencial de la cadena logística, sigue siendo uno de los mayores retos en el ámbito humanitario (Akhtar et al., 2012; Baldini et al., 2012).

Por lo antedicho, la coordinación en el contexto humanitario ha generado un interés importante desde los sectores académico y práctico (Cozzolino et al., 2017). Empero, el problema de la coordinación perdura como una de las áreas de mayor desafío y complejidad (Tatham et al., 2017). Las condiciones inherentes en los escenarios de desastre han contribuido a la falta de trabajo en equipo e integración en la acción humanitaria (Nikbakhsh y Farahani, 2011; Eftekhari et al., 2017). De hecho, y según lo argumentado por Jensen y Hertz (2016), aún no existe un marco consistente de la preparación, que presente el cómo deben relacionarse los distintos actores. Mientras que Jahre et al. (2016) sostienen que aún no hay una comprensión unificada de las organizaciones hacia la etapa de preparación, ni de cómo esta debe distribuirse y organizarse; lo cual genera una baja visibilidad, conocimiento y apropiación de la preparación logística. En consecuencia, partiendo de la complejidad en la planeación y preparación para la respuesta a los desastres –junto con las realidades propias de cada región–, el enfoque y pensamiento de sistemas aparece como alternativa apropiada y factible para la gestión de la cadena logística humanitaria durante esta fase (Klumpp et al., 2015).

Con base en los planteamientos descritos, y considerando la preeminencia que poseen los procesos de preparación y la coordinación inter-organizacional en el ámbito humanitario, se ha identificado una posibilidad de hacer investigación dirigida al estudio de los sistemas conformados por los actores locales durante la fase de preparación, considerando los procesos logísticos que se llevan a cabo, y asumiendo cómo deben inter-relacionarse los actores para obtener un mejoramiento en la coordinación y en el desempeño global del sistema logístico local de preparación para los desastres.

1.1.1 Justificación de la investigación

Las consideraciones académicas y teóricas de la investigación se centran en la situación problemática definida anteriormente, en función del sistema que se compone por actores locales, funciones, procesos e inter-relaciones involucrados en la preparación logística de desastres. Mediante las estrategias de diseño, modelación y simulación (que asumen el enfoque sistémico), se busca llegar al planteamiento de mecanismos de coordinación inter-organizacional para los actores locales clave involucrados en el sistema logístico de preparación para los desastres. Con base en lo propuesto por Díaz y Olaya (2017), el diseño y gestión de los sistemas desde la perspectiva de la Ingeniería, promueve que los sistemas complejos sean estudiados y analizados desde sus partes como un todo funcional, buscando diseñar nuevas configuraciones que soporten la toma de decisiones

conjuntas. Así, la importancia del proyecto se centra en la formulación del cómo deben ser los mecanismos y estrategias de coordinación de los actores inmersos en el sistema logístico durante la preparación para la respuesta a desastres naturales, considerando las inter-relaciones de los diversos sectores, sus roles y funciones particulares.

La investigación presentada en este documento resulta de interés para las organizaciones del sector real que hacen parte del ámbito local, ya que, con base en la información obtenida de un trabajo de campo, enfocado en un caso colombiano, la validación del sistema modelado propuesto podrá conllevar a la toma de decisiones estratégicas y al planteamiento de políticas que mejoren la integración y coordinación inter-organizacional de los actores responsables de los procesos logísticos durante la fase de preparación. Con ello se busca que la formulación de escenarios –que representen la estructura del sistema local de actores involucrados en la preparación– se conciba como un marco de referencia para la configuración de la cadena logística de preparación, y que además (de acuerdo con las pretensiones de la investigación) sea aplicable y replicable en diferentes contextos y en otros ámbitos geográficos.

Por otro lado, Goldman (2017) sostiene que el papel de la Ingeniería se potencia y es valioso cuando se diseñan, proponen y aportan modelos para la resolución de problemas estratégicos en un contexto social. En esta línea, es conveniente compartir lo expresado por la UNESCO hace unos años. En el informe *Ingeniería: problemas, desafíos y oportunidades para el desarrollo*, se exhorta la función de la Ingeniería hacia la entrega de productos y servicios para un mayor beneficio de la sociedad, y en especial en los países no desarrollados. En el informe citado se reconoce el rol crítico de la Ingeniería respecto a los grandes desafíos que enfrentan las sociedades a nivel mundial, entre los que se encuentran el acceso integral a la salud, los asuntos de energía, transporte, cambio climático, agua potable, reducción del riesgo y gestión de desastres, protección ambiental y gestión de recursos naturales, de manera que las contribuciones particulares desde la disciplina se enfoquen en el desarrollo sostenible de la humanidad (UNESCO, 2010). En este sentido, el proyecto que se plasma en este manuscrito supone no solo una contribución al conocimiento, sino también un proceso de relevancia e impacto social, de modo que, con un mejor desempeño organizacional y sistémico, los actores responsables del manejo de desastres propendan por una mejor atención, cobertura y servicio efectivo a las comunidades que hoy subsisten en condiciones de mayor vulnerabilidad.

1.2 Preguntas de investigación

Una vez descrito el problema de investigación que se aborda en esta tesis, junto con las motivaciones y justificaciones del quehacer investigativo, a continuación se formula la pregunta general de investigación, a la que a través del desarrollo metodológico se ha pretendido dar respuesta:

¿Cómo deben ser implementados mecanismos de coordinación en el sistema conformado por los actores locales clave, considerando sus funciones e inter-relaciones, de manera que permitan mejorar el desempeño de la cadena logística humanitaria durante los procesos de preparación de emergencias y desastres?

Al abordar y desglosar –es decir, sistematizar– la pregunta general de investigación, se logra formular el siguiente listado de sub-preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son los actores locales, sus funciones e inter-relaciones, que están involucrados en los procesos logísticos que se llevan a cabo durante la fase de preparación para los desastres?
- ¿Cuáles son los actores locales clave y los procesos logísticos críticos en la fase de preparación para la atención de emergencias y desastres?
- ¿Cómo diseñar un modelo de simulación para el sistema local de actores que permita evaluar el desempeño de los actores locales clave durante la preparación para los desastres?
- ¿Qué mecanismos de coordinación pueden ser aplicables en el modelo de simulación, de modo que permita mejorar el desempeño del sistema logístico de preparación de emergencias y desastres?

1.3 Hipótesis de la investigación

Con base en lo expuesto en los apartados anteriores (es decir, en consideración del problema de investigación junto con las preguntas de investigación), se ha planteado lo siguiente como la hipótesis general de esta investigación:

La implementación de mecanismos de coordinación en el sistema conformado por los actores locales clave, considerando sus funciones e inter-relaciones, permitirá mejorar el desempeño de la cadena logística humanitaria durante los procesos de preparación de emergencias y desastres.

La formulación de esta hipótesis implica la consideración de unos factores que influyen en la coordinación inter-organizacional y que han sido definidos desde la literatura especializada, entre los cuales se encuentran los siguientes: el número y diversidad de actores, sus propias capacidades organizacionales, los procesos de comunicación, mecanismos y estrategias implementadas para poder compartir información; y, así mismo, de cómo una mejor coordinación puede contribuir a la reducción de costos, lograr mayor flexibilidad, agilidad y alineación de las organizaciones involucradas, sumado a un mejor desempeño, mayor equidad en la atención de las comunidades, y, finalmente, a proteger y salvaguardar más vidas (Balcik et al., 2010; Akhtar et al., 2012; Cozzolino, 2012).

1.4 Sistema de objetivos

Guardando concordancia y coherencia con lo expuesto en las secciones 1.1., 1.2. y 1.3. del presente capítulo, se ha determinado un objetivo general de investigación, el cual se ha establecido como sigue:

Proponer mecanismos de coordinación en el sistema conformado por los actores locales clave, considerando sus funciones e inter-relaciones, de manera que permitan mejorar el desempeño de la cadena logística humanitaria durante los procesos de preparación de emergencias y desastres.

Basados en el objetivo general –y en línea con las preguntas de investigación planteadas anteriormente–, se han definido como objetivos específicos de la investigación, los siguientes:

- Identificar los actores locales, sus funciones e inter-relaciones, que están involucrados en los procesos logísticos que se llevan a cabo durante la fase de preparación para los desastres.
- Determinar los actores locales clave y los procesos logísticos críticos en la fase de preparación para la atención de emergencias y desastres.
- Diseñar un modelo de simulación para el sistema local de actores que permita evaluar el desempeño de los actores locales clave durante la preparación para los desastres.
- Identificar mecanismos de coordinación que puedan aplicarse al modelo de simulación, de modo que permitan mejorar el desempeño del sistema logístico de preparación de emergencias y desastres.

1.5 Diseño metodológico de la investigación

1.5.1 Metodologías aplicadas en la investigación

Con el propósito de dar cumplimiento a los objetivos del proyecto investigativo, se ha definido la estrategia metodológica que se describe a continuación.

De cara al primer objetivo específico, la revisión de literatura se ha llevado a cabo a fin de identificar actores locales, relaciones, procesos logísticos, así como los indicadores que permiten evaluar el efecto de la coordinación –en términos de costos, flexibilidad, agilidad y alineación– en la preparación para los desastres. Las fuentes principales de esta revisión han sido las bases de corriente principal, como *Web of Science*, *Scopus*, *Science Direct*.

Posteriormente, la selección de los actores locales clave, los procesos logísticos de preparación, las relaciones más importantes, y los indicadores de desempeño de mayor relevancia, se pudo llevar a cabo mediante un proceso de análisis de expertos, que permitió asignar una jerarquización de alternativas de acuerdo con el criterio u opinión de

un conjunto de investigadores y expertos académicos consultados (Hernández-Sampieri et al., 2014; Singh, 2016). El mecanismo para determinar la selección de expertos fue concordante con métodos utilizados en la literatura. Este proceso implicó la inclusión y participación de personas expertas del ámbito académico-teórico en logística humanitaria.

Una vez alcanzada la identificación de los principales componentes del sistema logístico de preparación para la atención de desastres –hecha a partir de la teoría y de expertos académicos–, se adelantó un estudio de campo basado en un caso particular, que corresponde al municipio de Manizales, en Colombia. A partir del análisis de este caso colombiano, la información ofrecida por las organizaciones involucradas en los procesos de gestión del riesgo de desastres en este municipio, a través de una serie de entrevistas, el sistema de actores locales y procesos ha sido identificado y luego modelado en computadora a partir del diseño de un modelo conceptual. Con estos avances, se procedió con un estudio de simulación que permite contemplar y visualizar distintas alternativas, diversos escenarios, que conllevan a visualizar cómo, a través de una mejor estructuración del sistema, un mejor uso de los recursos disponibles y la asimilación de mecanismos de coordinación inter-organizacional, los actores locales involucrados mejoran el desempeño en cumplimiento de los procesos logísticos en el marco de la etapa de preparación.

El diseño de alternativas ha permitido validar el impacto de la implementación de mecanismos de coordinación en el desempeño, con el uso de la modelación y simulación basada en agentes (ABMS, por sus siglas en inglés), la cual reconoce que un sistema complejo es resultado de los comportamientos individuales y de las interacciones que se dan entre los actores y elementos involucrados en el sistema (Borshchev y Filippov, 2004; Izquierdo et al., 2008). Además, ABMS se caracteriza por establecer una correspondencia directa entre las entidades reales y los agentes modelados, así como de sus interacciones (Galán, 2007), lo que ofrece mayor rigor científico y realismo en las representaciones elaboradas (Galán, 2007; Izquierdo et al., 2008). Basados en estas consideraciones, se ha planteado la evaluación del modelo conceptual y del modelo de simulación a partir del estudio de un caso particular y llegar a resultados que corroboran la hipótesis de investigación definida en este trabajo.

En términos gráficos, se ha estructurado la figura 1.1 que busca una representación esquemática y procedimental del diseño metodológico que desarrolló rigurosamente esta investigación.

1.5.2 Enfoque metodológico la investigación

Con base en lo descrito en párrafos anteriores, el proyecto de investigación ha presentado un enfoque mixto. Lo desarrollado a lo largo de las actividades incluidas en esta tesis, implicó un ir y venir a través de dos corrientes principales para la investigación: el enfoque cualitativo y el enfoque cuantitativo. En Hernández-Sampieri et al. (2014) se sostiene la importancia de desarrollar investigación mixta; mientras que Golicic et al. (2005) y Seuring et al. (2005) justifican la necesidad de realizar investigación en los campos de la logística

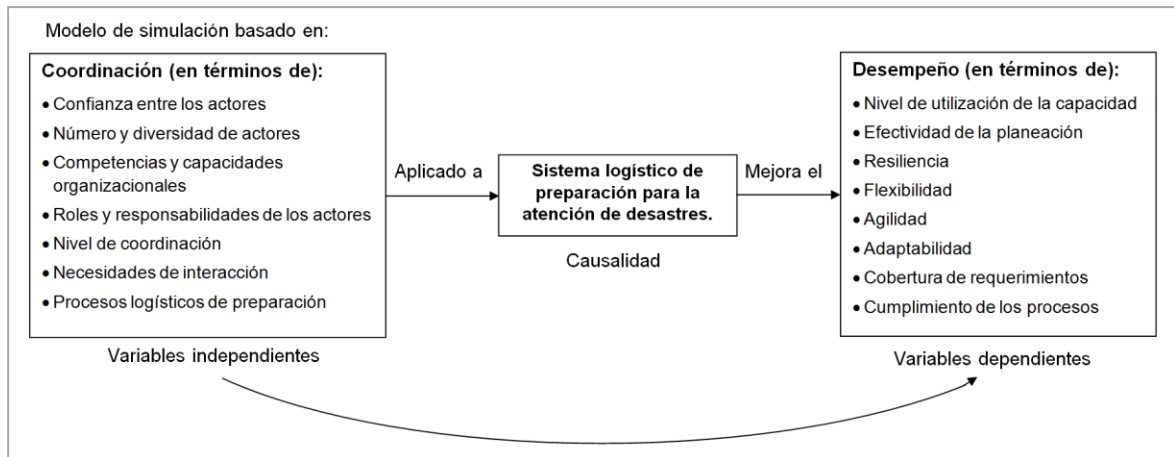
y la gestión de cadenas de abastecimiento (SCM, por sus siglas en inglés) a partir de la combinación de ambos enfoques investigativos.

Figura 1.1. Estrategia metodológica para la investigación.



La complementariedad de las técnicas cualitativas aplicadas en esta investigación (particularmente, el estudio de expertos –que se ejecutó a través de encuestas–, y el trabajo de campo –cuyo soporte instrumental fue la entrevista semi-estructurada–), se sustenta en la necesidad de obtener información confiable para alimentar el modelo de simulación diseñado en la investigación a fin de dar cumplimiento a los objetivos propuestos. De otro lado, en términos cuantitativos, técnicas estadísticas se han aplicado para soportar los resultados de la modelación computacional; así como el proceso de validación que respalda el diseño del modelo de simulación. Lo anterior, con la intención de delimitar el alcance de los propósitos definidos y de la metodología desarrollada para la investigación.

Hernández-Sampieri et al. (2014) establecen que el alcance de una investigación puede ser de tipo exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. En este sentido, y asumiendo los objetivos y el diseño metodológico de la investigación, el estudio se ha circunscrito en un alcance correlacional, dado que este proyecto propendió por el estudio de variables dependientes e independientes, como se muestra en la figura 1.2. De estas variables, el nivel de asociación más pertinente será definido para obtener mejores indicadores de desempeño. Lo anterior, a fin de analizar el desempeño del sistema constituido por los actores locales que participan en los procesos logísticos de preparación, a partir de la implementación de mecanismos de coordinación inter-organizacional.

Figura 1.2. Relación de causalidad entre los factores considerados en la investigación.

Fuente: Elaboración propia a partir de los aportes de Hernández-Sampieri et al. (2014).

Resulta evidente que el uso de distintas variables en un modelo de simulación conlleva a una medición y cuantificación de estas (sean dependientes o independientes). Asimismo, es menester determinar cómo las variables resultan inter-relacionadas. Por lo cual, el análisis estadístico se ha enfocado en soportar el modo en que los escenarios alternativos propuestos, al implementar distintos mecanismos de coordinación, logran presentar mejoras significativas en el desempeño del sistema logístico de preparación para la atención de emergencias y desastres (de acuerdo con la hipótesis de investigación definida en la sección 1.3.).

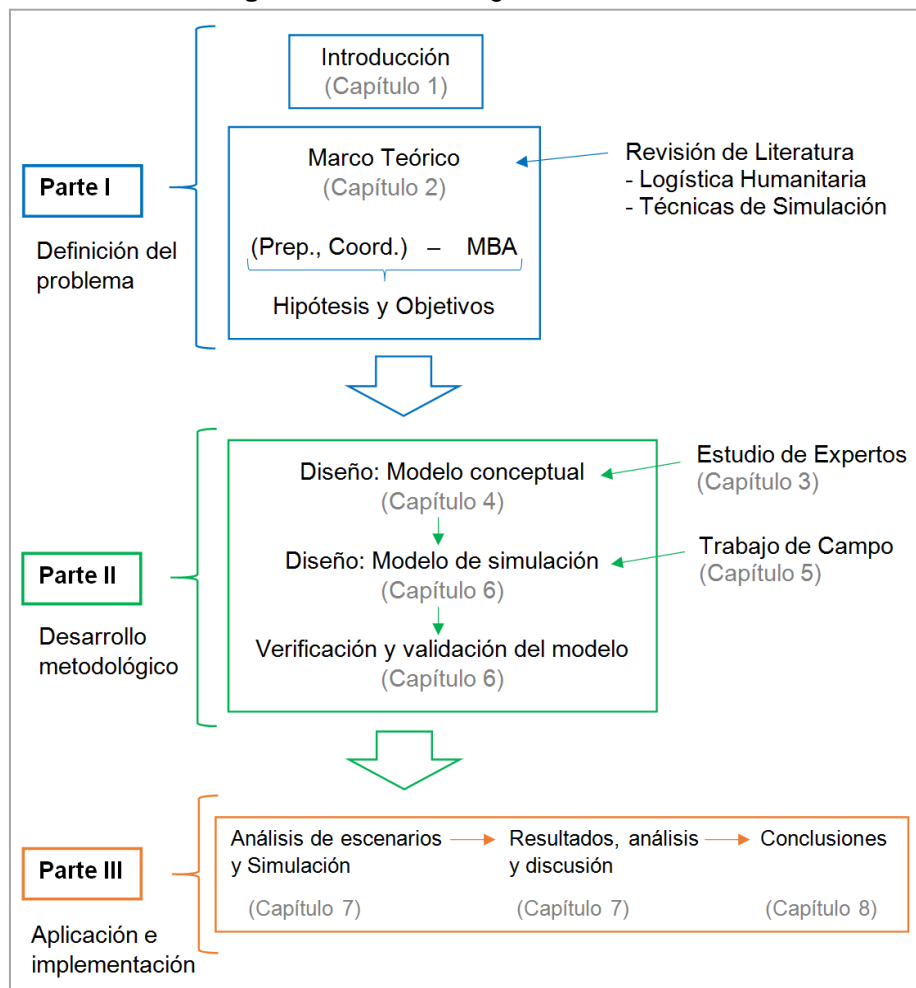
1.5.3 Estructura de la tesis

La tesis que en este manuscrito se presenta sigue la estructura que se muestra en la figura 1.3. Como se observa, la tesis se ha dividido en tres secciones principales, las cuales buscan una línea principal conductora que enmarca, en primer lugar, el planteamiento del problema de investigación abordado. Luego, se tiene el desarrollo de la metodología de investigación en coherencia con la hipótesis y los objetivos definidos para la investigación. Y, en tercer lugar, aparecen los elementos de discusión, análisis y aspectos concluyentes que se han obtenido a lo largo del proyecto desarrollado.

La organización específica de este manuscrito se ha dispuesto de la siguiente manera: en el capítulo 2 se presenta el marco teórico de la investigación, donde se resaltan los vacíos de conocimiento y se sustenta –y exhorta– el problema de la investigación. La parte II contiene cuatro capítulos que demarcan el desarrollo metodológico, partiendo de la revisión de la literatura y el estudio de expertos, que se describen en el capítulo 3; mientras que en el capítulo 4 se describe el diseño conceptual del modelo basado en agentes. El capítulo 5 destina su contenido a la descripción del trabajo de campo realizado en el objeto de trabajo definido para la investigación. El capítulo 6 contiene el proceso de diseño adelantado para la implementación del modelo de simulación, junto con los procesos de verificación y validación. Finalmente, la parte III contiene la generación de escenarios a

partir de la consideración de diversos mecanismos de coordinación, a fin de llevar a cabo el estudio de simulación, junto con los elementos de análisis y discusión de resultados. Todo ello se presenta en el capítulo 7. Por último, el capítulo 8 se dedica a concluir el trabajo de investigación, compartiendo también la demarcación de líneas de trabajo suscitadas a partir de lo discernido en esta tesis doctoral.

Figura 1.3. Estructura general de la tesis.



2. Capítulo segundo: Marco teórico

El propósito de este capítulo es presentar los conceptos y desarrollos teóricos relacionados con el problema de investigación de esta tesis: la logística humanitaria, la preparación para la respuesta a desastres, la cadena logística humanitaria y la coordinación inter-organizacional. Posteriormente, se exponen distintos enfoques y paradigmas de modelación para el análisis de sistemas complejos que pueden aplicarse en la resolución de problemas de la logística humanitaria, así como en la coordinación en los procesos logísticos de durante la etapa de preparación. Se espera con ello argumentar la necesidad de la investigación y la justificación de la hipótesis propuesta en el capítulo anterior, que en capítulos posteriores será sometida a prueba.

2.1 La logística humanitaria desde un enfoque de procesos

Conceptualmente Baldini et al. (2012) definen la logística humanitaria como la gestión logística de las operaciones realizadas para la atención de desastres. Su función se centra en el aprovisionamiento, almacenamiento, transporte, distribución y coordinación de personas, bienes físicos (como alimentos, agua, medicinas, albergues), equipos y servicios requeridos para atender a la población afectada por los desastres (Mohan et al., 2013; Day, 2014; Sharif y Salari, 2015; Smadi et al., 2018). El principal objetivo es la entrega efectiva de ayudas y suministros humanitarios que logren reducir las muertes y el sufrimiento de las personas (Balcik y Beamon, 2008; Hasanzadeh y Bashiri, 2016). El campo de la logística humanitaria se ha consolidado debido al incremento en la frecuencia e impacto de los desastres naturales a nivel mundial durante los últimos años, lo cual, ha conllevado a generar conciencia respecto a la necesidad de mejorar los procesos de planificación y operación por parte de las agencias de respuesta y del sector académico (Afshar y Haghani, 2012; Ransikarbum y Mason, 2014).

Partiendo de la necesidad de contextualizar y enmarcar el foco de la investigación, esta sección se ha estructurado con el fin de describir las distintas aristas que se han desarrollado, a nivel teórico, en la logística humanitaria. Se tienen en cuenta las diferentes taxonomías de los desastres, la relación entre la logística humanitaria y la gestión del riesgo de desastres, las distintas fases que comprende la gestión de desastres y el papel

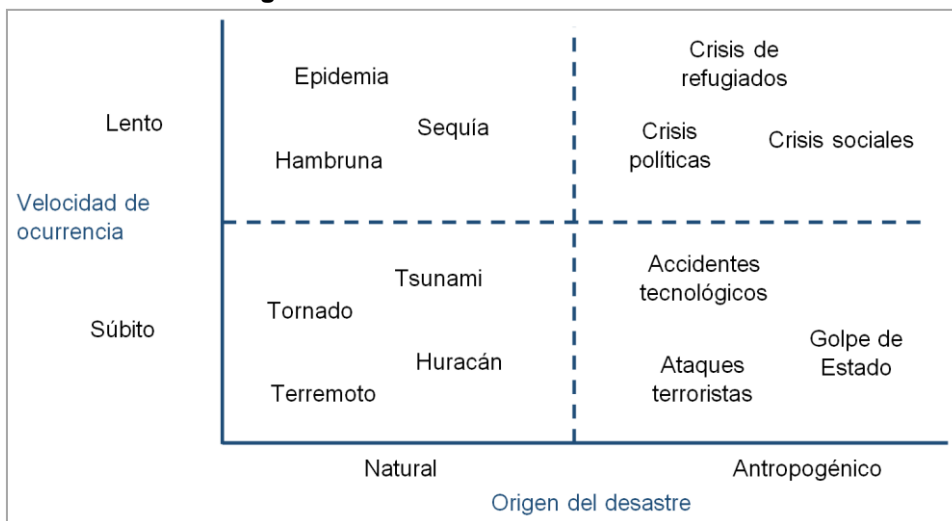
fundamental de la preparación de los desastres, al igual que los procesos logísticos de preparación y la medición del desempeño en el sector humanitario.

2.1.1 Taxonomía de los desastres

Los desastres se consideran una ruptura severa de una comunidad o sociedad, que causan un gran impacto en las personas, infraestructura y el medio ambiente, y cuya respuesta excede las capacidades locales para atender estos fenómenos (UNISDR, 2004; Hadiguna et al., 2014). Típicamente se han mostrado dos maneras de clasificar los desastres, bien sea por la naturaleza u origen de los desastres, o bien en función de la rapidez con que estos eventos ocurren (Kovács y Spens, 2009; Day et al., 2012).

En función de su origen, los desastres pueden ser naturales (como los terremotos, tsunamis, inundaciones, huracanes, tornados, erupciones volcánicas, etc.), o antropogénicos, es decir, los causados por la acción humana (conflictos armados, terrorismo, accidentes con materiales peligrosos, accidentes tecnológicos, etc.) (Hoyos et al., 2015; Sharif y Salari, 2015; Yadav y Barve, 2015). En relación con la velocidad de ocurrencia, los desastres pueden ocurrir de manera súbita (como los terremotos y ataques terroristas), o pueden generarse lenta y paulatinamente en el tiempo (por ejemplo, las sequías y crisis sociales) (Kovács y Spens, 2009). La figura 2.1, que se ve a continuación, expresa gráficamente la manera en que se clasifican los desastres de acuerdo con las dos variables descritas.

Figura 2.1. Clasificación de los desastres.



Fuente: Adaptado de Kovács y Spens (2009), y Day et al. (2012).

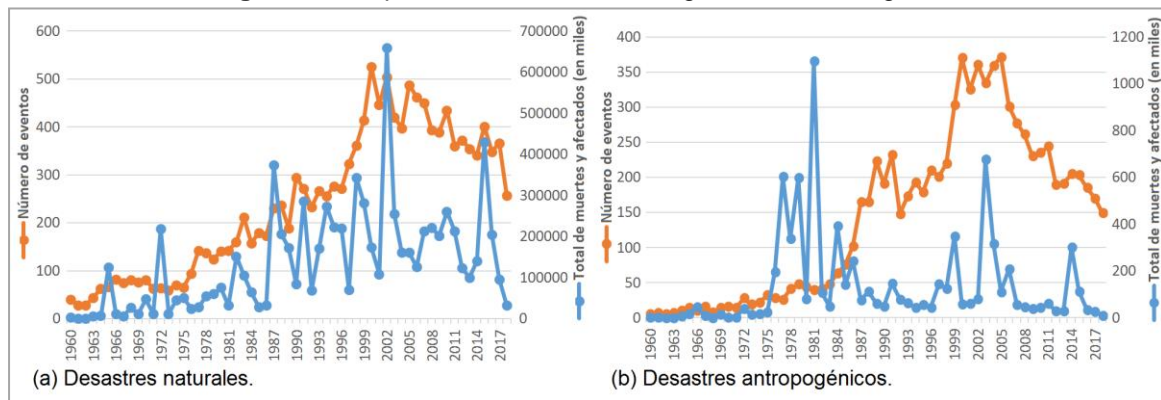
Besiou et al. (2011) y Kovács y Moshtari (2019) argumentan además que los desastres pueden presentar un comportamiento periódico o cíclico –como los huracanes, las inundaciones o las sequías–, de acuerdo con patrones estacionarios o geológicos. Por esta razón, la acción humanitaria se divide entre programas de ayuda –más adecuados

para socorrer eventos súbitos–, y los programas humanitarios de desarrollo, que conciernen a fenómenos prolongados y que perduran por más tiempo (Besiou et al., 2011).

En términos estadísticos, la Federación Internacional de la Cruz Roja sostiene que los mayores desastres y catástrofes son aquellos que reciben la mayor atención mediática, mientras que los desastres de mediana y pequeña escala representan alrededor de un 80% de todos los desastres registrados a nivel mundial. Además, el impacto combinado de los medianos y pequeños eventos, en cuanto a víctimas mortales, resulta comparable con los mayores desastres registrados en los últimos tiempos (IFRC, 2012). Con base en estos indicadores, un primer alcance en la delimitación de este proyecto investigativo se define en lo concerniente a los eventos de desastre de mediana o pequeña escala, como lo son las emergencias de carácter local.

A partir de lo anterior, es pertinente el análisis del impacto generado por los desastres ocurridos a nivel mundial, en función de la naturaleza y origen de dichos fenómenos. Para este propósito, se han diseñado las figuras 2.2 y 2.3, que se muestran y describen a continuación.

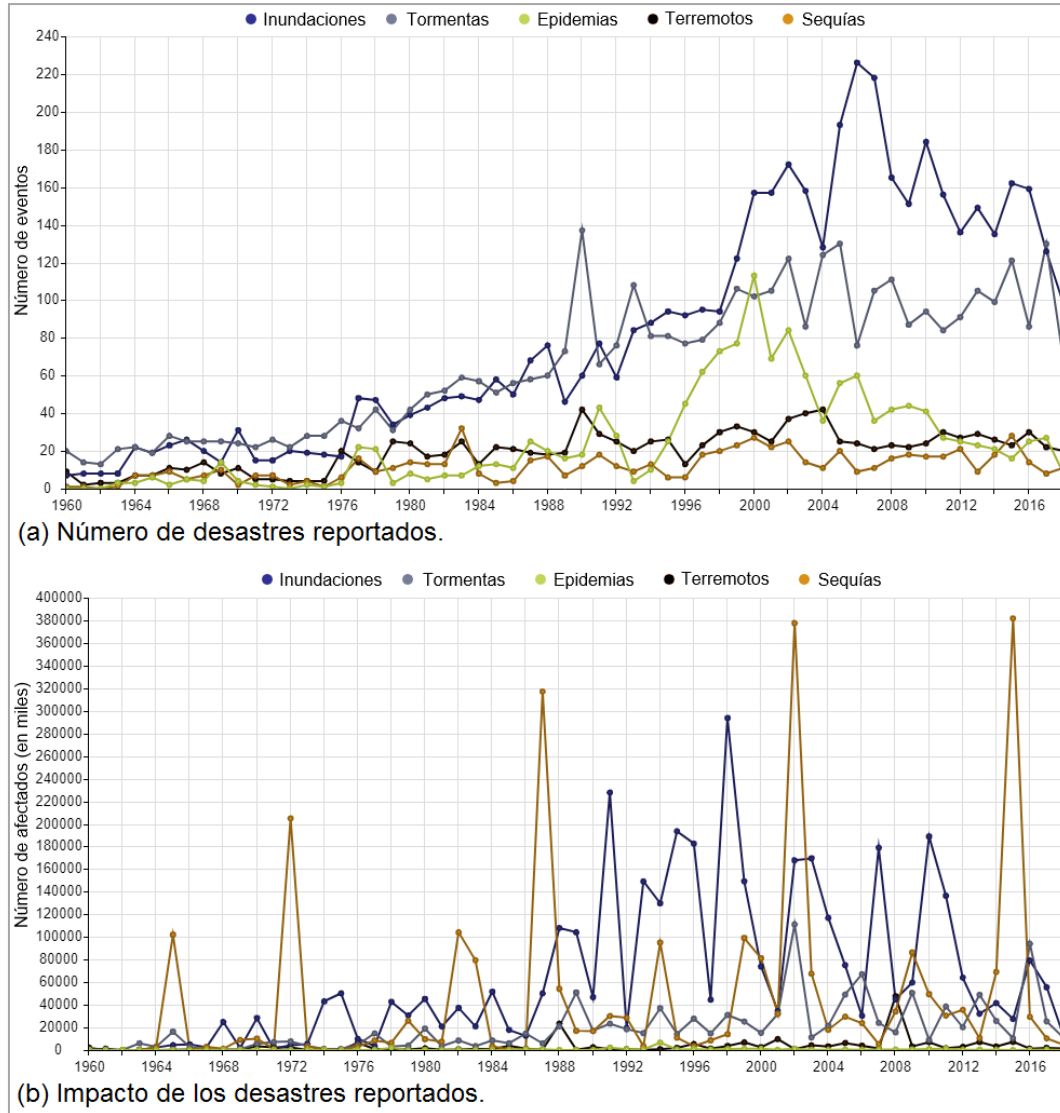
Figura 2.2. Impacto de los desastres registrados a nivel global.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de EM-DAT (2018).

Como se observa en la figura 2.2, es evidente el crecimiento tanto de los fenómenos naturales (figura 2.2a), como de los fenómenos antropogénicos (figura 2.2b), así como la cantidad de víctimas causadas por la ocurrencia de estos fenómenos durante los últimos cincuenta años. Por supuesto, tanto en frecuencia como en impacto, los desastres naturales han tenido un comportamiento incremental indiscutido. Entre otras cosas, esta tendencia se ha debido principalmente a dinámicas relacionadas con el crecimiento exponencial de la población mundial, los procesos de urbanización masiva, las dificultades para acceder a agua potable y los fenómenos de cambio climático (OCHA, 2012; Kimms y Maiwald, 2018; Chong et al., 2019).

Figura 2.3. Registro de desastres ocurridos según el tipo de fenómeno.



Fuente: Datos obtenidos de EM-DAT (2018).

De acuerdo con los tipos de desastres más recurrentes, en la figura 2.3a se refleja el crecimiento de los fenómenos naturales en los últimos tiempos y, en especial, aquellos de origen hidrometeorológico representan la mayor proporción de los desastres naturales registrados. Cabe señalar que dentro de los fenómenos hidrometeorológicos se encuentran las inundaciones (ya sean de causa fluvial o pluvial), las tormentas, avenidas torrenciales, avalanchas y deslizamientos (Yadav y Barve, 2015).

La figura 2.3b se ha diseñado para presentar el impacto de distintos tipos de desastres naturales. En esta figura se refleja el número de afectados causados por fenómenos de origen climático e hidrometeorológico, representando no solo su recurrencia sino también su alto impacto en la humanidad.

Se declara, en consecuencia, que el alcance de esta tesis se delimita respecto a los desastres naturales de origen hidrometeorológico, como las inundaciones, avenidas torrenciales y deslizamientos. Las razones de esta decisión se basan, en primer lugar, en que los fenómenos de origen hidrometeorológico representan el mayor número de ocurrencias y víctimas producidas; asimismo, poseen el mayor incremento porcentual en los últimos años (Rodríguez-Espíndola y Gaytán, 2015; Mejía-Argueta et al., 2018). En segundo lugar, estos desastres permiten mayor tiempo de reacción ya que son más fáciles de predecir, por lo que se convierten en sucesos adaptables al desarrollo de herramientas de preparación y previsión (Rodríguez-Espíndola et al., 2018a). En las siguientes secciones se describen los otros aspectos que han servido para la acotación del proyecto investigativo aquí presentado. Enseguida, se examina la forma en que se enmarca la logística humanitaria en la gestión de desastres.

2.1.2 La logística humanitaria en el marco de la gestión de desastres

Se describe la gestión del riesgo de desastres (GRD) como el conjunto de procesos encaminados al diseño, implementación y evaluación de estrategias, políticas y medidas para: (i) comprender el riesgo de desastres, (ii) fomentar la reducción del riesgo de desastres, y (iii) promover las prácticas de preparación, respuesta y recuperación de desastres; todo ello con el propósito de mejorar la calidad y el bienestar de la vida humana (IPCC, 2012). Esta concepción conlleva a asumir que la GRD reúne una serie de funciones y responsabilidades que deben ser asignadas entre los actores involucrados en este campo, como son los gobiernos, las instituciones públicas, el sector privado, las comunidades y el sector académico (UNISDR, 2015). La descripción de los sectores involucrados presentará con más detalle en la sección 2.2.2.

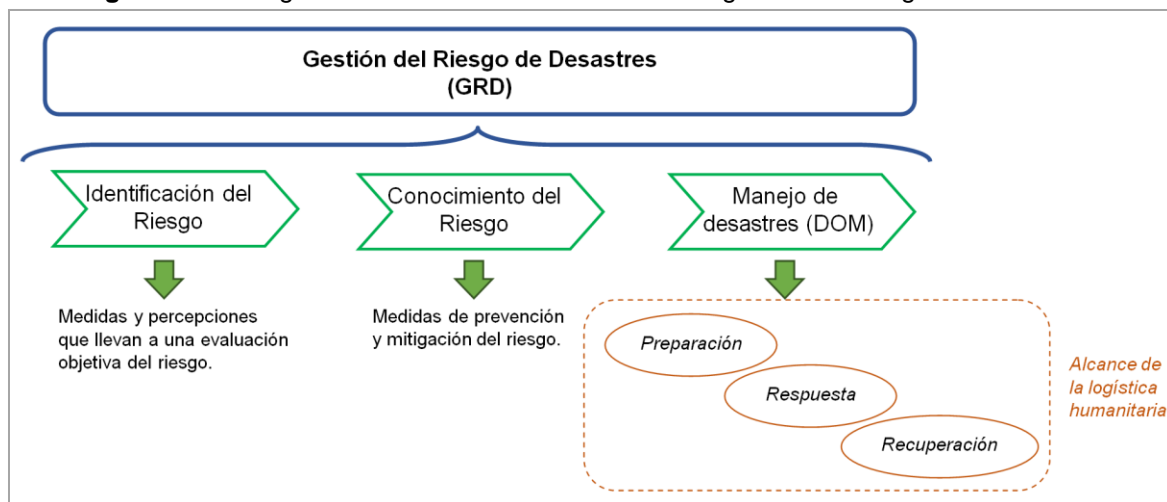
Cardona (2006) establece que las políticas de GRD se concentran en tres áreas principales: la identificación (conocimiento) del riesgo, la reducción (mitigación) del riesgo, y el manejo de desastres. La identificación del riesgo comprende las percepciones y medidas de las comunidades que llevan a una evaluación objetiva del riesgo en los territorios; mientras que la reducción del riesgo implica tanto las medidas de prevención como de mitigación del riesgo (Cardona, 2006). Por su parte, el manejo de desastres, o la gestión de las operaciones de desastres (DOM, por sus siglas en inglés), se define como el conjunto de procesos desarrollados antes, durante y después de los desastres a fin de reducir el impacto económico y la pérdida de vidas humanas, y busca el retorno de una comunidad a un estado de normalidad (Altay y Green, 2006; Powell et al., 2016; Rodríguez-Espíndola et al., 2018b).

Por su parte, la gestión logística de las operaciones de desastres, o logística humanitaria (Baldini et al., 2012), reúne los procesos de estimar, aprovisionar, almacenar, transportar, distribuir y coordinar los bienes físicos, equipos, personas y servicios, que son requeridos para la atención de las víctimas afectadas por los desastres (Mohan et al., 2013; Day, 2014; Sharif y Salari, 2015). En este sentido, se considera que el principal objetivo de la

logística humanitaria es la rápida entrega de las ayudas y suministros necesarios para reducir las muertes y el sufrimiento humano (Balcik y Beamon, 2008; Hasanzadeh y Bashiri, 2016).

Se puede establecer la conexidad entre la logística humanitaria y la gestión de operaciones de desastres, y de cómo ambos resultan enmarcados en el campo global de la gestión del riesgo de desastres, tal como se muestra en la figura 2.4. Con lo que se resuelve hasta aquí que el ámbito de este proyecto de investigación se limita a los procesos logísticos relacionados con el manejo de desastres (véase la sección 2.1.5.).

Figura 2.4. La logística humanitaria en el marco de la gestión del riesgo de desastres.



Fuente: Elaborado con base en los aportes de Cardona (2006), Altay y Green (2006), y Cozzolino (2012).

Adicionalmente, cada fase de la logística humanitaria –ya sea *ex ante* a la ocurrencia del desastre, como *ex post* al desastre–, está relacionada a distintas operaciones logísticas y depende del tipo de desastre, lo cual implica que diferentes capacidades y recursos deben gestionarse a través de las distintas fases de la gestión de desastres (Kovács y Spens, 2007; Heaslip et al., 2012; Banomyong y Julagasigorn, 2017). La siguiente sección se encarga de describir las etapas o fases de la logística humanitaria.

2.1.3 Etapas que componen la logística humanitaria

La importancia de la función logística en el manejo de desastres se exagera con base en lo expuesto por académicos como Rolando Tomasini y Luk Van Wassenhove, para quienes las operaciones logísticas representan cerca del 80% en el manejo de los desastres (Van Wassenhove, 2006; Tomasini y Van Wassenhove, 2009). Por tanto, aspectos decisionales relacionados con la localización, el almacenamiento y el transporte en un contexto de desastre, han atraído no solo el interés del sector práctico y real, sino también por especialistas e investigadores del sector académico, lo cual ha impulsado el surgimiento y

consolidación de la corriente investigativa denominada logística humanitaria (Afsar et al., 2014).

El alcance logístico en el ámbito humanitario se enmarca en las tres etapas del manejo de desastres. Así, las etapas de la logística humanitaria son: preparación, respuesta y recuperación (Kovács y Spens, 2007 y 2009). La razón de excluir la mitigación del alcance logístico en la gestión de desastres estriba en el hecho de que durante esta fase, el principal objetivo está dirigido al desarrollo de leyes y mecanismos políticos que proceden de responsabilidades inherentes a los gobiernos, y que además poseen un carácter estrictamente institucional, por cuanto el involucramiento de los expertos en logística no sea del todo directo en la mitigación (Tomasini y Van Wassenhove, 2009; Cozzolino, 2012; Jahre et al., 2015; Marcinkowski, 2017). En adición, un aporte que ayuda a marcar diferencia entre las etapas de mitigación y preparación lo expone el profesor Yossi Sheffi, para quien la mitigación reúne los proyectos encaminados a reducir la probabilidad de ocurrencia de los desastres, es decir, *el fin de la mitigación es minimizar el riesgo a cero*; mientras que la preparación reconoce la inexorabilidad de la ocurrencia de los desastres y su afectación a los sistemas sociales, esto es, *una vez comprendida la imposibilidad de reducir el riesgo a cero, se debe preparar a una comunidad para enfrentar el evento adverso* (Sheffi, 2015).

Con base en la anterior delimitación, en los párrafos siguientes se hará una descripción *grosso modo* e individualizada de las etapas o fases de la logística humanitaria.

La preparación

Esta etapa se desarrolla previa y anticipadamente a la ocurrencia de los desastres. La preparación es uno de los principales pilares de esta tesis, y engloba las estrategias desarrolladas que permiten responder a las emergencias de forma exitosa (Cotes y Cantillo, 2019). Esta fase incluye todos los procesos desarrollados por las comunidades, gobiernos locales y otras organizaciones, de forma prospectiva, para reducir el impacto generado por los desastres (Kunz et al., 2014; Marcinkowski, 2017). En esencia, durante la preparación se diseñan los planes de acción y de respuesta a partir de la consideración de distintos escenarios posibles (Kumar y Havey, 2013).

La respuesta

La fase de respuesta comienza inmediatamente luego de que el desastre ha acaecido, a través de las siguientes actividades generales: búsqueda y rescate de sobrevivientes, la obtención de información relacionada con el estado de la zona impactada, el establecimiento de rutas de evacuación de heridos, y la distribución de la ayuda humanitaria en la zona de desastre (Holguín-Veras et al., 2013; Chong et al., 2019). Se considera que las primeras 72 horas posteriores al desastre son críticas para lograr asistir a las víctimas en el área afectada (Liu y Guo, 2014; Diedrichs et al., 2016). De

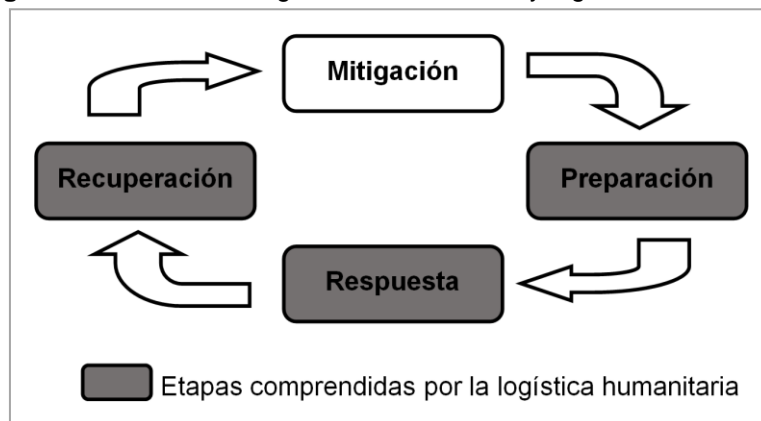
acuerdo con Altay y Green (2006), el principal desafío de la respuesta es localizar, coordinar y manejar los recursos disponibles para la atención efectiva de la emergencia.

La recuperación

Esta tercera fase, también conocida como rehabilitación o reconstrucción (Van Wassenhove, 2006; Kovács y Spens, 2007; Pettit y Beresford, 2009), incluye las acciones de largo plazo que permiten a las comunidades afectadas, estabilizarse y retornar a su estado de normalidad (Altay y Green, 2006). Sin embargo, dado que gran parte de los recursos se destinan a los procesos de atención y respuesta, la etapa de recuperación resulta a menudo descuidada por las agencias responsables (Kovács y Spens, 2007). En desastres de gran escala, los efectos negativos de largo plazo se ven exacerbados en las regiones más afectadas (Heaslip et al., 2012).

Otro aspecto importante que es útil describir aquí, tiene que ver con la dinámica cíclica de las etapas mencionadas en esta sección (figura 2.5), dado que las experiencias vividas en campo, junto con las lecciones aprendidas durante la crisis del desastre, deben llevarse a la etapa de recuperación con la construcción de mejor infraestructura y mejor gestión de los planes de emergencia, que conlleven a una reducción del riesgo en la región intervenida y un desarrollo en las condiciones de vida de las comunidades intervenidas (Tomasini y Van Wassenhove, 2009; Baldini et al., 2012; Hadiguna et al., 2014; Hoyos et al., 2015; Saharan, 2015).

Figura 2.5. El ciclo de la gestión de desastres y logística humanitaria.



Fuente: Elaborado a partir de FEMA (2010), Baldini et al. (2012), y Cozzolino (2012).

Por su parte, Ozguven y Ozbay (2015) señalan que la preparación es quizás la fase más importante en la logística humanitaria. En Van Wassenhove (2006), Tomasini y Van Wassenhove (2009) y Charles y Lauras (2011) se argumenta que el éxito de la fase de respuesta no se obtiene como un resultado impremeditado o improvisado, mas debe ser preparada para que pueda ser efectiva. Una preparación apropiada debe conducir a una respuesta más eficiente, mediante la eliminación de actividades redundantes, la duplicidad de los esfuerzos y el desperdicio de recursos (Davis et al., 2013). Se establece en esta

sección que el enfoque de este proyecto estará dirigido a la fase de preparación y las operaciones logísticas que en ella se llevan a cabo. Seguidamente, se describirán los principales aspectos relacionados con la preparación para la atención de desastres, los procesos logísticos que allí toman lugar y su impacto e influencia en las etapas post-desastre.

2.1.4 Importancia de la preparación para los desastres

La Oficina de la Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, por sus siglas en inglés) define la preparación para la atención de desastres como el conocimiento y las capacidades desarrolladas por los gobiernos, organizaciones humanitarias y comunidades, para anticiparse, responder y recuperarse, de manera efectiva, a los impactos de los desastres actuales y futuros (UNISDR, 2017). Por su parte, Jahre et al. (2016) definen la preparación logística como la implementación de procesos, estructuras y sistemas que conectan la comunidad local con actores nacionales e internacionales, al diseñar, planear y entrenarse para la movilidad efectiva y eficiente de recursos materiales, financieros, humanos e informáticos, cuándo y dónde se necesiten. La preparación logística comprende, por tanto, diversas medidas que permiten a las agencias responsables dar una respuesta rápida a las víctimas, a través del desarrollo de planes de contingencia para incrementar el número de vidas salvadas y reducir el daño causado por los desastres (Bohtan et al., 2016).

Como se explicaba antes, la preparación surge del principio que los desastres no pueden ser evitados ni prevenidos, empero, el impacto sí se puede reducir cuando se mejoran los esfuerzos durante la preparación (Sheffi, 2015; Noham y Tzur, 2018). Las actividades de preparación deben ir dirigidas al cumplimiento de una respuesta más eficiente, constituyéndose así como un factor crítico para el éxito en la gestión de desastres, con acciones más ágiles para reducir el dolor y sufrimiento humano (Galindo y Batta, 2013; Osorio-Ramírez, 2016; Ganguly et al., 2017; Manopiniwes e Irohara, 2017; Rodríguez-Espíndola et al., 2018a). Cuando se alcanzan sistemas de información y comunicación más efectivos durante la fase de preparación, se produce una mayor capacidad para responder efectivamente a estos fenómenos (Hadiguna et al., 2014). No obstante, la preparación viene marcada por un alto nivel de incertidumbre, ya que no existe una indicación absoluta de cuándo sucederá un desastre, cuántas personas se verán afectadas, qué infraestructura resultará afectada o destruida, qué suministros serán recibidos como donaciones, o qué otras dificultades surgirán posterior al suceso (Tomasini y Van Wassenhove, 2009; Heaslip et al., 2012).

Ganguly et al. (2017) sostienen que la preparación está influenciada por diversos factores, entre los cuales se encuentran: la capacidad logística (para la gestión del flujo de materiales), la coordinación entre las partes involucradas (que incluye el desarrollo de acuerdos mutuos), y la gestión de información (disponibilidad de información confiable). Dificultades adicionales están relacionadas con la falta de capacidades de planeación,

transporte, seguridad y logística por parte de los responsables del manejo de desastres (Heaslip et al., 2012).

Se ha mencionado recurrentemente en la literatura, que la principal preocupación –o desafío– de muchas organizaciones humanitarias consiste en la obtención de recursos económicos que les permitan financiar los planes y procesos requeridos durante la fase de preparación (Van Wassenhove, 2006; Jahre et al., 2016; Anjomshoae et al., 2017). En este sentido, Osorio-Ramírez (2016) sostiene que los problemas de escasez de recursos y capacidades limitadas de respuesta son originados por las fallas de los gobiernos locales en la implementación de programas claros, con procesos incipientes e inadecuados, y que demuestran no ser asuntos prioritarios en sus políticas públicas. Jahre et al. (2016) manifiestan que no hay aún una comprensión unificada sobre lo que constituye la preparación logística, ni de cómo esta contribuye a mejorar la acción humanitaria, y que por tanto es necesario que las organizaciones responsables comprendan cómo debe involucrarse la logística en la preparación para la atención de desastres.

Como se busca que la preparación conlleve a acelerar la respuesta humanitaria e incrementar su efectividad, se hace menester que haya un mayor interés y esfuerzos investigativos no solo por parte del sector práctico, sino también desde el campo académico (Kunz et al., 2014; Rodríguez-Espíndola y Gaytán, 2015). Desarrollar investigación dirigida a las etapas previas en la gestión de desastres, es necesario para proveer contribuciones útiles a la fase de preparación, en concordancia y en consecuencia a los llamados hechos en la literatura.

La mejor planeación de un sistema logístico ocurre cuando el mejor uso de los proveedores, depósitos y vehículos conllevan a minimizar los costos logísticos totales (Guerrero, 2013). Ello puede lograrse si se concibe la logística como un elemento intrínseco de las operaciones humanitarias, esto es: la logística debe reconocerse como un puente que enlace la preparación y la respuesta a desastres, y debe ser concebida como un elemento central de la preparación (Van Wassenhove, 2006; Kovács y Spens, 2007). Por tanto, mayores esfuerzos (tanto académicos como prácticos) deben dirigirse al desarrollo de capacidades de toma de decisiones y a mejorar la planeación logística de respuesta a los desastres (Barbarosoğlu y Arda, 2004).

La planificación estratégica de la preparación es entonces fundamental para alcanzar la eficiencia y efectividad durante las operaciones de respuesta (Timperio et al., 2017); la fase de preparación implica el sistema de planeación dirigido a la selección de la localización de instalaciones y de recursos de ayuda humanitaria, comprendiendo procesos como: el pre-posicionamiento de inventarios, la selección de centros logísticos, y la planeación de operaciones de transporte (Manopiniwes e Irohara, 2017). En el siguiente apartado se hace una presentación detallada de las distintas operaciones logísticas que se llevan a cabo durante la fase de preparación.

2.1.5 Procesos logísticos en la preparación para los desastres

Teniendo que la preparación resulta un aspecto esencial en los procesos de respuesta a los desastres, durante los momentos *ex ante*, una serie de procesos logísticos se deben cumplir en busca de mejorar el alistamiento y la rápida disposición de los recursos para cuando una situación de emergencia se manifieste. Se puede considerar que la preparación comienza con el establecimiento de relaciones inter-sectoriales, entre el gobierno local, las organizaciones de apoyo humanitario, y todas las demás partes interesadas (Kunz et al. 2014; Ozguven y Ozbay, 2015). En este sentido, la revisión de literatura adelantada en el marco de esta investigación ha permitido identificar los procesos que se ejecutan durante la etapa de preparación que antecede a los momentos de respuesta y atención inmediata. A modo de síntesis, se ha estructurado la tabla 2.1 para mostrar estos procesos de acuerdo con lo propuesto por los autores consultados.

Tabla 2.1. Procesos que se llevan a cabo durante la fase de preparación.

| Procesos | Autores |
|--|--|
| Establecer el equipo de planeación. | Scholten et al. (2014). |
| Desarrollar e implementar protocolos y planes de respuesta. | Altay y Green (2006); FEMA (2010); Baldini et al. (2012); Kumar y Havey (2013); Hadiguna et al. (2014); Kunz et al. (2014); Scholten et al. (2014); Özdamar y Ertem (2015); Vitoriano et al. (2015); He y Zhuang (2016); Marcinkowski (2017); Iqbal et al. (2018). |
| Desarrollar planes de evacuación. | FEMA (2010); Kumar y Havey (2013); Hadiguna et al. (2014); Vitoriano et al. (2015); Iqbal et al. (2018); Kimms y Maiwald (2018). |
| Diseñar protocolos de preparación para diferentes tipos de desastres según distintos escenarios posibles. | Kunz et al. (2014); Caunhye et al. (2016); He y Zhuang (2016). |
| Realizar análisis de capacidades y riesgos. Hacer evaluación de capacidades logísticas y de necesidades. | Nikbakhsh y Farahani (2011); Scholten et al. (2014); Yadav y Barve (2015); Tatham et al. (2017). |
| Planeación de la gestión de escombros. | Lorca et al. (2015). |
| Identificar y seleccionar los socios principales, proveedores potenciales y fuentes de recursos. | Balcik et al. (2010); Baldini et al. (2012); Heaslip et al. (2012); Yadav y Barve (2015); Mora-Ochomogo et al. (2016); Vaillancourt y Haavisto (2016); Hu y Dong (2019). |
| Desarrollar plataformas colaborativas (coordinar planes y acuerdos de apoyo mutuo) a fin de establecer redes permanentes de actores. | Altay y Green (2006); Kovács y Spens (2007); Heaslip et al. (2012); Kumar y Havey (2013); Kunz et al. (2014); Yadav y Barve (2015). |
| Análisis y aprendizaje de situaciones de desastre anteriores. | Brito Jr. et al. (2014); Kunz et al. (2014). |
| Desarrollar e instalar sistemas de alerta temprana. | Baldini et al. (2012); Kumar y Havey (2013); Hadiguna et al. (2014); Kunz et al. (2014); He y Zhuang (2016); Singh et al. (2018). |
| Desarrollar sistemas y equipos de comunicación de emergencia. Modelos y herramientas para la toma de decisiones. | Altay y Green (2006); Kumar y Havey (2013); Kunz et al. (2014). |
| Presupuesto y adquisición de vehículos y equipos. Preparación de recursos financieros para la respuesta. | Altay y Green (2006); Nikbakhsh y Farahani (2011); Kunz et al. (2014). |

Tabla 2.1. *Continuación.*

| Procesos | Autores |
|---|---|
| Definir la estructura de la red de distribución y modos de transporte. | Osorio-Ramírez (2016); Pradhananga et al. (2016); Tavana et al. (2018). |
| Fortalecimiento de la capacidad logística de respuesta a emergencias (desarrollo de mejores prácticas). | Kumar y Havey (2013); Kunz et al. (2014). |
| Alistamiento de la infraestructura de la red logística, construcción y mejoramiento de infraestructura. | Altay y Green (2006); Schulz y Blecken (2010); Kunz et al. (2014). |
| Localización y construcción de centros logísticos y humanitarios, centrales y regionales. | Nikbakhsh y Farahani (2011); Anaya-Arenas et al. (2014); Rodríguez-Espíndola y Gaytán (2015); Caunhye et al. (2016); Habib et al. (2016); Hasanzadeh y Bashiri (2016); Osorio-Ramírez (2016); Das (2018); Mejia-Argueta et al. (2018); Tavana et al. (2018); Chong et al. (2019). |
| Pre-posicionamiento de inventarios y suministros humanitarios. | Van Wassenhove (2006); Balcik y Beamon (2008); FEMA (2010); Kunz et al. (2014); Özdamar y Ertem (2015); Yadav y Barve (2015); Acimovic y Goentzel (2016); Caunhye et al. (2016); Osorio-Ramírez (2016); Pradhananga et al. (2016); Richardson et al. (2016); Mejia-Argueta et al. (2018); Arnette y Zobel (2019); Hu y Dong (2019). |
| Mantenimiento de los suministros de emergencia. | Altay y Green (2006). |
| Posponer y agrupar recursos humanitarios. | Kunz et al. (2014). |
| Reclutamiento y contratación de personal para los servicios de emergencia y grupos voluntarios. | Altay y Green (2006); Nikbakhsh y Farahani (2011); Kunz et al. (2014). |
| Entrenamiento del personal en protocolos de respuesta. | Altay y Green (2006); Kumar y Havey (2013); Hadiguna et al. (2014); Kunz et al. (2014); Marcinkowski (2017) |
| Evaluación de vulnerabilidades físicas y económicas de las poblaciones. | Kunz et al. (2014). |
| Educación y entrenamiento de las comunidades. | Altay y Green (2006); Baldini et al. (2012); Kunz et al. (2014); Habib et al. (2016); He y Zhuang (2016). |
| Reubicación y traslado de personas a zonas seguras. | Habib et al. (2016). |

La diversidad de procesos pertenecientes a la etapa de preparación resulta amplia, aunque se encuentra que varios de ellos corresponden a actividades de análisis y evaluación del riesgo, más no a actividades de preparación. Es necesario en este punto considerar solo aquellos procesos inherentes a la función logística y a la fase de preparación (por las razones discutidas en la sección 2.1.3.). En términos generales, los procesos logísticos básicos en la etapa de preparación son la localización de almacenes y el pre-posicionamiento de bienes (Osorio-Ramírez, 2016; Haghi et al., 2017; Jahre, 2017; Manopiniwes e Irohara, 2017; Mejia-Argueta et al., 2018; Arnette y Zobel, 2019; Hu y Dong, 2019). En línea con lo expresado por Verma y Gaukler (2015), las decisiones referentes a la localización de centros logísticos son críticas para la calidad del servicio de entrega luego del desastre. Por tanto, las operaciones logísticas mencionadas hasta aquí deben ser llevadas a cabo durante la preparación (FEMA, 2010; Chakravarty, 2014; Eftekhar et al., 2014; Hong et al., 2015; Gutjahr y Dzubur, 2016). Además, las actividades de previsión

de la demanda deben ser ejecutadas previamente a los desastres, para asignar y localizar apropiadamente los recursos en zonas estratégicas (Nadi y Edrisi, 2017).

Kovács y Spens (2007) argumentan que la fase de preparación debe explotarse por parte de los actores involucrados en pos de desarrollar plataformas colaborativas y cooperativas. De hecho, la preparación logística requiere de canales de comunicación y coordinación entre los actores para que el manejo y movilización de los recursos permitan disminuir los contratiempos generados luego de ocurrido el desastre (Jahre et al., 2016). La coordinación inter-organizacional aparece como una necesidad para una mejor gestión de la etapa de preparación (Tomasini y Van Wassenhove, 2009). En este sentido, el ámbito de la coordinación en el sistema logístico humanitario, junto con los demás procesos de preparación, poseen un alcance que abarca los niveles estratégico, táctico y operativo de las decisiones (Day et al., 2012; Jensen y Hertz, 2016). Con esto, los procesos logísticos de preparación para los desastres tienen lugar en los tres niveles del enfoque jerárquico, como se organizan en la tabla 2.2 que se muestra seguidamente.

Tabla 2.2. Procesos logísticos de preparación según los niveles jerárquicos de gestión.

| Niveles de jerarquía | Procesos logísticos |
|----------------------|---|
| Estratégico | Desarrollo de planes de respuesta y evacuación. |
| | Selección de socios y proveedores. |
| | Localización de almacenes, albergues y centros logísticos. |
| | Definición de capacidades de las instalaciones logísticas. |
| | Pre-posicionamiento de inventario. |
| | Desarrollo de plataformas colaborativas. |
| | Desarrollo de sistemas de comunicación e información. |
| | Desarrollo de sistemas de alerta. |
| | Definición de la red de distribución y modos de transporte. |
| Táctico | Compras y planeación del aprovisionamiento. |
| | Selección de rutas de transporte. |
| | Definición de planes de manejo de inventario compartido. |
| | Planeación del inventario y niveles de seguridad. |
| Operativo | Control y mantenimiento de los suministros. |
| | Monitoreo de los flujos de información. |

Con base en los procesos diversos que hacen parte de la preparación, y como se ha evidenciado en el campo práctico, las agencias humanitarias han comenzado a evaluar sus capacidades logísticas y a determinar qué nivel de cumplimiento se logra con la planeación para responder a desastres particulares (Tatham et al., 2017). Al respecto, seguidamente se describirán aspectos referentes a la gestión y medición del desempeño en la logística humanitaria, haciendo énfasis en la fase de preparación.

2.1.6 Indicadores de desempeño en la logística humanitaria

Abidi y Scholten (2015) afirman que el desempeño en el sector humanitario se ha convertido en un factor clave de gestión que permite el aseguramiento de la eficiencia y efectividad de la acción humanitaria, al igual que la sostenibilidad del sistema logístico. Pero, para los autores citados, la medición del desempeño en la logística humanitaria continúa todavía en su infancia investigativa.

Los indicadores de desempeño pueden ser observados a partir de dos perspectivas: eficiencia y efectividad (Beamon y Balcik, 2008; Ni et al., 2015). Por un lado, la eficiencia evalúa la manera en que los recursos disponibles son utilizados desde una perspectiva económica, esto es, la eficiencia como función monetaria de los costos logísticos (Beamon y Balcik, 2008; Gutjahr y Nolz, 2016); por su parte, la efectividad considera los objetivos encaminados al servicio de las operaciones, tales como el tiempo de respuesta, la cobertura del servicio, las distancias recorridas, la equidad y la justicia del servicio ofrecido (Ni et al., 2015; Gutjahr y Nolz, 2016).

A pesar de sus marcadas diferencias con el sector comercial (como se expone en la sección 2.2.1.), en la logística humanitaria se ha llegado a considerar la función del costo como indicador de eficiencia. En la literatura se encuentran funciones objetivo enmarcadas en los costos logísticos de: compras de suministros (Wei et al., 2015), localización de instalaciones (Moreno et al., 2016; Pradhananga et al., 2016; Rezaei-Malek et al., 2016), pre-posicionamiento de inventarios (Davis et al., 2013), transporte y distribución (Garrido et al., 2015; Marcelin et al., 2016; Das, 2018), costos totales de operación (Krejci, 2015; Lorca et al., 2015; Diedrichs et al., 2016; Chong et al., 2019), y costos de privación (Holguín-Veras et al., 2013; Pradhananga et al., 2016; Cotes y Cantillo, 2019).

Como indicadores de efectividad, se han trabajado los siguientes: nivel de cobertura del servicio (Rekik et al., 2013; Kunz et al., 2014; Shafiee y Berglund, 2016; Das, 2018), tiempos de transporte y entrega (Caunhye et al., 2016; Fikar et al., 2016; Sahin et al., 2016; Tofighi et al., 2016), distribución de última milla (Ferrer et al., 2015; Vitoriano et al., 2015), resiliencia (Hellingrath et al., 2015), cantidad de ayudas entregadas (Rachaniotis et al., 2013; Acimovic y Goentzel, 2016), y número de almacenes instalados (Balcik y Beamon, 2008; Rekik et al., 2013; Chong et al., 2019).

De acuerdo con Vitoriano et al. (2015) y Paul y Wang (2019), la efectividad en el uso de recursos escasos debe ser el primer objetivo de la acción humanitaria, es decir, poder llegar a los beneficiarios, y a tantos como sea esto posible, por lo que se convierte en el principal criterio cuando los gobiernos locales diseñan las estrategias de respuesta. A pesar de la contundencia de esta afirmación, otros autores concuerdan con la siguiente proposición: las prioridades –al igual que los procesos– de los actores involucrados varían según las distintas fases de la gestión de desastres (Day et al., 2012; Caunhye et al., 2016; Hasanzadeh y Bashiri, 2016; Rezaei-Malek et al., 2016; Rodríguez-Espíndola et al., 2018b), ya que los propósitos en la preparación pueden presentar una orientación hacia la

eficiencia y la utilización de los recursos disponibles, mientras que la respuesta requiere rapidez operacional, con una ágil y efectiva atención a las víctimas (Kovács y Tatham, 2009; Cozzolino, 2012).

A conciencia de que durante la preparación se debe llevar a cabo el diseño estratégico del sistema logístico de distribución humanitaria, junto con la selección de socios y la organización de los actores para la asignación de funciones específicas (Jahre et al., 2016), se han encontrado indicadores que están relacionados con el desempeño en la fase de preparación. Los indicadores de desempeño, identificados gracias al proceso de revisión de literatura, han sido organizados de la forma en que se presentan en la tabla 2.3, que se muestra más adelante.

La importancia de gestionar, medir y controlar el desempeño en la labor humanitaria radica en lo siguiente (Nikbakhsh y Farahani, 2011): primero, por la influencia que tiene la efectividad de los procesos en la protección de los individuos y las comunidades; y segundo, por la escasez de recursos en los procesos de preparación y respuesta a los desastres. Un mejor desempeño puede llevar también a mejorar la transparencia y reputación de las organizaciones humanitarias, e incrementar las posibilidades de obtener más recursos y donaciones en el futuro (Akhtar et al., 2012; Haavisto y Goentzel, 2015).

Tabla 2.3. Indicadores de desempeño aplicados en la etapa de preparación para los desastres.

| | Indicadores de desempeño | Autores |
|--|---|---|
| Indicadores en la preparación | Costos de pre-posicionamiento (compra, manipulación, almacenaje). | Davis et al. (2013); Caunhye et al. (2016); Hasanzadeh y Bashiri (2016); Pradhananga et al. (2016); Rezaei-Malek et al. (2016). |
| | Número de instalaciones (almacenes) localizados. | Balcik y Beamon (2008); Chong et al. (2019). |
| | Costos de localización. | Moreno et al. (2016). |
| | Costos de transporte. | Rezaei-Malek et al. (2016). |
| Indicadores de desempeño a nivel organizacional | Cobertura. | Balcik y Beamon (2008); Haavisto y Goentzel (2015); Ni et al. (2015); Gutjahr y Nolz (2016); Hasanzadeh y Bashiri (2016). |
| | Nivel de utilización de recursos y capacidades. | Beamon y Balcik (2008); Krishnamurthy et al. (2013); Lorca et al. (2015). |
| | Efectividad de la planeación: porcentaje de cumplimiento. | Beamon y Balcik (2008); Akhtar et al. (2012); Haavisto y Goentzel (2015). |
| | Calidad (productos, infraestructura, servicio). | Akhtar et al. (2012); Dubey y Gunasekaran (2015); Krejci (2015). |
| | Lead times: tiempos de aprovisionamiento. | Balcik et al. (2010); Kunz et al. (2014); Fikar et al. (2016). |
| | Tiempos de alistamiento de preparación. | Beamon y Balcik (2008); Caunhye et al. (2016). |

Beamon y Balcik (2008) sostienen, por su parte, que el contexto de los desastres trae retos significativos en la selección de las métricas de desempeño adecuadas y también en el desarrollo de sistemas de medición y análisis. Al respecto, se ha identificado también una falta de formulaciones integradas en la logística humanitaria que permitan evaluar la preparación de cara a escenarios de alta incertidumbre y de futuros desastres, con

herramientas de decisiones multi-criterio (Mejia-Argueta et al., 2018). Esto se da porque la preparación no es una cuestión trivial, por el contrario, es un asunto relevante que difícilmente es medible, pero que, si se cuantifica con rigor, arrojará un indicador fehaciente de cuan preparado se está para manejar cierto tipo de eventos (Granberg, 2013).

Ya se ha propuesto que la medición del desempeño humanitario es un área emergente de investigación, que puede favorecerse por la experiencia del sector académico en la logística comercial y la posibilidad de transferir este conocimiento al sector humanitario (Thomas y Kopczak, 2005; Van Wassenhove, 2006; Nikbakhsh y Farahani, 2011). En Jahre et al. (2016), se señala que todos los sectores involucrados (incluso el académico) han hecho el llamado por mejorar la preparación y mejorar el desempeño de las operaciones logísticas. Cozzolino (2012) señala que el desempeño logístico mejora cuando las relaciones entre los actores se gestionan desde una perspectiva integral y holística, al coordinar las operaciones en toda la cadena logística humanitaria. Por tanto, la dificultad para medir el desempeño durante la preparación, e incluso para controlarlo, se da por la falta de visión integral de los procesos de la gestión de desastres. Precisamente, el propósito de la siguiente sección es mostrar el problema de la logística humanitaria desde una visión holística y sistémica que implica la cadena de aprovisionamiento desde su fase de preparación.

2.2 La logística humanitaria desde un enfoque de sistemas

En los apartados anteriores se han presentado distintos aspectos dirigidos a las etapas y procesos comprendidos en la logística humanitaria, cuyo propósito es la rápida y efectiva respuesta de los desastres y la atención oportuna de las víctimas causadas por estos sucesos. No obstante, y de acuerdo con lo sostenido por Charles y Lauras (2011), aún se observa la falta de procesos de planeación en los procesos humanitarios, lo que conlleva a serias ineficiencias, como los elevados costos de transporte, la saturación de las vías para la entrega de la ayuda, y el manejo de donaciones y materiales no prioritarios.

Sumado a estas dificultades, deben considerarse también las tendencias incrementales en la frecuencia y en la intensidad de los desastres (sección 2.1.1.). Debido a la enorme conjunción de factores, estos entornos de alta complejidad han de ser abordados, por tanto, desde un enfoque de la planeación y desde una perspectiva sistémica; sin embargo, estos contextos complejos de alta incertidumbre no han sido suficientemente estudiados desde el enfoque de sistemas (Yadav y Barve, 2015; Xu et al., 2016).

En la literatura se ha expresado la necesidad y relevancia de que la investigación en el campo aquí tratado involucre la complejidad desde un enfoque sistémico, a partir del reconocimiento de las dificultades en los procesos de planificación y gestión táctica-operativa, así como las particularidades propias de las regiones, en el marco de la etapa de preparación (Klumpp et al., 2015).

En esta segunda sección del capítulo se presenta un panorama general de los aspectos que incrementan la complejidad en la fase de preparación en el marco de la logística humanitaria, y por lo cual es fundamental que se aborde desde el enfoque sistémico y la gestión de cadenas de abastecimiento. Precisamente, esta sección inicia con una descripción de los aspectos característicos de la cadena logística humanitaria. Después se abordan los principales actores involucrados, el fenómeno de la coordinación inter-organizacional que surge en la acción humanitaria, y se presentan algunos mecanismos y enfoques de modelación desde la perspectiva sistémica, los cuales han sido empleados desde el sector académico e investigativo. El capítulo culmina con algunas reflexiones y conclusiones parciales de lo aquí discutido.

2.2.1 La cadena logística humanitaria (HSC) como sistema complejo

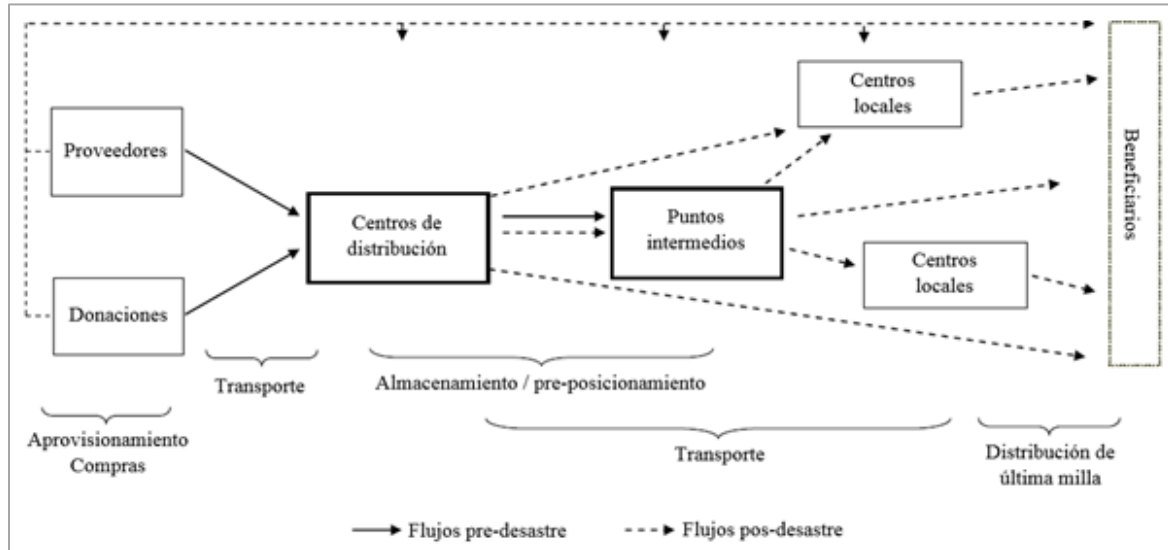
La gestión que se lleva a cabo durante la preparación y respuesta a los desastres puede ser caracterizada en lo que se entiende como una cadena de aprovisionamiento (Day, 2014). De hecho, los procesos logísticos de nivel táctico y operativo en el campo humanitario deben ser concebidos desde una visión más estratégica, planificada e integrada entre las organizaciones involucradas, lo cual se logra a través de la gestión de cadenas de suministro, con el fin de incrementar la eficiencia y reducir redundancias y desperdicios (Tomasini y Van Wassenhove, 2009; Day et al., 2012). En este mismo sentido, Sarache y Morales (2016) reconocen la cadena de abastecimiento como un sistema abierto, que comprende las interacciones entre sus elementos (u organizaciones), y que además se ve influenciada por un entorno social, político, económico y natural, que determina sus operaciones y toma de decisiones.

La cadena logística humanitaria (HSC, por sus siglas en inglés) es el sistema responsable de diseñar, desplegar y manejar los procesos necesarios para atender eventos de desastre, y es responsable de evaluar, integrar y coordinar las actividades de las distintas partes involucradas en estos eventos (Day et al., 2012). La cadena logística humanitaria comprende los procesos de evacuación en las áreas afectadas, así como los procesos de planeación, desarrollo y control del flujo de bienes materiales y de información, desde los puntos de suministro a las zonas de consumo (Habib et al., 2016). Además, la HSC se entiende como una red inter-conectada de múltiples organizaciones que intercambian flujos materiales y de información de manera que se facilite la operación humanitaria de forma coordinada (Gavidia, 2017).

Las cadenas logísticas humanitarias son, en términos generales, redes de actores sin ánimo de lucro (Mohan et al., 2013; Dubey y Gunasekaran, 2015), que buscan proveer la máxima ayuda posible en las zonas afectadas, con el fin de reducir el sufrimiento de las personas (Dubey y Gunasekaran, 2015; Yadav y Barve, 2015; Tofighi et al., 2016). Esquemáticamente, la HSC puede ser representada de la forma en que han propuesto

Balcik et al., (2010), la cual ha tenido bastante aceptación en la literatura y que se muestra en la figura 2.6.

Figura 2.6. Estructura de la cadena logística humanitaria.



Fuente: Balcik et al. (2010).

A partir de esta estructura, puede decirse que el foco de la preparación está en el aprovisionamiento, compras, gestión de inventarios y decisiones de localización, mientras que la respuesta obedece más a los problemas de ruteo, transporte y entrega de última milla. Los enfoques de gestión para el sistema en la preparación y en la respuesta son también diferentes, ya que la preparación tiende a la minimización de costos –dado que no hay urgencia en los procesos– a través de una cadena logística tipo *lean*; mientras en la respuesta, se requiere de una acción mucho más rápida y efectiva, por cuanto la cadena tiende a presentar una dinámica tipo *agile* (Oloruntoba y Gray, 2006; Kovács y Tatham, 2009; Dubey y Gunasekaran, 2015; Bohtan et al., 2016).

En las cadenas de abastecimiento se presentan flujos de materiales, de información, y de dinero. Los suministros y materiales que fluyen en el sector humanitario consisten principalmente de inventarios pre-posicionados, compras hechas a proveedores y donaciones en especie (Beamon y Balcik, 2008). Se debe considerar que en estos contextos existe poca disponibilidad de recursos cuando no se logran anticipar adecuadamente desde la preparación (apartado 2.1.4.); y otro importante asunto tiene que ver con el manejo de donaciones no requeridas, los cuales aumentan el esfuerzo logístico para administrarlos, y ello reduce la capacidad de entrega de recursos (Day, 2014).

En relación con los flujos monetarios, Day (2014) argumenta que el dinero en el contexto humanitario, contrario a la logística comercial tradicional, corre *aguas abajo*, es decir, el dinero es una entrada al sistema que ingresa como donaciones en efectivo y que pasa a través de los distintos eslabones de la cadena y se convierte en bienes y servicios para el

consumo por parte de los beneficiarios. Respecto a los flujos de información, estos están demarcados por procesos de recolección, procesamiento y transmisión de la información (Altay y Pal, 2014), dado que cada organización puede poseer información importante para los demás, y su flujo apropiado tendrá un valor superior en los procesos de toma de decisiones (Day, 2014).

La relevancia de los tres tipos de flujos es indiscutible, puesto que alguna dificultad o ruptura generada en cualquiera de estos, produce un efecto directo en los demás (Tomasini y Van Wassenhove, 2009). Sumado a estas precauciones, Day (2014) sostiene que la HSC debe operar en un ambiente de mayor incertidumbre y dinamismo que su contrapartida del sector comercial. En este sentido, las principales diferencias entre las cadenas logísticas humanitarias y aquellas del sector comercial se sintetizan según se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Principales diferencias entre las cadenas logísticas comerciales y humanitarias.

| Característica | Logística comercial | Logística humanitaria |
|---|---|---|
| Objetivos estratégicos. | Minimizar costos, maximizar la utilidad y satisfacción del cliente. | Minimizar los costos sociales, pérdidas de vidas y sufrimiento. |
| Destino final de la cadena. | Clientes o consumidores. | Beneficiarios. |
| Rango de la cadena. | De los proveedores a los clientes. | De los donantes y proveedores a los beneficiarios. |
| Inventarios. | Están bien definidos con métodos para su nivel y control. | Alta complejidad, con altas variaciones en la demanda, lead times. |
| Flujos financieros. | Bilateral y conocidos. | Unilateral (del donante al beneficiario) e incierto. |
| Flujos de información, sistemas de apoyo. | Generalmente bien estructurados, estables y funcionales. | Sistemas seriamente afectados, capacidad de comunicación reducida y dependiente de los medios. Información poco confiable, incompleta, o inexistente. |
| Actores. | Conocidos y con propósitos alineados. | Multiplicidad en su naturaleza, con incentivos desalineados |
| Suministro. | Proveedores conocidos anticipadamente. | Proveedores y donantes inciertos o desconocidos. |
| Demanda. | Generalmente conocida, pronosticada o predecible, estable. | Muy incierta, en términos de tiempo, localización y cantidad. |
| Red de distribución. | Red bien definida. | Incierta, consideraciones de última milla. |
| Entorno (estado de las redes logísticas). | Normal y algo volátil. | Altamente volátil e inestable, seriamente afectado por el desastre. |

Fuente: Elaborado a partir de Charles (2010), Holguín-Veras et al. (2012), y Vitoriano et al. (2015).

Pese a que los procesos logísticos en el ámbito humanitario comparten naturaleza con los desarrollados tradicionalmente en el sector comercial (como decisiones de localización, transporte e inventarios), el empeño en la acción humanitaria se debe ejercer bajo un ambiente sumamente complejo, con dificultades exógenas que deben atenderse, y todo ello en un entorno socialmente volátil, políticamente inestable y con altos índices de inseguridad (Van der Laan et al., 2009; Tatham y Spens, 2011). Sumado a estas consideraciones, la cantidad de actores involucrados en estas situaciones, y de diversos sectores, junto con el diseño y gestión de la HSC, resultan en un problema de mucha mayor

complejidad para el manejo de desastres (Day, 2014; Ergun et al., 2014). Autores como Kumar y Havey (2013) señalan que a pesar de sus condiciones inherentes y de alta complejidad, la logística humanitaria no ha llegado a tener el mismo interés ni el nivel investigativo que continúa presentando la logística empresarial tradicional.

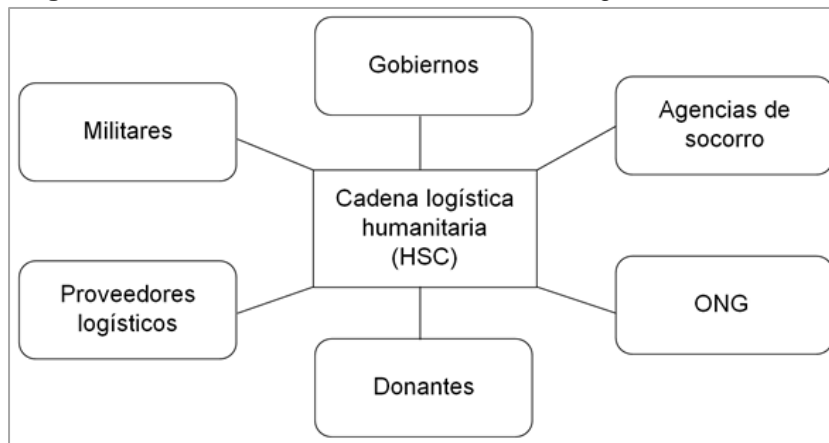
En lo concerniente a los procesos logísticos de la fase de preparación, se encuentra que no menos compleja resulta su gestión, ya que distintos elementos configuran también un entorno de alta complejidad durante los momentos que anteceden a los desastres, entre los cuales se encuentran: la incertidumbre respecto al momento en que acaecerá el evento y cuál será su severidad, dónde ocurrirá el desastre, cuántas personas resultarán víctimas, y qué infraestructura se verá afectada o quedará disponible para su utilización (Heaslip et al., 2012; Paul y MacDonald, 2016; Hu y Dong, 2019). Estas condiciones de incertidumbre, sumadas a las características socio-económicas de cada región y su geografía particular, implican mayor dificultad en los procesos de planificación y diseño de planes de emergencia (Brito Jr. et al., 2014; Paul y MacDonald, 2016; Hooshangi y Alesheikh, 2018). Además, la complejidad aumenta con el número de eventos y escenarios posibles, la definición de cómo ha de calcularse y evaluarse el desempeño, que implica determinar distintas necesidades y recursos requeridos dependientes del tipo y severidad del desastre (De Leeuw et al., 2012; Granberg, 2013). Estas tendencias que incrementan la complejidad de la planeación de la respuesta, junto con los aspectos de la alta incertidumbre y de recursos escasos, conllevan a un pensar y re-pensar, una re-ingeniería, de los procesos de planeación estratégica de los desastres (Caunhye et al., 2016).

Como si resultase poco, los diversos actores involucrados cuentan con distintas capacidades, recursos y propósitos durante las distintas fases de la gestión de desastres (Owusu-Kwateng et al., 2017). Por lo que, a fin de cumplir con sus objetivos, la HSC necesariamente debe buscar la integración y coordinación entre sus actores para cumplir con los requerimientos demandados, los cuales varían según cada situación (Ganguly y Rai, 2016; Drakaki et al., 2018). Con las diferentes estrategias y capacidades de toma de decisiones entre los actores, el enfoque sistémico resulta pertinente para el análisis y estudio de estos problemas de alta complejidad (Klumpp et al., 2015; Remida, 2015). Al asumir la HSC como un sistema complejo, no solo se analiza el problema espacial *in situ* del desastre, sino también se involucra el aspecto espacio-temporal de la planificación estratégica de los procesos humanitarios, desde la gestión de donaciones al inicio de la cadena, hasta la distribución de última milla y la asistencia de las víctimas (Remida, 2015). Se argumenta así la necesidad y pertinencia de abordar los problemas de la logística de desastres desde una perspectiva holística, en la que se analice globalmente el contexto, las operaciones, las capacidades y los actores involucrados en el sistema complejo que se ha buscado describir en esta sección. Seguidamente, se presentan los actores más importantes que componen la HSC.

2.2.2 Sectores que participan en la cadena logística humanitaria

Cuando se habla de los actores de la cadena logística humanitaria se está haciendo referencia a los *stakeholders* embebidos en el sistema, responsables tanto de los procesos de preparación, como de respuesta y recuperación de desastres (Kovács y Spens, 2007; Kabra et al., 2015). De acuerdo con Cozzolino (2012), los actores de la HSC pueden categorizarse así: gobiernos, militares, agencias de socorro, organizaciones no gubernamentales (ONG), sector privado, y donantes (figura 2.7). En las siguientes líneas se dará un breve repaso de las principales características y aspectos clave de los distintos actores involucrados en la cadena logística humanitaria.

Figura 2.7. Actores involucrados en la cadena logística humanitaria.



Fuente: Kovács y Spens (2007).

Gobiernos locales

En principio, los gobiernos locales tienen la responsabilidad de establecer los protocolos y las medidas para gestionar y reducir el riesgo de los desastres (Dubey y Gunasekaran, 2015). El gobierno cumple el papel de dirección y es la autoridad central tanto en la preparación como en la respuesta a los desastres, por lo que todos los demás sectores involucrados están obligados a cumplir el mandato de la autoridad local y la normatividad y reglamentación del territorio (Balcik et al., 2010; Heaslip et al., 2012; Kabra y Ramesh, 2015; Sahay et al., 2016).

Sahay et al. (2016) resaltan los progresos adelantados por los gobiernos en términos de inversión y desarrollo de estrategias de preparación y respuesta, aunque no desconocen el esfuerzo que continúa pendiente en muchos países. Además, dentro de las funciones que corresponden a los gobiernos, están los esfuerzos por fomentar la coordinación con los demás actores, ya que, con esta actitud, se facilita la estructuración de la cadena logística y la organización de los recursos para dirigirlos a las poblaciones más vulnerables (Yadav y Barve, 2015; Marcelin et al., 2016; Kunz y Gold, 2015).

Militares

En diversas situaciones de desastre, la capacidad de los gobiernos y agencias locales ha resultado insuficiente para atender las víctimas y satisfacer las necesidades de los afectados, por lo que se acude al apoyo del sector militar y con ello aprovechar recursos (como alimentos y medicinas) y capacidades logísticas (transporte, comunicaciones, etc.) (Heaslip et al., 2012; Sebbah et al., 2013; Tatham y Rietjens, 2016). El sector militar, por tanto, juega un rol importante en la respuesta a emergencias, puesto que aportan experiencia en procesos de aprovisionamiento y rápida coordinación en el flujo de suministros y personas (Balcik et al., 2010). Su participación ha sido reconocida como un factor significativo gracias a las capacidades logísticas y de planeación que posee este sector (Cozzolino, 2012; Sebbah et al., 2013; Dubey y Gunasekaran, 2015; Remida, 2015).

Agencias de socorro

Las agencias de socorro, u organizaciones humanitarias, tienen la principal responsabilidad de atender las situaciones de crisis, suministrando ayuda médica, refugio y alimentos a las víctimas (Charles et al., 2016). Generalmente, estas organizaciones incluyen algunas ramas del sector militar, de alcance nacional o regional, y están involucradas en la planeación y atención de emergencias (Connelly et al., 2016). Estos actores son legalmente independientes y en ocasiones poseen mandatos bastante diversos, por lo que su presencia a nivel local determina su rol en la acción humanitaria (Kovács y Spens, 2009; Herlin y Pazirandeh, 2015). No obstante, la escasez de recursos, la falta de financiamiento durante la fase de preparación, y la alta rotación de personal, limitan sus procesos de planificación y acción (Jahre et al., 2015; Muggy y Stamm, 2017).

ONG

En el ámbito humanitario, el propósito general de las organizaciones no gubernamentales es asistir a las personas afectadas y compartir recursos y capacidades (Akhtar et al., 2012). Una vez se informa la situación de desastre, un número considerable de ONG inician su despliegue con base en la información disponible, considerando sus recursos físicos y económicos, así como sus capacidades de respuesta (Rodríguez et al., 2012; Moshtari, 2016).

Hablar de ONG implica abarcar un rango extenso de actores, que van desde ONG internacionales, hasta pequeñas y micro-organizaciones basadas en la comunidad local (Dubey y Gunasekaran, 2015). Las grandes ONG internacionales están muy bien dotadas, organizadas y estructuradas, son eficientes, poseen experiencia y personal experto; pero las ONG pequeñas y domésticas varían en sus estructuras, formas de trabajar y, en ocasiones, se crean únicamente para enfrentar situaciones particulares

(Dubey y Gunasekaran, 2015; Ganguly y Rai, 2016). Sin embargo, las ONG locales poseen una importante ventaja: están familiarizados con la zona y las condiciones actuales, por lo que pueden alcanzar las zonas críticas mucho antes de la llegada de ayuda externa al sitio del desastre (Krejci, 2015; Ganguly y Rai, 2016).

Proveedores logísticos

Cuando el gobierno local enfrenta problemas de capacidad limitada, requiere de apoyo en recursos y transporte de bienes en las operaciones de respuesta. Para ello, es posible contar con compañías logísticas que brindan soporte en las operaciones que buscan servir a las personas y salvar vidas (Bharandev et al., 2016). Los proveedores de servicios logísticos (LSP, por sus siglas en inglés) se convierten en actores importantes en el sector humanitario, pues aportan gestión y control de actividades logísticas a fin de responder más efectivamente a las situaciones de emergencia (Vega y Roussat, 2015; Cruz-Castro et al., 2019).

Cozzolino et al. (2017) argumentan que el rol de los LSP ha sido ampliamente reconocido en la literatura especializada en el campo humanitario. Al respecto, cabe mencionar que la presencia de compañías del sector privado en la gestión de desastres se ha expandido y, basados en las dinámicas de la industria de la logística global, esta tendencia continuará creciendo (Dubey y Gunasekaran, 2015; Cozzolino et al., 2017; Heaslip et al., 2018).

Donantes

Los donantes son actores importantes ya que proveen la financiación de las agencias responsables de la acción humanitaria (Kovács y Spens, 2007; Cozzolino, 2012; Dubey y Gunasekaran, 2015). Las organizaciones reciben recursos financieros (donaciones en efectivo), o bienes y/o servicios (donaciones en especie) (Cozzolino, 2012; Dubey y Gunasekaran, 2015). Aunque las organizaciones pueden preferir recibir dinero, ya que las donaciones en especie pueden constituir un problema logístico adicional en la recepción y manejo de elementos no requeridos (Day et al., 2012; Day, 2014).

De otro lado, los donantes (ya sean personas u organizaciones) demandan mayor transparencia y efectividad en el manejo de sus donaciones (Thomas y Kopczak, 2005; Charles et al., 2016). Los donantes quieren que sus aportes sean bien utilizados y tengan el impacto deseado en los beneficiarios, por lo que se ha incrementado la presión al sector humanitario para establecer relaciones colaborativas y mejorar la eficiencia y efectividad de sus operaciones (Thomas y Kopczak, 2005; Schulz y Blecken; 2010; Acimovic y Goentzel, 2016; Moshtari, 2016; Anjomshoae et al., 2017).

Como se observa, y en sintonía con lo mostrado anteriormente, la alta diversidad de actores inmersos en el sector humanitario incrementa la complejidad de los aspectos estratégicos y operativos de la gestión logística, dado que cada agente posee distintos

intereses, propósitos, métodos operativos, culturas, capacidades y experiencia logística (Balcik et al., 2010; Nikbakhsh y Farahani, 2011; Kumar y Havey, 2013; Simões-Marques y Nunes, 2013; Yadav y Barve, 2015; Larson y Foropon, 2018).

Debe reconocerse que distintos actores de nivel local, nacional e internacional participan en los procesos de gestión de desastres (Kovács y Spens, 2007). A este respecto, se encuentra que buena parte de la literatura se enfoca en agencias internacionales que participan en el manejo de grandes desastres (Besiou et al., 2014). En este sentido, se resalta el papel preponderante de las agencias locales y su importancia por tener presencia *in situ* a fin de ofrecer una respuesta ágil (Krejci, 2015; Vega y Roussat, 2015; Yadav y Barve, 2015). Para Kovács y Spens (2007), los actores regionales son quienes poseen la responsabilidad de diseñar los planes de respuesta a nivel local durante la fase de preparación. Con base en estas razones se ha tomado otra decisión para delimitar el alcance de este proyecto, frente al estudio de los actores de nivel local que participan en los procesos de preparación logística en el marco de la HSC.

Partiendo de la importancia de participar en la planificación de la respuesta, las relaciones inter-sectoriales y la promoción de la coordinación resultan esenciales durante la preparación para los desastres (Kaneberg, 2017; Rodríguez-Espíndola et al., 2018a). A continuación, se presentan los principales aspectos que demarcan el problema de la coordinación en el manejo de desastres y la gestión de la HSC.

2.2.3 El problema de la coordinación en la HSC

Como se mencionaba al final de la sección 2.2.1., el enfoque de sistemas complejos y de SCM pueden ayudar a determinar el diseño estructural de la HSC, a partir de las capacidades y necesidades de las distintas organizaciones participantes y, con ello, motivar la difícil tarea de integración y coordinación para ejecutar las operaciones logísticas (Jahre y Jensen, 2010; Kabra et al., 2015). La coordinación se convierte así en la columna vertebral y el *core* de la cadena logística humanitaria (Akhtar et al., 2012; Sahay, 2016).

Conceptualmente, se denomina coordinación al sistema de inter-relaciones e interdependencias entre distintas organizaciones (Xu y Beamon, 2006); en el sentido de la alineación ordenada de actividades de los múltiples actores que buscan el cumplimiento de objetivos comunes (Akhtar et al., 2012; Ergun et al., 2014; Herlin y Pazirandeh, 2015; Cozzolino et al., 2017; Fontainha et al., 2017). El propósito principal de la coordinación en el contexto humanitario es mejorar el desempeño logístico en los procesos implicados en el manejo de desastres (Balcik et al., 2010; Akhtar et al., 2012; Suárez-Moreno et al., 2016; Cozzolino et al., 2017). Siempre que se asuma la coordinación desde una perspectiva integral y sistémica, las mejoras en el desempeño se pueden hacer patentes a través de: una mejor evaluación de la demanda, mayor cobertura del servicio, satisfacción de los beneficiarios y valor agregado, así como la reducción en los tiempos de respuesta, en las

demoras, la competencia y la duplicación de esfuerzos (Afshar y Haghani, 2012; Akhtar et al., 2012; Cozzolino, 2012; OCHA, 2012; Diedrichs et al., 2016).

A pesar de las bondades expuestas, alcanzar la coordinación resulta el obstáculo más complicado de superar entre las agencias humanitarias (Kabra y Ramesh, 2015). De hecho, como se expresa en Tatham et al. (2017), aunque se espera ver a las distintas organizaciones coordinando para atender rápidamente a las víctimas, esto no es lo que acontece en todos los casos, al manifestarse los distintos intereses, así como la competencia por recursos y donaciones. A conciencia de la escasez de los recursos disponibles, es frecuente encontrar organizaciones que no compartan recursos ni posean voluntad para coordinar en las actividades (Eftekhar et al., 2017).

La coordinación y gestión conjunta de los procesos logísticos se han considerado tareas demandantes de recursos, por lo cual, aunque existan acercamientos entre agencias que están sujetas a las mismas circunstancias, habrá organizaciones que terminen trabajando de forma independiente y separada (Oloruntoba y Gray, 2009; Ganguly y Rai, 2016). La ausencia de una perspectiva sistémica genera escenarios caóticos en la zona de desastre y serias ineficiencias reflejadas en mayores pérdidas de vidas (Xu et al., 2016). Asimismo, no es posible que una sola agencia posea las capacidades suficientes para suplir las necesidades de la población afectada por un desastre (Rodríguez-Espíndola et al., 2018b). De lo cual se desprende que la coordinación inter-agencia es *conditio sine qua non* en el contexto humanitario; es un factor multiplicador en la atención de emergencias, puesto que las organizaciones que invierten tiempo y recursos para coordinarse tendrán un mejor desempeño que aquellas que no se integran estratégicamente (Van Wassenhove, 2006; OCHA, 2012; Anjomshoae et al., 2017; Owusu-Kwateng et al., 2017).

Los hallazgos de Nurmala et al. (2018) permiten aseverar que la mayoría de las relaciones inter-sectoriales se enfocan más en la fase de respuesta, que en la preparación y en la recuperación. En la práctica, las interacciones y la coordinación entre las organizaciones surgen en los momentos posteriores al desastre y de manera esporádica (Balcik et al., 2010; Cruz-Castro et al., 2019). Durante la preparación, la falta de cohesión y comunicación podría conllevar a mayores problemas de coordinación en la atención y respuesta de las situaciones de emergencia (Kaneberg, 2017). Así, el mejor momento para establecer y consolidar las relaciones de confianza entre los actores, es durante la preparación, ya que, una vez materializado el desastre, puede ser demasiado tarde para coordinar (Tomasini y Van Wassenhove, 2009).

La coordinación durante la etapa de preparación está encaminada a reducir la probabilidad de fallos y errores humanos en la comunicación, evitar la confusión potencial entre los actores, falsas suposiciones y expectativas, y provee una oportunidad de establecer parámetros más claros para proceder durante la respuesta (Tomasini y Van Wassenhove, 2009; Kumar y Havey, 2013). Durante la preparación, distintos procesos que involucran a los *stakeholders* pueden adelantarse, como el fortalecimiento de la confianza, el desarrollo de acuerdos logísticos, gestión de información y comunicación, cuyo fin se centra en la

consolidación de las relaciones intersectoriales y la coordinación inter-organizacional (Altay y Pal, 2014; Kaneberg, 2017; Wilson et al., 2018).

La coordinación en el sector humanitario ya ha recibido una atención significativa en los ámbitos académicos y prácticos (Cozzolino et al., 2017), empero, se requiere de mayor investigación desde un enfoque sistémico frente a la coordinación de las cadenas logísticas humanitarias, teniendo que esta continúa siendo una de las áreas más desafiantes en este sector (Balcik et al., 2010; Tatham et al., 2017). Reconocer las condiciones que circunscriben las interacciones durante la preparación, y sus efectos a nivel de sistema, implica la toma de decisiones respecto al cómo, con quién y en qué grado deben coordinar los actores, lo cual eleva la importancia de desarrollar mecanismos que favorezcan la integración estratégica (Liberatore et al., 2014; Krejci, 2015).

2.2.4 Factores de influencia en la coordinación inter-organizacional

Ya se ha comentado acerca de los beneficios potenciales que pueden obtener las organizaciones con tan solo coordinar de manera efectiva. A nivel académico se han identificado factores de influencia en el desarrollo de actividades conjuntas por parte de las agencias humanitarias (Moshtari y Gonçalves, 2017). Un asunto primordial en la coordinación es la determinación de quién posee el control de los procesos y cuáles son sus competencias (Jahre y Jensen, 2010; Akhtar et al., 2012). Al respecto, el gobierno local, como miembro de la HSC (figura 2.7), se convierte en un actor estratégico y fundamental, ya que actúa como regulador de la entrada de ayuda humanitaria a los territorios, facilita la participación de otras organizaciones y promueve la inter-relación entre ellas (Van Wassenhove, 2006; Heaslip et al., 2012; Kunz y Gold, 2015; Yadav y Barve, 2015). Singh et al. (2018) manifiestan que todo el proceso de definición de políticas para la etapa crítica de la preparación debe estar a la cabeza del gobierno local. La función del gobierno configura un factor esencial para la coordinación inter-organizacional, así como para el desempeño de toda la HSC tanto en la preparación como en la atención efectiva de los desastres.

La revisión de literatura ha permitido encontrar diversos factores que influyen positivamente en la coordinación logística para las operaciones humanitarias. Son estos:

- **Confianza:** No debe asumirse como un fin en sí mismo, sino un medio que facilita la coordinación efectiva; la confianza evoluciona y se desarrolla con el tiempo, y depende altamente de la transparencia de los actores (Tatham y Kovács, 2010; Cozzolino, 2012; Kumar y Havey, 2013; Sebbah et al., 2013; Lu et al., 2018).
- **Procedimientos para compartir y difundir información:** La convergencia de la información es un aspecto crucial en cualquier sistema logístico, pues los sistemas de información y de gestión del conocimiento mejoran la integración de las partes involucradas y desarrolla capital organizacional entre los actores (Kumar y Havey,

- 2013; Altay y Pal, 2014; Maghsoudi y Pazirandeh, 2016; Anjomshoae et al., 2017; Marcinkowski, 2017).
- Tecnologías de información: El uso de las TIC ofrece más transparencia entre las organizaciones, incrementa la confianza entre ellas, permite compartir información, así como controlar y medir el desempeño (Ergun et al., 2014; Kabra et al., 2015; Fikar et al., 2016; Kabra et al., 2017, Singh et al., 2018).
 - Capacidad organizacional: Alude a las capacidades de comunicación, tecnológica, de coordinación, liderazgo y personal calificado (Akhtar et al., 2012; Kumar y Havey, 2013; Mohan et al., 2013).

Por su parte, las barreras a la coordinación que se han identificado en la literatura se presentan a continuación.

- Condiciones inherentes al desastre: Respecto al número y diversidad de actores, la incertidumbre y complejidad del entorno, escasez de recursos, y condiciones de la infraestructura (Nikbakhsh y Farahani, 2011; Akhtar et al., 2012; Ergun et al., 2014; Jensen y Hertz, 2016; Eftekhar et al., 2017; Tatham et al., 2017). Las barreras a la coordinación más resaltadas en la literatura resultan ser aquellas condiciones que emergen posterior a la ocurrencia de los desastres. Esto es un indicador importante, que resalta el valor de coordinar durante la planificación estratégica (fase de preparación) para consolidar relaciones y evitar rupturas potenciales en la HSC en los momentos críticos de atención y respuesta.
- Aspectos gubernamentales: Como ya se mostró, los gobiernos locales son esenciales. En regiones donde los gobiernos demuestran poca capacidad de gestión, se hace mucho más difícil consolidar una estructura sólida para la cadena logística que pueda servir a sus comunidades (Kunz y Gold, 2015). La incapacidad de desarrollar infraestructura sostenible, la falta de apoyo a organizaciones humanitarias, y los cambios frecuentes de políticas, generan un impacto negativo en las relaciones inter-sectoriales (Ni et al., 2015; Kaneberg, 2017).
- Estructura de financiamiento: La escasez de recursos y la alta dependencia a las donaciones dificultan la integración y entendimiento entre los actores, llevando inclusive a la competencia por obtener más recursos y visibilidad mediática (Balcik et al., 2010; Nikbakhsh y Farahani, 2011; Sebbah et al., 2013; Eftekhar et al., 2017; Lu et al., 2018).
- Gestión de la información: La falta de comunicación o la errónea transmisión de información, así como el alto costo de las tecnologías de información, han limitado la implementación de nuevas tecnologías y, en consecuencia, han hecho difícil la coordinación inter-sectorial (Oloruntoba y Gray, 2006; Ergun et al., 2014).

Dentro del sector práctico, las organizaciones han atribuido la falta de coordinación a las marcadas diferencias organizacionales, la falta de confianza y respeto mutuo, las condiciones operacionales desfavorables, y el alto nivel de incertidumbre en términos de oferta y demanda (Eftekhar et al., 2017). Es necesario recordar que la ausencia de una gestión integrada y sistémica repercute en la duplicidad de esfuerzos, solapes e

interferencias de los procesos, todo lo cual limita no solo la planeación de un programa unificado, sino además una ejecución eficiente y efectiva (Sahebi et al., 2017).

Teniendo el alcance definido para esta investigación, respecto del ámbito local del sistema logístico de preparación, se trae a colación los aportes de Charles (2010), quien propone una serie de facilitadores y barreras de coordinación desde la óptica local. Estos elementos se comparten en la tabla 2.5, que aparece seguidamente.

Tabla 2.5. Factores de influencia en la coordinación a nivel local.

| Facilitadores | Barreras |
|---|---|
| Las organizaciones se integran por su deseo de proporcionar ayuda de forma efectiva. | Las ONG locales varían en sus capacidades y su disposición para asociarse con otros organismos. |
| Sensibilizar los objetivos y competencias de los actores clave. | La mayoría de las organizaciones se asocian entre sí solo de manera eventual. |
| Desarrollo compartido de herramientas informáticas para mejorar la captura y análisis de datos. | La información para la evaluación de necesidades, la gestión logística y otras operaciones, es vital, pero por lo general, difícil de obtener. |
| Desarrollo de métodos de evaluación del desempeño. | Las organizaciones humanitarias son deficientes en la gestión de lecciones aprendidas y requieren de un sistema para la gestión del conocimiento. |
| | El sector humanitario tiene muchas deficiencias en la gestión de recursos humanos, desde la contratación hasta la capacitación y evaluación. |

Fuente: Adaptado de Charles (2010).

Con el fin de superar las dificultades implícitas en la coordinación inter-organizacional, Moreno et al. (2016) sostienen que es posible mejorar la coordinación si se integran los actores en la toma de decisiones logísticas clave. Otras alternativas que pueden implementarse en el sector práctico están relacionadas con la definición de una unidad de comando que coordine a las partes involucradas (perspectiva centralizada), y que facilite: la planificación integrada de la respuesta, las alianzas estratégicas, el mejoramiento de los sistemas de información, y la inclusión de las comunidades y el sector académico en decisiones estratégicas (OCHA, 2012; Sahebi et al., 2017). Asimismo, como alternativa concreta para el mejoramiento del desempeño en los procesos logísticos en la gestión de desastres, aparece el desarrollo e implementación de mecanismos de coordinación inter-organizacional (Tatham y Spens, 2016).

2.2.5 Mecanismos de coordinación aplicados a la HSC

A lo largo de este capítulo se ha hecho énfasis en la importancia de llevar a cabo las acciones humanitarias de forma eficiente y efectiva, así como en la necesidad de integración por parte de los actores involucrados en la cadena logística. La coordinación emerge como una respuesta estratégica a las relaciones y dependencias entre las organizaciones, ya que, con la ausencia de estructuras y sistemas formales, la cadena corre el riesgo de interrupciones y fallos en la atención de las víctimas (Xu y Beamon, 2006;

Day et al., 2012). Así, los mecanismos de coordinación comprenden los métodos utilizados que permiten gestionar las relaciones e interdependencias de las organizaciones (Xu y Beamon, 2006).

Los actores involucrados en la HSC han generado un interés por definir cuáles son los mecanismos de coordinación adecuados para diseñar e implementar sus estrategias (Suárez-Moreno et al., 2016), al determinar las funciones y actividades por cumplir, junto con las reglas de acción para cualquier esfuerzo humanitario (Heaslip et al., 2012). En términos generales, Balcik et al. (2010) dividen los mecanismos de coordinación en tres categorías operacionales:

- Mecanismos de coordinación para las compras. Estos benefician las economías de escala, la mayor transparencia entre las organizaciones y el mejor flujo de la información, y pueden obtenerse a partir de las compras cooperativas, como una estrategia de la cadena logística (Herlin y Pazirandeh, 2015).
- Mecanismos de coordinación para el almacenamiento. Una política de inventarios compartidos puede incrementar el nivel de utilización de las capacidades, reducir los costos de almacenamiento, y aumentar los niveles de seguridad de los inventarios (Krejci, 2015). Para mejorar la eficiencia de los procesos de almacenaje, se pueden emplear dos mecanismos: la estandarización de métodos y la tercerización de los procesos; la experiencia del sector privado puede ser compartida con el sector humanitario y permite la gestión de la cadena logística de una forma más sistemática (Balcik et al., 2010; Yao et al., 2018).
- Mecanismos de coordinación para el transporte. Las estrategias de transporte colaborativo resultan un mecanismo de coordinación en el que múltiples organizaciones reúnen, por ejemplo, sus vehículos para una mayor utilización de sus capacidades; ello facilita mejorar el desempeño de la cadena en términos de costos operacionales y tiempos de suministro y entrega durante la respuesta a los desastres (Balcik et al., 2010; Krejci, 2015).

Un mecanismo de coordinación adicional, y de interesante difusión en la literatura, es el enfoque de clúster implementado desde Naciones Unidas y cuyo propósito está dirigido a la solución sistémica del problema de la coordinación humanitaria (Altay y Pal, 2014; Ergun et al., 2014). Bajo este mecanismo, las instituciones son organizadas y categorizadas de acuerdo con sus funciones básicas (sean estas la provisión de albergues, alimentos, agua, salud, procesos logísticos, entre otros), y cada clúster posee un agente líder que debe facilitar la gestión de recursos y la coordinación al interior de su clúster (Jahre y Jensen, 2010; Cozzolino, 2012). En el sector práctico, la aceptación de este enfoque viene dada por su capacidad de cubrir amplios rangos operacionales desde la preparación hasta la respuesta (Tatham y Spens, 2016). A nivel investigativo se ha adoptado el mecanismo de clúster para facilitar la coordinación inter-organizacional al incluir agencias adscritas a la ONU y otras ONG, para adelantar la gestión y control de las labores humanitarias (Nadi y Edrisi, 2017).

Otros mecanismos de coordinación abordados en la literatura son: la comunicación cooperativa, la gestión de conocimiento conjunto, la gestión conjunta de proyectos, mecanismos de centralización y descentralización del sistema, métodos para la contratación y convenios, y la división regional para asignar tareas (Trecarichi et al., 2010; Besiou et al., 2011; Nikbakhsh y Farahani, 2011; Altay y Pal, 2014; Besiou et al., 2014). En Balcik et al. (2010) y Nikbakhsh y Farahani (2011) se argumenta que los mecanismos de coordinación más frecuentemente aplicados en la práctica son las compras colaborativas y la tercerización del almacenamiento, principalmente debido a que hacen parte del nivel operativo, sus bajos costos y el bajo requerimiento tecnológico que estos mecanismos demandan.

Los mecanismos de coordinación aquí presentados requieren la inversión de esfuerzos y recursos de las partes involucradas, pero su efecto en la función del costo y en la atención efectiva de las víctimas es innegable, lo cual debe motivar a las organizaciones a buscar objetivos comunes y globales en todo el sistema logístico (Balcik et al., 2010; Nikbakhsh y Farahani, 2011). Establecer y desarrollar los mecanismos de coordinación en los momentos correctos favorece la definición de objetivos comunes, así como el nivel de involucramiento de cada actor, siempre que se asuma la coordinación como una oportunidad compartida de mejorar la asignación y cumplimiento de las responsabilidades (Tomasini y Van Wassenhove, 2009; Tang et al., 2017; Zhu et al., 2018).

Existe evidencia, por tanto, de los esfuerzos invertidos a nivel práctico e investigativo en la proposición de métodos para facilitar la coordinación inter-organizacional en el complejo sector humanitario, mediante los diversos mecanismos descritos aquí. Además, con la necesidad manifiesta de adelantar más investigación en estos contextos, y desde un enfoque sistémico (como se expresaba en la sección 2.2.1.), se han definido líneas de acción que aplican nuevas tecnologías en el diseño de herramientas de soporte a las decisiones en el manejo de desastres, y de lo cual pasará a hablarse a continuación.

2.2.6 Metodologías aplicadas al estudio de las HSC desde el enfoque de sistemas complejos

Krejci (2015) afirma que en la literatura no se han propuesto modelos que permitan evaluar la implementación de los diferentes mecanismos de coordinación en la HSC. Ni tampoco modelos que permitan a los actores analizar escenarios a partir de distintas estrategias de coordinación, de modo que puedan seleccionarse los mecanismos y socios apropiados de acuerdo con cada situación particular (Krejci, 2015). Jensen y Hertz (2016) argumentan que el bajo nivel de conocimiento que poseen las organizaciones locales dificulta la definición de roles precisos para los miembros del sistema logístico, por cuanto no existe un marco general de cómo se organizan y relacionan los actores en el sector humanitario.

Como se mencionó antes, el desarrollo investigativo de la logística humanitaria está aún por debajo de su contrapartida comercial (Kumar y Havey, 2013; Das y Hanaoka, 2014).

Galindo y Batta (2013) sostienen que, a fin de acercar el campo investigativo a las organizaciones humanitarias, es menester que desde el sector académico se formulen modelos que cuenten con la capacidad de asumir condiciones reales y que sean aplicables al sector práctico. A conciencia de la alta complejidad y condiciones de alta incertidumbre del contexto humanitario (tanto en la respuesta como en la preparación), no es del todo conveniente modelar los sistemas logísticos humanitarios mediante métodos matemáticos tradicionales o modelos analíticos por las siguientes razones: los modelos analíticos se basan en modelos matemáticos que buscan obtener una solución óptima; no obstante, plantear una configuración óptima de recursos resultará inútil si los recursos humanitarios no logran proveer el tratamiento de las víctimas y no se logra satisfacer sus necesidades (Tian et al., 2014). Además, los sistemas complejos –como aquellos del sector humanitario– están compuestos por múltiples y numerosos tomadores de decisiones, que deben ser modelados de forma dinámica e individual con un comportamiento no lineal, de lo cual resulta que no podrán modelarse a través de métodos tradicionales de modelación matemática (Krejci, 2015).

En su lugar, la simulación es considerada una metodología apropiada para el estudio de este tipo de problemas, en donde se resaltan los beneficios para los tomadores de decisiones (Hooshangi y Alesheikh, 2018). Existen métodos de simulación que ofrecen la oportunidad de modelar individualmente cada entidad involucrada en el sistema complejo, y ello facilita visualizar la dinámica completa del sistema, lo cual conduce a estimar estrategias y reproducir diversas condiciones para un mismo problema (Tian et al., 2014; Nadi y Edrisi, 2017; Ochoa et al., 2017). Entre las metodologías más utilizadas para simular el comportamiento complejo de los sistemas logísticos humanitarios, están la dinámica de sistemas y los modelos basados en agentes. Seguidamente, se describen brevemente los principales aspectos que caracterizan estas dos metodologías de simulación.

Dinámica de sistemas (DS)

La dinámica de sistemas es un enfoque bien conocido para el estudio de problemas complejos caracterizados por altos niveles de incertidumbre, complejidad y relaciones causales, como lo son las operaciones humanitarias (Besiou et al., 2011; Peng et al., 2014a). La DS se convierte en un enfoque que permite estudiar la evolución de un sistema con dinámicas de realimentación a partir de un conjunto de ecuaciones diferenciales (Diedrichs et al., 2016; Voyer et al., 2016).

Los principios que rigen la DS permiten integrar decisiones estratégicas con las actividades a nivel operacional (Anjomshoae et al., 2017). Su modelo de representación es el diagrama de ciclos causales. Bajo este esquema, las variables se conectan entre sí formando ciclos de realimentación que se entienden como una sucesión de causas y efectos que, según los cambios en las variables, generan efectos en todo el ciclo volviendo hasta la variable que inicialmente influyó (Besiou et al., 2011). El comportamiento dinámico del sistema se genera a partir de la interacción entre los ciclos

positivos (o de refuerzo) y negativos (o de balance), de acuerdo con las relaciones que posean las variables entre sí (Besiou et al., 2011; Anjomshoae et al., 2017).

La dinámica de sistemas usa una terminología basada en niveles y flujos que, junto con los ciclos de realimentación, representan la dinámica de la estructura del sistema complejo modelado, buscando así, simular el sistema en función de un objetivo o un estado del sistema deseado (Anjomshoae et al., 2017).

Modelación basada en agentes (MBA)

La modelación basada en agentes es una metodología que incorpora el comportamiento sistémico de las interacciones de los elementos que componen un sistema (Altay y Pal, 2014). De este modo, MBA se asume como una alternativa apropiada para describir el comportamiento complejo de los sistemas al considerar la integración e inter-relación de múltiples agentes modelados individualmente, y que generan un resultado global en el sistema (Krejci, 2015; Bae et al., 2018).

Dentro de las ventajas que posee MBA se resalta la flexibilidad para los procesos de toma de decisiones en un entorno dinámico, es decir, la facilidad de adaptar cambios en el sistema complejo con la mínima influencia en los procesos que en este se llevan a cabo (Das y Hanaoka, 2014). Con ello, es posible modelar la coordinación en la logística humanitaria a través de las interacciones de agentes autónomos y el comportamiento sistémico emergente característico de estos contextos (Krejci, 2015).

La flexibilidad de este enfoque de modelación facilita cambiar distintos niveles de agregación o abstracción del sistema, al agrupar o desagrupar grupos de agentes, en función de la complejidad del comportamiento individual, la capacidad de aprendizaje, y las reglas de interacción (Altay y Pal, 2014). Las bondades de aplicar MBA en cualquier sistema logístico radica en las posibilidades de estudiar propuestas y alternativas de solución a los problemas de comunicación, negociación y coordinación (Chan y Chan, 2010). Por estas razones, se considera que MBA es un enfoque pertinente y ajustado para el estudiar los comportamientos complejos de los actores involucrados en la gestión de desastres y, particularmente, en los problemas de coordinación inter-organizacional (Altay y Pal, 2014; Krejci, 2015).

Con el ánimo de complementar la descripción de las dos metodologías de simulación, la revisión de literatura se utilizó para identificar su implementación en problemas logísticos enfocados en el manejo de desastres, con un interés particular en la coordinación inter-agencia. Los resultados de la revisión han conducido a la elaboración de las tablas 2.6 y 2.7, donde se incluyen algunos autores que han aplicado DS y MBA en trabajos publicados recientemente en el campo de la logística humanitaria.

Tabla 2.6. Investigaciones recientes que abordan la coordinación en la LH aplicando DS.

| Autores | Descripción |
|-------------------------|--|
| Heaslip et al. (2012) | Estudio de los procesos de coordinación y gestión de las relaciones entre los sectores civiles y militares a través de las distintas etapas del manejo de desastres. |
| Kunz et al. (2014) | Evalúan los efectos de invertir en capacidades de gestión de desastres y el pre-posicionamiento para la respuesta a desastres. |
| Peng et al. (2014b) | Estudian el impacto de las condiciones de las vías y las demoras de la información en la cadena durante la respuesta. |
| Diedrichs et al. (2016) | Elaboran un método para cuantificar los efectos de la comunicación en la respuesta logística de desastres. |
| Powell et al. (2016) | Modelo para identificar y evaluar el riesgo, la gestión del conocimiento y los flujos de información frente a amenazas de inundación. |
| Guo y Kapucu (2020) | Se desarrolla un modelo que facilita la toma de decisiones colaborativas y el involucramiento de los <i>stakeholders</i> en los procesos logísticos para la atención de desastres. |

Tabla 2.7. Investigaciones recientes que abordan la coordinación en la LH aplicando MBA.

| Autores | Descripción |
|------------------------------|---|
| Trecarichi et al. (2010) | Desarrollo y estudio de un sistema de gestión de conocimiento para analizar los patrones de obtención de información durante la respuesta a emergencias. |
| Zagorecki et al. (2010) | Se enfocan en las operaciones diarias de respuesta a emergencias y usan simulación para analizar los patrones de comunicación y redes de intercambio de información entre los agentes. |
| Altay y Pal (2014) | MBA para analizar el papel del líder del clúster y las agencias miembros, respecto a los mejores flujos de información. |
| Krejci (2015) | Modelo híbrido de simulación de eventos discretos y MBA para estudiar la toma de decisiones y el comportamiento de los actores, y cómo los mecanismos de coordinación permiten mejorar la eficiencia y efectividad en la preparación y respuesta. |
| Fikar et al. (2016) | Combinación de MBA con meta-heurísticas para diseñar un DSS que facilite la coordinación entre organizaciones privadas y humanitarias en la distribución de última milla. |
| Suárez-Moreno et al. (2016) | Abordan el problema de la convergencia de materiales y diseñan un MBA para demostrar cómo en un escenario de coordinación, el desempeño logístico mejora en velocidad de respuesta y cobertura. |
| Nadi y Edrisi (2017) | Modelo para evaluar el desempeño de la ayuda humanitaria en coordinación con la respuesta a la emergencia, a través del mejor flujo de información. |
| Tang et al. (2017 y 2018) | Estudian el método de asignación de tareas basada en subastas para desarrollar el plan de respuesta cooperativo de los equipos de búsqueda y rescate. |
| Aros y Gibbons (2018) | Alternativas de diseño de los protocolos y medios de comunicación para los procesos de respuesta a desastres. |
| Bae et al. (2018) | Modelo para coordinar el traslado de personas heridas en situaciones de emergencia. |
| Hashemipour et al. (2018) | Evaluación del diseño en la conformación de equipos de búsqueda y rescate para la respuesta inmediata. |
| Hooshangi y Alesheikh (2018) | Desarrollo de un MBA para las operaciones de atención a terremotos que permite la colaboración de agentes en la toma de decisiones. |
| Zhu et al. (2018) | Plan de rescate cooperativo basado en un mecanismo de asignación vía subastas para mejorar el desempeño global. |

A partir de la información suministrada en las tablas 2.6 y 2.7, puede verse, en primer lugar, que la mayor parte de estas investigaciones están centradas en la fase de respuesta a desastres. Los trabajos de Heaslip et al. (2012), Kunz et al. (2014), Powell et al. (2016), Altay y Pal (2014), y Krejci (2015) consideran procesos de preparación como el posicionamiento o el análisis y manejo de información, mas no abarcan procesos estratégicos de planificación para el sistema logístico, como corresponde en esta fase. Se refleja una preferencia hacia los MBA para abordar los problemas de coordinación inter-organizacional. En esta línea, los equipos de búsqueda y rescate son los agentes más estudiados, junto con las personas víctimas y heridos por las emergencias; una tendencia coherente, teniendo que predominan los estudios en la respuesta post-desastre.

Con lo anterior, se hace evidente la oportunidad para desarrollar investigación dirigida no solo hacia los procesos estratégicos de la etapa de preparación, sino también, para proponer alternativas de solución integrales y holísticas a los problemas de coordinación inter-organizacional en el ámbito humanitario, con base en las metodologías vistas.

Para un análisis comparativo de las dos metodologías de simulación, se toman los planteamientos de Borshchev y Filippov (2004). Según estos autores, la ventaja que posee MBA sobre DS radica principalmente que la modelación en MBA puede realizarse en ausencia del conocimiento de las dinámicas globales del sistema complejo y, en su lugar, se modela el comportamiento individual de los agentes –junto con sus relaciones e interacciones–, para visualizar el comportamiento global del sistema. Además, los MBA pueden ser mejorados al capturar comportamientos e interacciones mucho más complejas, lo que brinda una aproximación más profunda y detallada del sistema modelado (Borshchev y Filippov, 2004). Krejci (2015) define las siguientes bondades de la MBA: permite un enfoque de modelación *bottom-up* (de lo particular a lo global); los agentes poseen sus propias reglas de decisión; se puede visualizar una estructura descentralizada del sistema; y los agentes son activos, poseen inteligencia y capacidad de decisión, lo cual aumenta la correspondencia del modelo con la realidad.

A partir de los elementos expuestos, la decisión respecto a la metodología de simulación a aplicar en el desarrollo de esta investigación se ha inclinado por el diseño de un MBA. Las posibilidades de aplicar esta metodología en el sector humanitario se exacerban por su capacidad de modelar cada componente del sistema como un agente autónomo con comportamientos distintivos (Hashemipour et al., 2018). Se suma la bondad de desarrollar un marco decisional de fácil adaptación según las características y particulares que pueda poseer una región (Fikar et al., 2018). Igualmente, existe la posibilidad de involucrar expertos del sector práctico en su desarrollo y aplicación, lo cual, prospectivamente pueda propender por el mejoramiento en sus procesos de gestión, manejo de recursos y mejor coordinación inter-sectorial (Diaz et al., 2015; Hawe et al., 2015).

2.3 Declaración del vacío de conocimiento

Los aspectos abordados a lo largo de este capítulo resaltan la novedad, pertinencia y relevancia de la logística humanitaria como campo de estudio emergente. Con estas consideraciones se ha diseñado la tabla 2.8, donde se resumen aportes abstraídos de la literatura revisada y que justifican la determinación de algunos vacíos de conocimiento, al igual que unas áreas de oportunidad investigativa en correspondencia a los mismos vacíos.

Tabla 2.8. Generalidades que demarcan los vacíos de conocimiento identificados en la literatura.

| Área de interés | Autores | Aportes relevantes | Áreas de oportunidad |
|--------------------------------|--|--|--|
| Preparación para los desastres | Kumar y Havey (2013); Das y Hanaoka (2014). | Pese a su complejidad, la logística humanitaria no ha llegado al mismo nivel investigativo que la logística empresarial tradicional. | Fomentar el interés académico y práctico por hacer más investigación en el manejo de desastres y logística humanitaria. |
| | Van Wassenhove (2006); Tomasini y Van Wassenhove (2009); Charles y Lauras (2011); Ozguven y Ozbay (2015); Timperio et al. (2017). | La preparación es la etapa de mayor importancia en la gestión de desastres. La preparación es fundamental para el éxito de las operaciones de respuesta. La respuesta no surge como un resultado improvisado; debe ser preparada para que sea efectiva. | El interés académico debe enfocarse también en la fase de preparación. Mayor investigación en la preparación conducirá a resolver vacíos y malinterpretaciones conceptuales de la preparación en la realidad. |
| | Jahre et al. (2016); Jensen y Hertz (2016). | No hay aún una comprensión unificada sobre lo que constituye la preparación logística. No existe un marco consistente de la preparación que presente cómo deben relacionarse los distintos actores involucrados. | Los esfuerzos investigativos podrán, además, disminuir la brecha entre los avances teóricos y las necesidades del sector práctico. |
| | Barbarosoğlu y Arda (2004); Galindo y Batta (2013); Kunz et al. (2014); Rodríguez-Espíndola y Gaytán (2015). | Se deben incrementar los esfuerzos investigativos hacia la preparación para la atención de desastres. Deben dirigirse más esfuerzos al desarrollo de capacidades de toma de decisiones y a mejorar la planeación logística de respuesta. El sector académico debe formular modelos que cuenten con la capacidad de asumir condiciones reales y que sean aplicables al sector práctico. | |
| Gestión del desempeño | Cozzolino (2012); Galindo y Batta (2013); Hadiguna et al. (2014); Osorio-Ramírez (2016); Ganguly et al. (2017); Manopiniwes e Irohara (2017); Rodríguez-Espíndola et al. (2018a). | La función de la preparación está dirigida hacia una respuesta más eficiente y efectiva. Con sistemas de información y comunicación se incrementa la capacidad de respuesta efectiva. El desempeño logístico mejora cuando las relaciones se gestionan de forma más integral. | Adelantar más investigación en formulaciones de indicadores aplicables al sector humanitario. Fomentar también la gestión del desempeño durante la fase de preparación y proponer indicadores aplicables y comprensibles en esta etapa. |
| | Nikbakhsh y Farahani (2011); Day et al. (2012); Vitoriano et al. (2015); Caunhye et al. (2016); Hasanzadeh y Bashiri (2016); Rezaei-Malek et al. (2016); Rodríguez-Espíndola et al. (2018b); Paul y Wang (2019). | La efectividad debe ser el objetivo primario de la acción humanitaria. Las prioridades varían según las fases del ciclo de la gestión de desastres. La importancia del desempeño radica en su influencia sobre la atención de las comunidades, y por la marcada escasez de recursos. | |
| | Beamon y Balcik (2008); Charles y Lauras (2011); Granberg (2013); Abidi y Scholten (2015); Jahre et al. (2016); Tatham et al. (2017); Mejia-Argueta et al. (2018). | La falta de planificación en el contexto humanitario conduce a serias ineficiencias. Las agencias ya reconocen la importancia de gestionar y medir el desempeño de las operaciones. El contexto de los desastres trae retos en la selección de las métricas de desempeño, y la preparación difícilmente es medible. No se han propuesto formulaciones integrales para medir la preparación en escenarios de alta incertidumbre. El desempeño es un factor clave en la gestión de desastres, pero sigue en su infancia investigativa. | |

Tabla 2.8. Continuación.

| Área de interés | Autores | Aportes relevantes | Áreas de oportunidad |
|---|--|--|---|
| Actores involucrados en la gestión de desastres | IFRC (2012); Besiou et al. (2014); Rodríguez-Espíndola y Gaytán (2015); Mejía-Argueta et al. (2018). | Buena parte de la literatura se enfoca en agencias internacionales que participan en la atención de grandes desastres. Los pequeños desastres son el 80% de los eventos registrados en el mundo. El mayor número de desastres y víctimas causados son causados por eventos relacionados con fenómenos hidrometeorológicos. | Se evidencian oportunidades de investigación enfocados hacia pequeños y medianos desastres, así como en otros tipos de fenómenos, como los hidrometeorológicos. |
| | Kovács y Spens (2007); Krejci (2015); Vega y Roussat (2015); Yadav y Barve (2015); John y Ramesh (2016); Regis-Hernández et al. (2017); Sahebi et al. (2017). | El papel de las agencias locales es relevante por su presencia <i>in situ</i> . Los actores locales conocen su propio territorio, representan la primera fuente de recursos, y son los primeros respondientes. Además, son los principales responsables de desarrollar los planes de respuesta a nivel local durante la preparación. | Los actores locales son los principales actores responsables de atender desastres de pequeña escala, son los primeros respondientes, y los responsables de la preparación logística local. |
| Coordinación inter-organizacional | Van Wassenhove (2006); Balcik et al. (2010); Afshar y Haghani (2012); Akhtar et al. (2012); Baldini et al. (2012); Cozzolino (2012); OCHA (2012); Diedrichs et al. (2016); Ganguly y Rai (2016); Sahay (2016); Suárez-Moreno et al. (2016); Anjomshoae et al. (2017); Cozzolino et al. (2017); Owusu-Kwateng et al. (2017); Tatham et al. (2017); Drakaki et al. (2018); Rodríguez-Espíndola et al. (2018b). | Los actores en la HSC deben coordinar a fin de cumplir sus objetivos. Este esfuerzo debe cumplirse de forma holística y sistémica. La coordinación es la columna vertebral de la cadena logística humanitaria. Dada la complejidad en el sector humanitario, ninguna agencia puede por sí misma suplir la totalidad de requerimientos. Si los agentes actúan coordinadamente tendrán mejor desempeño que aquellas que actúan de manera aislada. Pese a su importancia, la coordinación sigue siendo una de las áreas de mayor desafío en el ámbito humanitario. | La coordinación es una condición fundamental en el éxito de la acción humanitaria, por cuanto es necesario profundizar su investigación. Hace falta más estudios enfocados en el efecto de la coordinación durante la fase de preparación. Lo anterior, puede soportarse a partir del análisis de distintos mecanismos de coordinación que puedan ser propuestos e implementados en los procesos logísticos de la gestión de desastres. |
| | Tomasini y Van Wassenhove (2009); Jahre et al. (2016); Kaneberg (2017); Rodríguez-Espíndola et al. (2018a). | Las relaciones inter-sectoriales se enfocan más en la fase de respuesta que en la preparación y recuperación. En la práctica, las relaciones surgen de forma esporádica posterior al desastre y por las necesidades urgentes de la emergencia. Es esencial promover la coordinación desde la etapa de la preparación para la atención de desastres. La preparación debe explotarse por parte de los actores para desarrollar plataformas colaborativas. El mejor momento para establecer relaciones de confianza es durante la preparación. | |
| | Tomasini y Van Wassenhove (2009); Krejci (2015); Jensen y Hertz (2016); Suárez-Moreno et al. (2016); Tatham y Spens (2016); Tang et al. (2017); Zhu et al. (2018). | Como alternativa para mejorar el desempeño en la gestión de desastres se tienen los mecanismos de coordinación. El sector humanitario ha mostrado interés por definir cuáles son los mecanismos de coordinación más relevantes para sus estrategias. Los mecanismos de coordinación permiten definir objetivos comunes y roles claros para cada actor. La falta de definición de niveles de participación ha impedido lograr un marco general de cómo deben organizarse y relacionarse las agencias. Sin embargo, no se han propuesto modelos que permitan evaluar la implementación de diferentes mecanismos de coordinación en la HSC. | |

Tabla 2.8. Continuación.

| Área de interés | Autores | Aportes relevantes | Áreas de oportunidad |
|--------------------------------|--|---|--|
| Enfoque sistémico y simulación | Barbarosoğlu y Arda (2004); Anaya-Arenas et al. (2014); Caunhye et al. (2016); Goldman (2017). | La Ingeniería potencia su valor cuando se aportan modelos que resuelven problemas sociales. La complejidad del sector humanitario conlleva a una re-ingeniería en la planeación estratégica de los desastres. El sector académico debe propender por alternativas más realistas, para desarrollar capacidades conjuntas de toma de decisiones. | Se requiere de mayor esfuerzo investigativo y académico para abordar problemas inherentes al manejo de desastres desde una perspectiva holística y sistémica que reconozca las condiciones contextuales de los desastres, las condiciones particulares de los actores involucrados y la alta complejidad del sector. La simulación de sistemas complejos surge como alternativa viable para estudiar los problemas logísticos e inter-organizacionales del ámbito humanitario. |
| | Balcik et al. (2010); Jahre y Jensen (2010); Kabra et al. (2015); Klumpp et al. (2015); Remida (2015); Yadav y Barve (2015); Xu et al. (2016); Tatham et al. (2017). | La ausencia de una perspectiva sistémica genera más dificultad en la gestión de desastres y mayores ineficiencias operativas. Partiendo de la complejidad en la preparación de desastres, el enfoque de sistemas es una alternativa útil para abordar problemas de la HSC. Estos contextos de alta incertidumbre no han sido suficientemente estudiados desde el enfoque de sistemas, y requiere de más investigación. El enfoque de sistemas también resulta útil para analizar aspectos de diseño de la cadena logística, y los problemas de la coordinación humanitaria. | La modelación basada en agentes se reconoce como un enfoque de simulación apropiado para abordar estos problemas. No obstante, MBA ha sido utilizado como enfoque de simulación para cubrir problemas de la respuesta. La oportunidad de hacer más investigación, aprovechando las bondades de modelación de MBA, se evidencia en la posibilidad de abordar problemas de complejidad enmarcados en la fase de preparación. También un área de interés es la coordinación inter-organizacional durante esta fase. |
| | Borshchev y Filippov (2004); Izquierdo et al. (2008); Chan y Chan (2010); Altay y Pal (2014); Das y Hanaoka (2014); Diaz et al. (2015); Hawe et al. (2015); Krejci (2015); Fikar et al. (2018); Hashemipour et al. (2018); Hooshangi y Alesheikh (2018). | Los sistemas complejos están compuestos por numerosos tomadores de decisiones que deben ser modelados de forma dinámica. La simulación se considera un mecanismo apropiado para estudiar este tipo de problemas. El enfoque MBA se ajusta al estudio de los actores involucrados en la gestión de desastres, así como a los problemas de coordinación inter-organizacional. Las bondades de aplicar MBA radican en: la flexibilidad de modelar entornos dinámicos, la posibilidad de modelar cada componente del sistema con sus dinámicas distintivas, y puede abordar problemas de comunicación, negociación y coordinación. | |
| | Trecarichi et al. (2010); Zagorecki et al. (2010); Altay y Pal (2014); Krejci (2015); Fikar et al. (2016); Suárez-Moreno et al. (2016); Nadi y Edrisi (2017); Tang et al. (2017 y 2018); Aros y Gibbons (2018); Bae et al. (2018); Hashemipour et al. (2018); Hooshangi y Alesheikh (2018); Zhu et al. (2018). | Se han propuesto MBA centrados principalmente en la fase de respuesta a desastres. Algunos MBA consideran procesos de preparación como el pre-posicionamiento y otros relacionados con el manejo de información. No se evidencian MBA que aborden aspectos estratégicos del diseño de la HSC o la planificación del sistema logístico. Se han propuesto MBA para analizar las relaciones en procesos de respuesta, asignación de tareas con esquemas de subastas, y la coordinación de equipos de búsqueda y rescate, principalmente. | |

Como se muestra en esta tabla, los principales vacíos identificados tienen que ver con cinco campos específicos: la preparación para la atención de desastres, la gestión del desempeño, los actores locales involucrados, la coordinación inter-organizacional, y el enfoque sistémico y simulación. El agrupamiento de los vacíos señalados, demarcan una complejidad y una amplitud diversa en las temáticas que deben aún fomentarse en la logística humanitaria, como campo de investigación en pleno desarrollo. Por lo cual, esta tesis (mediante la ejecución de su estrategia metodológica) pretende aportar avances en las temáticas incluidas en la tabla 2.8, de acuerdo con las áreas de oportunidad descritas, y sobre las cuales se manifiesta, igualmente, la coherencia que estas guardan con los

conceptos incorporados en los objetivos general y específicos de este trabajo, así como con la hipótesis general de la investigación.

2.4 Conclusiones del capítulo

El propósito principal de este capítulo estaba dirigido al planteamiento y descripción de los elementos teóricos que enmarcan y justifican la necesidad de realizar el proyecto investigativo presentado en esta tesis. Como se transmite a través de los datos suministrados en la sección 2.1.1., es indiscutible el incremento de los desastres naturales acaecidos en los últimos tiempos, y no menos importante, el aumento también en la cantidad de víctimas que dejan estos fenómenos. Tan solo la consideración de estas dinámicas resulta suficiente para justificar el interés investigativo en los campos relacionados con la gestión y el manejo de desastres.

Igualmente, durante los últimos años se ha revelado y consolidado la rama de investigación de la SCM enfocada a la gestión de los procesos relacionados con el manejo de desastres. Así, la logística humanitaria se encarga de los procesos de planificación y control de los procesos logísticos durante la preparación, respuesta y recuperación de desastres. En este sentido, la preparación logística y la planificación estratégica de la respuesta son aspectos fundamentales y críticos de cara a una respuesta efectiva de los esfuerzos humanitarios, cuyo fin persigue la reducción de las muertes y el sufrimiento de las personas en estado de vulnerabilidad, como consecuencia de la materialización de los eventos de desastre.

Por otra parte, el entorno que caracteriza la gestión de desastres viene determinado por una serie de aspectos que incrementan la dificultad de los procesos de respuesta, dándole al escenario una complejidad que supera ampliamente a la gestión logística comercial. Aunque no menos importante es la complejidad durante las actividades pre-desastre. En especial, por los altos niveles de incertidumbre, respecto al dónde, cuándo y con qué intensidad se presentará el próximo fenómeno. Sumado a estas condiciones, la cantidad y diversidad de los actores involucrados incrementa la complejidad en el desarrollo de los procesos logísticos, dado que estas organizaciones poseen diferentes motivaciones, intereses, experiencia y capacidades para confrontar estas situaciones. Además, como se mencionó en las secciones 2.2.2. y 2.2.3., la importancia de la participación coordinada de agencias de carácter local en la preparación y respuesta a los desastres es invaluable, en cuanto son los principales responsables de diseñar y gestionar los planes de emergencia a nivel local, así como son los primeros llamados a responder en sus propios territorios.

Por las razones que se acaban de explicar, se hace absolutamente necesario concebir el problema de la coordinación inter-organizacional y la implementación de mecanismos de coordinación durante la preparación para los desastres desde una perspectiva sistémica. Se debe, consecuentemente, trascender del paradigma de los procesos de la logística humanitaria –como una secuencia lineal de operaciones ejecutadas antes, durante y después de los desastres–, hacia un enfoque integral de sistemas que asimile y visualice

estos problemas como un fenómeno complejo que implica afrontarlo holísticamente y desde el enfoque de SCM, ya que estos ambientes humanitarios describen y se amoldan perfectamente en la descripción de un sistema complejo.

Basados en la alta complejidad y la perspectiva de sistemas requerida para abordar los problemas logísticos del sector humanitario, en la literatura se han implementado soluciones diseñadas a partir de dos enfoques: la dinámica de sistemas y la modelación basada en agentes. Este último posee unas capacidades inherentes para el estudio de sistemas complejos y en consecuencia se ha decidido aplicar la metodología MBA para el desarrollo programático de la investigación. De esta forma, la metodología de modelación elegida para este proyecto no solo es válida, sino también, conveniente. Es una oportunidad de explorar y explotar esta metodología a nivel académico, respecto al problema de la coordinación inter-organizacional de los actores locales clave involucrados en el sistema logístico de preparación para la atención de desastres. Con esto, se espera dar luces junto con alternativas factibles de solución que puedan ser tomados por parte de las organizaciones interesadas en el sector práctico y así, buscar la mejora en la gestión de sus recursos y sus funciones tanto a nivel operativo como a nivel global.

PARTE II

Desarrollo metodológico de la investigación

Caracterización, diseño y modelación para la simulación

Propósito: A través de los capítulos iniciales de esta tesis, se abordó el problema de investigación y se definió el enfoque, alcance y propósitos de la investigación. A partir del diseño metodológico propuesto, se busca dar cumplimiento a los objetivos definidos anteriormente. Los propósitos de esta sección están dirigidos al abordaje de los distintos enfoques metodológicos establecidos, de modo riguroso y adherido a la literatura-teoría para lograr los resultados esperados del proceso investigativo.

Metodología: Se ha requerido la aplicación de distintos enfoques metodológicos en esta tesis, entre ellos, se tienen: la revisión de literatura, el estudio de expertos y el trabajo de campo basado en entrevistas. Lo cual ha alimentado los procesos de diseño y modelación respecto al sistema que se plantea simular: el sistema logístico local de preparación para la atención de emergencias y desastres.

Hallazgos/Resultados: Mediante la revisión de literatura y el estudio de expertos se han identificado los actores, procesos logísticos e indicadores de desempeño más relevantes a fin de involucrarlos en el sistema logístico local de preparación. Asimismo, el trabajo de campo desarrollado permite la caracterización de las capacidades de los organismos involucrados en la preparación local dentro del sistema logístico humanitario. Todo lo cual, ha conducido a la consecución del diseño del modelo conceptual y su consecuente modelo de simulación. A partir de este último, se espera mostrar cómo a través de la implementación de mecanismos de coordinación se pueden obtener mejoras en el desempeño del sistema local de actores responsables de los procesos de preparación de emergencias y desastres.

Implicaciones de la investigación: Un modelo de simulación ha sido desarrollado a partir de la aplicación de los instrumentos de investigación elaborados para el estudio. El modelo responde a las necesidades y a los propósitos definidos para la investigación. Lo cual permite su posterior evaluación y análisis del caso tomado del ámbito real. De este modo, puede evidenciarse cómo, a partir de la implementación de mecanismos de coordinación, el sistema local de preparación presenta un mejor desempeño.

3. Capítulo tercero: Estudio de expertos

A partir de este capítulo se presenta la perspectiva metodológica que ha sugerido el mismo desarrollo de la investigación, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos perseguidos en este proyecto investigativo. Este capítulo tiene como propósito describir los procedimientos desarrollados en un estudio de expertos, diseñado para seleccionar de manera objetiva y rigurosa los elementos principales a considerar del sistema logístico de preparación a nivel local. Lo anterior bajo la perspectiva de tres aspectos fundamentales: (i) los procesos logísticos que durante la fase de preparación deben llevarse a cabo, (ii) los actores de mayor preponderancia que a nivel local son responsables de la gestión de desastres y, consecuentemente, los responsables de la preparación de emergencias y desastres; y (iii) los principales indicadores de desempeño que deben ser gestionados durante la fase que aquí se viene tratando.

A partir de la revisión de literatura y la comprensión del estado del arte, una amplia gama de sectores organizacionales y una diversidad importante de procesos y estrategias de preparación se han encontrado plausibles en el contexto de la preparación logística para la atención de emergencias y desastres. Los cuales, si se abordasen en su totalidad, excederían el alcance y posibilidades de esta tesis. Debido a esto, una alternativa viable que se vislumbró para acotar y filtrar este importante número de elementos se encontró en el desarrollo de un estudio de expertos académicos en el campo de la logística humanitaria.

Para iniciar el desarrollo discursivo de este capítulo se parte de la revisión de literatura para identificar los elementos que conforman el sistema logístico de preparación, en términos de procesos logísticos, actores involucrados e indicadores de desempeño. Con ello se justifica adelantar el estudio de expertos en cumplimiento de los objetivos trazados en esta fase de la investigación. Posteriormente, se hará un breve recuento del diseño y consolidación del instrumento de investigación aplicado en el estudio, incluyendo aspectos con la selección de expertos, envío del instrumento, recolección de respuestas y análisis estadísticos de estos últimos. Los resultados logrados y las conclusiones obtenidas de tales procedimientos serán presentados en la sección final del capítulo.

3.1 Elementos que constituyen el sistema logístico de preparación para los desastres

A conciencia de los propósitos establecidos para la investigación (que se han compartido en el capítulo 1 de este manuscrito), debe ser identificado el sistema logístico de preparación que se configura en un contexto regional local. Para este reconocimiento, se acudió al estado del arte con el objeto de identificar los actores y procesos que, en el marco de la gestión de desastres, se ven involucrados durante la etapa de preparación para la atención de emergencias y desastres. Esta sección, por tanto, se centra en presentar los resultados de tal revisión, los cuales se convierten en el fundamento principal para abordar el estudio de expertos como se expondrá más adelante.

Como se mostraba en el capítulo anterior (particularmente en las secciones 2.2.2. y 2.2.4.), en la literatura se han divulgado casos de estudio importantes que se centran en organizaciones internacionales (Jahre, 2017), aun cuando son las agencias locales los primeros respondientes (Sheppard et al., 2013). Como se expone en los trabajos de Sheppard et al. (2013) y Ganguly y Rai (2016), las agencias locales son quienes actúan en las zonas afectadas por un desastre antes de arribar cualquier ayuda foránea, y por tanto deben empoderarse de las principales responsabilidades para concretar efectividad y sostenibilidad de las labores humanitarias.

Según sostienen Balcik y Beamon (2008), cuando las organizaciones humanitarias se unen en procesos de preparación, se busca principalmente mejorar las capacidades logísticas de respuesta. Esto concuerda por lo establecido en Suárez-Moreno et al. (2016), para quienes los altos niveles de coordinación significan un mejor desempeño en la acción humanitaria. Esto sustenta la consideración del desempeño de los procesos de preparación como un elemento importante a considerar en la estructuración del sistema logístico.

Al definir un nivel de detalle apropiado para abordar el sistema logístico de preparación, se hace necesario determinar cuáles son los elementos que estructuran tal sistema. En este orden de ideas, como elementos de un sistema humanitario se han propuesto a los actores e instituciones involucradas, así como los distintos tipos de recursos, entre los que se encuentran los suministros humanitarios, instalaciones físicas, información, y otros (Xu et al., 2016). Ello concuerda con el acervo argumentativo expuesto en Jahre et al. (2016), cuando se establece que la preparación logística de desastres (entiéndase: el sistema logístico de preparación) enmarca tres aspectos esenciales: los actores involucrados, los procesos de preparación y los recursos disponibles. En línea con lo expresado, la revisión de literatura permitió identificar los actores, procesos, recursos, así como los indicadores de desempeño que se han planteado desde la teoría en el marco de la preparación para la atención de emergencias y desastres.

Así, en las siguientes líneas se dará un breve repaso de los hallazgos obtenidos del estado del arte en función de los actores, procesos e indicadores de desempeño inmersos en la fase de preparación.

3.1.1 Los procesos logísticos en el marco de la preparación para los desastres

En el capítulo anterior se sugería, con base en autores como Kovács y Spens (2007), Heaslip et al. (2012), y Banomyong y Julagasigorn (2017), que las distintas etapas que componen el manejo de desastres (recuérdese: preparación, respuesta y recuperación), implican que en distintas ventanas de tiempo deban ejecutarse distintos procesos de distinta naturaleza. Igualmente, se hacía énfasis en la importancia de la fase de preparación, debido a su impacto e influencia positiva de cara a la fase de respuesta, en caso de generarse una situación de emergencia o desastre (Davis et al., 2013; Kunz et al., 2014; Osorio-Ramírez 2016; Ganguly et al., 2017; Nadi y Edrisi, 2017). Con base en lo anterior, se vislumbró la necesidad de identificar cuáles son los procesos de carácter logístico que se llevan a cabo durante la preparación para los desastres. Y, en el estado del arte, se identificó una serie de procesos que responden a la necesidad manifestada.

En términos generales, la preparación implica desarrollar estrategias que permitan atender y responder a las emergencias de forma exitosa (Cotes y Cantillo, 2019). Diversos autores han hecho sus propios aportes respecto de los procesos que deben llevarse a cabo anticipadamente a la ocurrencia de un fenómeno de desastre. El proceso de revisión ha facilitado identificar estos procesos. Una síntesis esquemática de los hallazgos alcanzados en la revisión se ha incluido en el anexo A de la presente tesis. En la tabla A.1 del anexo mencionado puede verse que los procesos propuestos o trabajados en el estado del arte son diversos y numerosos. Esto resulta, por lo menos desde el ámbito académico, por las propuestas formuladas que permiten definir el quehacer de las instituciones responsables en la gestión del riesgo de desastres, respecto de las operaciones requeridas en la fase de preparación, en función de las necesidades técnicas en las regiones, tanto como para la cobertura de las comunidades locales.

Tal como se evidenciaba en la sección 2.1.5., los procesos de preparación poseen correspondencia con los niveles jerárquicos: estratégico, táctico y operativo. No obstante, es menester identificar cuáles son los procesos más representativos de la fase de preparación, o aquellos que resultan como los más citados desde la literatura. A partir de la tabla A.1 (que se presenta en el anexo A), se estructura la tabla 3.1 que contiene las frecuencias encontradas en el proceso de revisión de literatura según los procesos identificados. Se observa además una adecuación realizada hacia la agrupación de procesos similares o correspondientes entre sí.

Tabla 3.1. Resumen de los procesos de preparación hallados en la revisión de literatura.

| Agrupación | Procesos logísticos resumidos | Frecuencia |
|-----------------------------------|--|-------------------|
| Planes de emergencia | Desarrollar planes de emergencia (protocolos, asignación de recursos y procesos, gestión de escombros) | 19 |
| | Planes de evacuación y reubicación | 9 |
| | Diseño de la red logística | 2 |
| Gestión del personal | Entrenamiento del personal | 12 |
| | Educación y formación de las comunidades | 10 |
| | Reclutamiento de voluntarios y contratación de personal | 7 |
| | Ejercicios de manejo de emergencias. Simulacros | 4 |
| Gestión del conocimiento | Diseño e instalación de sistemas de alerta temprana | 8 |
| | Desarrollo de sistemas y plataformas de comunicaciones (compra de equipos y TIC) | 7 |
| | Desarrollo de modelos y herramientas de toma de decisiones (pronósticos) | 5 |
| Relaciones inter-organizacionales | Desarrollo de acuerdos y relaciones inter-sectoriales (selección y contratación de socios y proveedores) | 9 |
| | Desarrollo de plataformas colaborativas (decisión de cooperar y coordinar) | 8 |
| Gestión financiera | Adquirir y preparar recursos financieros | 2 |
| Localización | Localización y construcción de centros logísticos | 10 |
| | Localización de albergues y refugios | 7 |
| | Construcción de centros de operaciones de emergencias locales y regionales | 3 |
| Transporte | Adquisición de equipos y/o vehículos para el transporte (decisiones de modo, tipo, capacidad, cantidad, etc.) | 8 |
| | Estructurar la red (y el plan) de distribución | 6 |
| | Determinar rutas de evacuación | 1 |
| Inventarios | Compra y pre-posicionamiento de inventarios, materiales y suministros humanitarios (tipo, cantidad, ubicación) | 18 |
| | Mantenimiento de suministros e inventarios | 4 |

Como se observa, se ha realizado un agrupamiento de los procesos de preparación con base en los hallazgos de la revisión. En este sentido, se han agrupado procesos según la planificación de la respuesta, así como la gestión del personal, el conocimiento y las relaciones inter-organizacionales, junto con el aspecto financiero. Mientras que los procesos de preparación de emergencias y desastres, relacionados con decisiones tradicionales de carácter logístico, involucran la localización de centros de distribución y de operaciones; la determinación anticipada de medios, modos y rutas de transporte; e, igualmente, aspectos inherentes a los inventarios, donde se resalta la adquisición y pre-posicionamiento de recursos y suministros humanitarios.

La clasificación descrita posibilita consolidar una primera aproximación a los procesos de mayor preponderancia de acuerdo con el estado del arte, y según los procedimientos que a nivel de preparación deben llevarse a cabo en las regiones más vulnerables a desastres.

Ello facilita llegar a la pretensión de identificar los procesos clave a considerar en el sistema local de preparación que se busca modelar y simular en el marco de esta investigación.

3.1.2 Los actores involucrados en la preparación para los desastres

Antes de este capítulo se hizo una descripción de los sectores organizacionales involucrados en el campo de la logística humanitaria (apartado 2.2.2.). La intención de esta sección es realizar un desglose de los sectores ya descritos a nivel de organizaciones particulares, de modo que puedan identificarse actores de nivel local que puedan ser asumidos como agentes particulares dentro del sistema y facilitar su uso en procesos de modelación y simulación (como se verán en capítulos posteriores). El mecanismo para identificar los actores particulares es el mismo que se ha manejado anteriormente: la revisión del estado del arte.

Con base en la comparación y cruce de distintas propuestas hechas por los autores citados en la tabla A.2 del anexo A, se recopila esta información y se ordenan los actores identificados según la frecuencia en que han sido mencionados en la literatura revisada. En resumen, se encuentra un total de quince distintos actores o sectores involucrados en los procesos correspondientes a la gestión de desastres y la logística humanitaria. Estos resultados se han sintetizado en la tabla 3.2, que aparece seguidamente.

Tabla 3.2. Resumen de actores involucrados hallados en la revisión de literatura.

| Actores | Frecuencia |
|---|------------|
| Gobierno local (administración local, departamentos locales) | 23 |
| Militares (fuerzas armadas) | 19 |
| ONG (organizaciones sociales locales, organizaciones políticas, religiosas) | 17 |
| Agencias de socorro locales | 14 |
| Sectores público y privado (organizaciones y empresas) | 14 |
| Comunidad local | 12 |
| Donantes | 11 |
| Logísticos (proveedores y servicios logísticos) | 9 |
| Policía | 7 |
| Bomberos | 4 |
| Cruz roja | 4 |
| Medios de comunicación | 4 |
| Protección Civil - Defensa civil | 3 |
| Agencias médicas (hospitales - cuerpos de salud) | 3 |
| Universidades (comunidad académica) | 2 |

En la literatura se refleja la importancia que tienen los gobiernos locales en los procesos de gestión de desastres y en su responsabilidad de salvaguardar el bienestar de las comunidades. No deja de llamar la atención, la posición que ocupa el sector académico de acuerdo con la literatura revisada; no se ha llegado a considerar la comunidad académica

como un actor –o sector– que pertenezca o haga parte de los sistemas de gestión de desastres. Tomando distancia de los análisis que se puedan generar al respecto, la información presentada en la tabla anterior resulta en un insumo fundamental de cara a la elección de los principales actores a considerar para el diseño y estructuración de un modelo que represente el sistema local de preparación para la atención de desastres.

3.1.3 Los indicadores de desempeño en la preparación para los desastres

Recuérdese que el objetivo global de esta investigación se centra en la coordinación inter-organizacional durante la fase de preparación, previo a la ocurrencia de emergencias y desastres. Se hace necesario, por tanto, demostrar que la coordinación genera resultados y cambios positivos en la labor de las instituciones involucradas en estos contextos. Esto implica mostrar de qué manera la coordinación ciertamente mejora el desempeño de los actores responsables de estos procedimientos, como lo afirman Schulz y Blecken (2010), Day et al. (2012), y Banomyong y Julagasigorn (2017).

En sintonía de lo anterior, el proceso de revisión se aprovechó también para concretar una búsqueda exhaustiva de los indicadores de desempeño que se han propuesto y aplicado en el marco general de la logística humanitaria. El móvil para llevar esta tarea se centró fundamentalmente en dos cuestiones: primero, asumir que en el sistema logístico durante la fase de preparación son importantes los indicadores de desempeño, como elemento útil para representar el impacto de la coordinación en el comportamiento del sistema conformado por los actores locales; y segundo, llevar la búsqueda partiendo de la posición tomada por autores como Abidi y Scholten (2015), quienes en su trabajo argumentan que las medidas de desempeño configuran un campo de investigación que continúa en crecimiento.

Se han encontrado diversos indicadores que se han utilizado en problemas logísticos concernientes a la acción humanitaria. La síntesis de la revisión dirigida a los indicadores de desempeño tratados en la literatura se presenta en la tabla A.3, al final del anexo A. De lo que se muestra en dicha tabla, se evidencia la cantidad de indicadores que buscan medir el desempeño de las operaciones humanitarias; tanto desde la óptica de la eficiencia como de la efectividad. Se tienen indicadores de corte individual, así como medidas globales; unos conciernen a asuntos operativos y otros estratégicos; se tienen indicadores que van desde la cobertura y el servicio, hasta los tiempos de ejecución y de respuesta. Sí; muchos más de los mostrados inicialmente en la sección 2.1.6. de esta tesis.

Al considerar la coherencia con el alcance de este proyecto, resulta necesario limitar el amplio listado de indicadores a aquellos que pueden aplicarse a la fase que aquí interesa: la preparación de emergencias y desastres. Así, se ha decantado la información contenida en el anexo A, y con ello se ha diseñado la tabla 3.3 que incluye los indicadores de

desempeño que son susceptibles de aplicarse *ex ante* la ocurrencia de las emergencias o desastres, en línea con lo hallado en el estado del arte.

Tabla 3.3. Indicadores de desempeño aplicables a la preparación a partir de la revisión de literatura.

| Agrupación | Indicador |
|---|--|
| Indicadores aplicables al nivel global de la cadena logística | Adaptabilidad del sistema logístico |
| | Agilidad del sistema logístico |
| | Alineamiento del sistema logístico |
| | Confiabilidad (transparencia) del sistema logístico |
| | Sostenibilidad (del sistema) |
| | Coordinación y priorización estratégica en campo |
| | Capacidad global de respuesta |
| | Resiliencia |
| Indicadores aplicables a nivel organizacional | Costo total (de la utilización de los recursos) |
| | Efectividad de la planeación (porcentaje de cumplimiento) |
| | Flexibilidad (de operaciones, volumen de recursos, etc.) |
| | Gestión <i>Back office</i> |
| | Capacidad de respuesta |
| | Innovación y aprendizaje |
| | Liderazgo |
| | Rendición de cuentas (a beneficiarios y donantes) |
| Indicadores de nivel operativo | Calidad (de los procesos, productos o infraestructura) |
| | Costos operacionales |
| | Donaciones recibidas por periodo |
| | Efectividad (confiabilidad) de los procesos |
| | Eficiencia (control financiero) de los procesos y recursos |
| | Horas-hombre requeridas (horas de valor agregado) |
| | Nivel de utilización de los recursos (y capacidades) |
| | Tiempos de alistamiento y de preparación |
| Indicadores relacionados con la gestión de inventarios | Número de instalaciones (o almacenes) localizadas |
| | Cantidades mínimas requeridas |
| | Costos de inventario (o de pre-posicionamiento) |
| | Costo de los suministros |
| | Costo de alistamiento de almacenes |
| | Costo de localización |
| | Costo de obsolescencia (o deterioro) de los inventarios |

Con base en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3, se demuestra una identificación –basada en la literatura– de los procesos, actores e indicadores de desempeño inmersos en la fase de preparación logística para la atención de desastres. No obstante, es justo reconocer que los hallazgos son amplios en sí mismos, lo cual es resultado de lo extensivo que ha buscado ser el desarrollo investigativo de estos campos. Al respecto, no debe olvidarse que las pretensiones de la investigación están centradas en los ámbitos locales de la preparación para los desastres, es decir, se requiere concretar cuáles son los procesos, actores e indicadores de mayor relevancia (o claves) de cara a la estructuración del sistema local de preparación para la atención de emergencias y desastres.

Con lo mostrado hasta aquí, es pertinente preguntarse ¿basta con lo identificado en una revisión de literatura? ¿basta con contabilizar la frecuencia en que actores y procesos son

citados en la literatura? En resumidas cuentas, la pregunta a resolver es ¿cuáles son los procesos, actores e indicadores más importantes y relevantes a involucrarse en el sistema logístico local durante la fase de preparación?

Para resolver estas cuestiones, se ha optado por el estudio de expertos. Con esta metodología se pretende llegar al diseño de un modelo representativo del sistema que integre los elementos clave que se discuten en este capítulo. Los apartados que continúan presentan el diseño y la aplicación del estudio de expertos académicos llevado a cabo para dar respuesta a las preguntas anteriores.

3.2 El estudio de expertos: una necesidad propia de la investigación

El avance en los trabajos académicos e investigativos enfocados en el tema de interés ha sido importante y significativo. Lo anterior, con base en la cantidad de actores que se han descrito como partícipes de los sistemas y los procesos involucrados en el sector humanitario, sin mencionar el aspecto de la evaluación del desempeño.

Ante el *trade-off* encontrado en este punto (en donde hay una gama extensa de procesos logísticos y actores responsables en las cadenas logísticas humanitarias, frente a la necesidad de considerar los procesos y actores de mayor relevancia durante la preparación), es menester identificar concretamente los elementos clave en el sistema logístico de preparación para los desastres, de modo que esta investigación tenga un valor reconocible suficiente para justificar su ejecución y desarrollo. Amén de lo anterior, se tienen los argumentos planteados por Nadi y Edrisi (2017), quienes sostienen que de los obstáculos y desafíos persistentes en el contexto humanitario están (entre otros): la falta de claridad en las funciones que deben cumplirse, así como la cantidad y diversidad de actores que, a su vez, adolecen de falta de especialización y roles concretos en los que deben estar implicados. En consecuencia, resulta pertinente delimitar el criterio para definir a los actores locales.

Teniendo la necesidad de decantar los elementos más preponderantes del sistema logístico para la preparación de emergencias y desastres, se procede a diseñar un instrumento de investigación que permita recoger el concepto de expertos académicos, que posean la suficiente experticia en el campo de la logística humanitaria. Roberto Hernández-Sampieri sostiene que el instrumento de mayor aplicación para la recolección de datos es el cuestionario, que se elabora a través de una serie de preguntas enfocadas a una o más variables de interés. Bajo este mecanismo, el cuestionario (como instrumento de investigación), gana una importancia central en el proceso investigativo a fin de lograr observaciones clasificadas (Hernández-Sampieri et al., 2014). Tomando lo establecido por el autor citado, el proceso de recolección de datos implica los siguientes procedimientos:

- Elegir los métodos o instrumentos disponibles;

- Desarrollar los métodos e instrumentos en función de los propósitos –así como del problema y los alcances– de la investigación;
- Aplicar el instrumento de investigación; y
- Consolidar los datos recolectados para su debido análisis.

De esta manera se han tomado las siguientes decisiones: por un lado, el instrumento de investigación en esta etapa del proyecto es el cuestionario (cuyo diseño se describe, en detalle, en el anexo B); mientras que el método a seguir para la recolección de datos es la encuesta (cuya descripción procedimental se ofrece en el anexo C, y sus resultados en la sección 3.4., más adelante). Estas determinaciones se han establecido a partir de las definiciones conceptuales provistas en el texto de Kumar (2011).

3.3 Diseño del instrumento de investigación

Un cuestionario, como instrumento para la recolección de datos, se conforma de una serie de preguntas dirigidas a unos respondientes que han de registrar en él sus percepciones o respuestas (Kumar, 2011; Hernández-Sampieri et al., 2014). En este sentido, Kumar (2011) resalta las ventajas de aplicar un cuestionario: porque resulta menos costoso que otros mecanismos de recolección de datos (en términos de recursos como el tiempo, el dinero y capital humano), a la vez que ofrece mayor anonimidad a los respondientes (al no existir necesariamente en todos los casos, una interacción cara a cara). De otro lado, se reconocen algunas desventajas en la aplicación de un cuestionario: su aplicabilidad limitada a la población de estudio, la posible baja tasa de respuesta, se limita la oportunidad de clarificar dudas y, según el tipo de pregunta, puede impedirse la espontaneidad y apertura de parte de los respondientes (Kumar, 2011).

Tomando las consideraciones recién mencionadas, se ha decidido seguir el método de la encuesta. Por las siguientes razones: la naturaleza de esta investigación, el tipo de la población objeto de estudio y, por último y no menos importante, la distribución geográfica de los expertos. El cuestionario, al ser un medio para la recolección de datos e información relevantes, debe ser considerado como un instrumento de investigación (Kumar, 2011). Luego, el proceso de diseño del instrumento se ha adelantado con base en los elementos identificados en la sección 3.1. Además, se llevó a cabo una validación y prueba piloto del instrumento diseñado. En el anexo B se describe detalladamente el procedimiento llevado tanto para la consolidación del instrumento como su respectiva validación basada en una prueba piloto.

Al recapitular las observaciones recibidas durante la prueba piloto, se han podido consolidar los ítems relacionados con los procesos de preparación, actores locales clave e indicadores de desempeño a incluir en el contenido del cuestionario. En la tabla 3.4 se recopilan los elementos del instrumento y en estricto orden alfabético, de modo que se agrega un factor adicional a la objetividad del estudio.

Tabla 3.4. Elementos consolidados para el diseño final del instrumento.

| Procesos logísticos de preparación | Actores locales | Indicadores de desempeño |
|---|--|--|
| Adquisición de equipos y vehículos de transporte | Agencias médicas y hospitales | Agilidad del sistema logístico |
| Desarrollo de acuerdos y relaciones inter-sectoriales | Cuerpos de bomberos | Alineamiento del sistema logístico |
| Desarrollo de plataformas de comunicación y sistemas de alerta temprana | Cruz Roja | Calidad de los procesos, productos, servicios, infraestructura, etc. |
| Desarrollo e implementación de planes de respuesta a emergencias | Defensa civil | Confiabilidad del sistema logístico |
| Entrenamiento del personal de respuesta y comunidades | Gobierno local | Costos de los procesos logísticos |
| Estructuración, diseño y planificación de la red logística | ONG locales y organizaciones basadas en la comunidad | Efectividad de la planeación – porcentaje de cumplimiento |
| Gestión y pre-posicionamiento de inventarios y suministros de ayuda | Policía | Nivel de utilización de los recursos y capacidades |
| Localización y construcción de centros logísticos y albergues | Proveedores de servicios logísticos | Resiliencia del sistema logístico |
| Obtención y preparación de recursos financieros | Unidades de Socorro locales | Sostenibilidad del sistema logístico |
| Planeación de evacuación y reubicación | Universidades y comunidad académica | Tiempos de alistamiento y preparación |

A partir de estos elementos se logra concretar el instrumento de investigación para ser diligenciado por parte de expertos académicos. En la parte final del anexo B se presenta la versión final del instrumento de investigación aplicado, de acuerdo con los objetivos de investigación planteados. El procedimiento realizado en la encuesta se describe en el apartado que sigue, cuya intencionalidad es finalizar la discusión y análisis, objeto de este capítulo.

3.4 Aplicación del instrumento de investigación

La revisión de literatura y la ejecución de la prueba piloto buscaban obtener los insumos fundamentales para consolidar el instrumento de investigación que lograra identificar los principales procesos, actores e indicadores de desempeño que se ven circunscritos durante la fase de preparación en el marco de la gestión de desastres a nivel local. En este sentido, como las pretensiones en esta parte de la investigación se dirigen hacia la opinión de especialistas de un tema particular, se selecciona una muestra de expertos. A continuación, se ofrece un resumen de los principales aspectos que comprendieron la selección de la muestra, el envío y recolección de los datos, así como los principales resultados consolidados. En el anexo C se presenta el procedimiento detallado del estudio.

3.4.1 Selección de la muestra para el estudio

La muestra corresponde al número de personas sobre las cuales se hará la recolección de datos, sin que representen necesaria y estadísticamente la población que se estudie (Hernández-Sampieri et al., 2014). En consideración del tipo de investigación y de los objetivos particulares de este capítulo, se opta por un muestreo no probabilístico, particularmente: el muestreo de expertos. Aparte de las ventajas que los diseños no probabilísticos puedan otorgar, lo que interesa aquí es garantizar la inclusión de personas expertas, que ciertamente apoyen el cumplimiento de los objetivos del estudio (Kumar, 2011).

Definido lo anterior, se procedió a identificar los expertos académicos a consultar. Dado que se busca ratificar lo hallado en la revisión de literatura, diversos investigadores académicos de relevancia se han encontrado, a fin de conformar un grupo inicial de personas potenciales a consultar en el estudio propuesto. Se identificaron 51 investigadores internacionales de relevancia en el campo de la logística humanitaria, con lo cual se obtuvo un grupo importante para su potencial inclusión en el estudio.

3.4.2 Envío y recolección de datos

Para el envío de los cuestionarios se optó por el método autoadministrado, es decir, que los expertos son quienes diligencian directamente el instrumento –sin intermediarios– y hacen el retorno respectivo del cuestionario diligenciado (Hernández-Sampieri et al., 2014). Teniendo en cuenta que la muestra objetivo posee una gran proporción de investigadores que no tiene como lengua nativa el español, fue menester diseñar un instrumento alterno en idioma inglés. El cual, y de modo simultáneo, también siguió los mismos planteamientos de elaboración utilizados con el instrumento de investigación elaborado en español.

En un plazo de dos meses (entre marzo y mayo de 2019), se logró recolectar un total de 14 respuestas válidas por parte de los expertos consultados. De los cuestionarios recibidos, se obtuvieron respuestas de Suramérica, Norteamérica, Europa y Australia. El estudio arrojó una tasa de respuesta superior al 27%, lo cual refleja una participación muy positiva en comparación con otros estudios similares publicados en el campo de la logística humanitaria (Menth, 2014; Haavisto y Goentzel, 2015; y Maghsoudi y Pazirandeh, 2016).

3.4.3 Procesamiento y análisis de la información reunida

En vista del tipo de estudio desarrollado, el proceso de muestreo, y la naturaleza de los datos recolectados, se justifica la aplicación de estadística no paramétrica. Particularmente se aplica el coeficiente W de Kendall para los ítems consultados en la encuesta. Este coeficiente permite probar el nivel de concordancia entre los expertos (Siegel, 1978; Gómez-Ramírez, 2017). Los detalles técnicos del proceso y el manejo de los datos

obtenidos de la encuesta se documentan en el anexo C. Seguidamente se presentan, de modo sucinto, los resultados del estudio.

Respecto de los procesos de preparación, se obtuvo una ordenación final de los elementos considerados en el instrumento de investigación de la forma que aparece en la tabla 3.5. Se tiene que los procesos que ocupan los primeros lugares, con base en la opinión de los expertos consultados, están relacionados con: el desarrollo de planes de respuesta, el diseño de la red logística, los acuerdos inter-sectoriales, el entrenamiento de personal, el pre-posicionamiento de materiales, y las decisiones de localización.

Tabla 3.5. Resultados del estudio de expertos para los procesos de preparación.

| Posición | Procesos logísticos de preparación |
|-----------------|---|
| 1 | Desarrollo e implementación de planes de respuesta a emergencias |
| 2 | Estructuración, diseño y planificación de la red logística |
| 3 | Desarrollo de acuerdos y relaciones inter-sectoriales |
| 4 | Entrenamiento del personal de respuesta y comunidades |
| 5 | Gestión y pre-posicionamiento de inventarios y suministros de ayuda |
| 6 | Localización y construcción de centros logísticos y albergues |
| 7 | Obtención y preparación de recursos financieros |
| 8 | Desarrollo de plataformas de comunicación y sistemas de alerta temprana |
| 9 | Planeación de evacuación y reubicación |
| 10 | Adquisición de equipos y vehículos de transporte |

Por otra parte, se logró una jerarquización significativa de los actores locales de acuerdo con la importancia sugerida mediante los expertos. La tabla 3.6 se elaboró para mostrar dicho ordenamiento. Como se observa, los principales actores a nivel local, para la fase de preparación, y de acuerdo con la opinión de los expertos, son: el gobierno local, las organizaciones basadas en la comunidad, la defensa civil, la cruz roja, los cuerpos de bomberos, así como las agencias de socorro locales.

Tabla 3.6. Resultados del estudio de expertos para los actores locales.

| Posición | Actores locales |
|-----------------|--|
| 1 | Gobierno local |
| 2 | ONG locales y organizaciones basadas en la comunidad |
| 3 | Defensa civil |
| 4 | Cruz Roja |
| 5 | Cuerpos de bomberos |
| 6 | Unidades de Socorro locales |
| 7 | Agencias médicas y hospitales |
| 8 | Policía |
| 9 | Proveedores de servicios logísticos |
| 10 | Universidades y comunidad académica |

La ordenación obtenida por parte de los expertos, para los principales indicadores de desempeño, se muestra seguidamente en la tabla 3.7. Los resultados del estudio arrojan que los indicadores de desempeño de mayor relevancia para la fase de preparación (según los expertos consultados), tienen que ver con: la agilidad, resiliencia y confiabilidad del

sistema logístico. También están el nivel de cumplimiento de los procesos de preparación, los tiempos de ejecución, y el nivel de utilización de recursos y capacidades.

Tabla 3.7. Resultados del estudio de expertos para los indicadores de desempeño.

| Posición | Indicadores de desempeño |
|----------|--|
| 1 | Agilidad del sistema logístico |
| 2 | Resiliencia del sistema logístico |
| 3 | Confiabilidad del Sistema logístico |
| 4 | Efectividad de la planeación –porcentaje de cumplimiento |
| 5 | Tiempos de alistamiento y preparación |
| 6 | Nivel de utilización de los recursos y capacidades |
| 7 | Alineamiento del sistema logístico |
| 8 | Costos de los procesos logísticos |
| 9 | Calidad de los procesos, productos, servicios, infraestructura, etc. |
| 10 | Sostenibilidad del sistema logístico |

Llegados a este punto, puede afirmarse que el estudio de expertos ha sido un mecanismo suficiente a fin de jerarquizar los principales procesos, actores e indicadores inmersos en el contexto de la preparación para los desastres. Estos hallazgos representan, desde la información suministrada por investigadores y teóricos, un insumo esencial en el devenir del proyecto investigativo, de cara a la fase siguiente de la investigación que se concentra en diseñar el modelo conceptual del sistema. Dichos aspectos serán abordados en el siguiente capítulo, al asumir un sistema logístico conformado por los elementos seleccionados mediante el estudio de expertos que aquí se ha logrado presentar.

3.5 Conclusiones del capítulo

El propósito de este capítulo estaba dirigido a la identificación y selección de los procesos, los actores, y los indicadores de desempeño que comprenden el sistema logístico de preparación local para la atención de emergencias y desastres. Para ello fue necesario plantear una propuesta metodológica que permitiese el cumplimiento del objetivo específico. En busca de rigor en el proceso, se partió de la literatura especializada en logística humanitaria de modo que permitiese un panorama inicial de los distintos elementos involucrados. La selección requirió de la participación de expertos académicos en este campo de conocimiento. Se realizó el diseño, prueba y aplicación de un instrumento de investigación que, según se plantea en el anexo B, probó tener confiabilidad, validez y objetividad en su forma y contenido.

El proceso concerniente a la consolidación, envío y recepción del cuestionario permitió reunir información de sumo valor para los propósitos particulares y generales de esta investigación. A través de procedimientos estadísticos no paramétricos se determinó un ranking para los procesos, actores e indicadores de mayor relevancia que, a conciencia de los respondientes, están involucrados durante la fase de preparación de emergencias y desastres a nivel local. Las pruebas de significancia de los coeficientes de concordancia realizados dan cuenta del nivel de relación –y no discrepancia– entre las observaciones

realizadas por parte de los encuestados. El análisis llevado a cabo no ha sido infructuoso, pues no se ha fallado al intentar buscar significancia en el estudio de expertos realizado.

La búsqueda del saber experto ha tenido un fin más allá de lo mensurable. El estudio se convirtió en una oportunidad para abrir un espacio de comunicación, de acceso a los expertos que han vivenciado e investigado en el tema que aborda este manuscrito. Ello condujo a la apertura del proyecto de investigación, en términos de participar y compartir la acción con miembros de la comunidad científica (al menos con una parte de ella); teniendo en cuenta la experiencia y trayectoria de los expertos encuestados, la información recibida ha de aceptarse, asumirse, aprehenderse. Con todo, se exhorta la importancia de los resultados obtenidos, el nivel de significancia y significación del proceso de identificar los elementos de mayor importancia discutidos a lo largo de este capítulo. Los listados sugeridos al final de la sección 3.4.3. (tablas 3.5, 3.6, 3.7) conducen a la consolidación de un insumo fundamental en lo sucesivo del proyecto de investigación: el diseño de un modelo de simulación (capítulos 4 y 6 de la presente tesis) para el sistema local de preparación de emergencias y desastres.

Como se discutirá más adelante, un proceso de simulación parte de una etapa crucial: diseñar un modelo conceptual del sistema que pretende ser simulado. Por tanto, una vez identificados los procesos logísticos, actores locales e indicadores de desempeño más importantes en el contexto local de la preparación para la atención de desastres, el capítulo 4 se dedicará a la descripción del modelo conceptual para la simulación de un sistema local de preparación circunscrito en los procesos de la logística humanitaria.

4. Capítulo cuarto: Modelo conceptual

4.1 Introducción: Metodología de la simulación

Al procurar coherencia con los capítulos 1 y 2, se recuerda que un aspecto metodológico importante en el proyecto de investigación es la simulación como medio para analizar el sistema elegido como objeto de estudio. La simulación es definida como el proceso que integra el diseño de un modelo de un sistema real con su experimentación a fin de analizar escenarios posibles, así como llegar a inferencias sobre del sistema modelado (Krick, 1979; Shannon, 1998; Galán, 2007). Teniendo la posibilidad de codificar sistemas complejos y reducir los tiempos computacionales gracias al avance de la tecnología, la simulación se ha consolidado como medio para estudiar y analizar sistemas complejos, como lo son los sistemas logísticos y las cadenas de abastecimiento (Chan y Chan, 2010). Camilo Olaya sostiene que, con el desarrollo de modelos de simulación desde la óptica operacional (es decir, articulando operaciones y actores responsables), es posible explicar el desempeño de los sistemas y realizar análisis de sensibilidad con base en reglas de decisión sobre los elementos que configuran el sistema (Olaya, 2012a y 2013).

A conciencia de lo anterior, y reconociendo que los contextos inherentes al ámbito humanitario responden a sistemas complejos, tanto el pensamiento de sistemas como las herramientas de simulación resultan enfoques suficientes para abordar el problema de investigación definido para esta tesis (ver sección 1.1.) y soportar igualmente el desarrollo metodológico del proceso investigativo de cara a los objetivos planteados.

Por su parte, la modelación basada en agentes (MBA) permite reconocer que los sistemas complejos son producto del comportamiento de individuos heterogéneos y de sus interrelaciones (Izquierdo et al., 2008). Como se manifestó en el capítulo 2, esta perspectiva de simulación se caracteriza por lograr correspondencia directa entre las entidades reales y los agentes modelados, involucrando también las interacciones que se dan en el marco del sistema objetivo (Galán, 2007). Estos aspectos ofrecen a los modeladores –o investigadores– la bondad de mayor rigor científico y realismo en las representaciones construidas, al igual que obtener un acercamiento a las dinámicas y comportamientos globales del sistema (Borshchev y Filippov, 2004; Galán, 2007; Izquierdo et al., 2008).

Autores como Borshchev y Filippov (2004), Galán (2007), Labarthe et al. (2007), y Schaffernicht (2009) sostienen que, para desarrollar un modelo de simulación de manera

rigurosa, cualquier estudio debe contemplar anticipadamente un proceso de representación esquemática, o abstracción inicial del sistema objeto de estudio, que implica la elaboración de un modelo conceptual. Burnard y Bhamra (2011) afirman que un modelo conceptual es aplicado para llevar la descripción y explicación de un evento o suceso problemático. Para elaborar un modelo conceptual se deben declarar los elementos, las variables, las relaciones e inter-conexiones involucradas en el sistema estudiado, lo cual facilita aportar la evidencia de cómo son generados los comportamientos complejos, dinámicos o problemáticos (Schaffernicht, 2009). Izquierdo et al. (2008) establecen que la utilidad de un modelo estriba en su capacidad de representar la situación problemática, así como facilitar los procesos de inferencia y proporcionar conocimientos transferibles a otros contextos. Mientras que Díaz y Olaya (2017) sostienen que los modelos permiten recrear comportamientos emergentes de los sistemas sociales y ser útiles para adquirir una idea más estructurada del verdadero comportamiento de los actores y del sistema en un margen amplio de tiempo. Con base en estos elementos de discusión, los siguientes apartados se dedican a describir los principales componentes del modelo conceptual que posteriormente será diseñado como un modelo de simulación (sobre lo cual se dedica el capítulo 6).

4.2 Aproximación al modelo conceptual

El objetivo de este capítulo concierne a la descripción de los elementos que configuran el modelo conceptual del sistema considerado en la investigación, esto es: el sistema local de actores responsables de la preparación logística para la atención de emergencias y desastres. Este, posteriormente, se simula a través de la metodología MBA (capítulos 6 y 7). En este sentido, se han considerado los actores u organizaciones que participan en la fase de preparación en un nivel local, los procesos logísticos más relevantes que se ejecutan durante esta fase, junto con sus reglas de acción-decisión que implican las relaciones y el entorno inter-organizacional. La intención aquí es llegar a la descripción y representación del sistema conformado por los actores locales identificados como más importantes luego de un proceso de revisión de literatura y seleccionados con base en la encuesta dirigida a expertos académicos (resultados del capítulo 3).

En las secciones que siguen, se describen el objetivo del modelo conceptual y su alcance, los cuales se han establecido en consideración de los propósitos de investigación de esta tesis. Más adelante se hace una descripción global del modelo conceptual mediante la utilización del marco referencial PARTE (Hammond, 2015). Este método permite presentar el modelo conceptual a través de cinco componentes que estructuran el sistema, a saber: propiedades (P), acciones (A), reglas (R), tiempo (T) y entorno (E). Al través de esta descripción, se comparte el diagrama de procesos que pretende mostrar esquemáticamente las distintas dinámicas del sistema modelado, así como la secuencia de decisiones e interacciones de los agentes propuestos. Igualmente, los ciclos de realimentación que emergen durante las acciones, decisiones e interacciones se muestran en los párrafos finales del presente capítulo.

4.2.1 Definición del objetivo del modelo

El objetivo del modelo basado en agentes se compone de dos aspectos fundamentales: por un lado, analizar y comprender el sistema de actores locales más importantes durante la fase de preparación de emergencias y desastres; y, de otra parte, explorar cómo, a través de las inter-relaciones y la implementación de diversos mecanismos de coordinación, se obtiene un mejor desempeño del sistema logístico de preparación.

En lo que concierne al desempeño global del sistema, se hace referencia a los aspectos que involucran tanto la eficiencia como la efectividad. La elección de los indicadores se ha hecho a partir de los resultados del trabajo con expertos desarrollado, y cuyos resultados se compartieron en el capítulo anterior. Respecto del factor eficiencia, se han establecido criterios enfocados en la agilidad del sistema y los tiempos de ejecución de los procesos inmersos en la preparación. Mientras que la efectividad considera aspectos como la confiabilidad, la resiliencia (en términos de flexibilidad), el nivel de cumplimiento de los procesos requeridos, y el nivel de utilización de los recursos por parte de los actores.

Dado que el indicador de resiliencia –o flexibilidad– ha obtenido una posición importante en el estudio de expertos, se reconoce como una vía para obtener un mejor desempeño global en los procesos de gestión de desastres (Beamon y Balcik, 2008; Akhtar et al., 2012). La flexibilidad se asume de acuerdo con lo definido por Beamon y Balcik (2008), quienes definen la flexibilidad como la capacidad que posee un sistema para responder de modo efectivo a los cambios surgidos en su entorno. Así, la flexibilidad de un sistema puede reflejarse de diversas maneras, como el empoderamiento de los actores involucrados, los mecanismos de descentralización usados, o una mejor cobertura de las demandas (Haavisto y Goentzel, 2015). Por tanto, para definir los indicadores específicos que puedan soportar la flexibilidad del sistema logístico, se han considerado elementos como (Beamon y Balcik, 2008; Nikbaksh y Farahani, 2011; Blome et al., 2014; Haavisto y Goentzel, 2015):

- Posibilidad de realizar ajustes a las relaciones, requerimientos o capacidades en los elementos que componen el sistema.
- Diversidad de alternativas en el sistema para ejecutar los procesos requeridos.
- Cantidad de procesos en los que un actor puede participar (respecto del total posible).
- Número de posibles planes y condiciones operativas (entiéndase, estructura de la red inter-organizacional) alcanzables en el sistema.
- Capacidad propia del sistema para cumplir diversos niveles de requerimientos (en cuanto a procesos o recursos demandados).
- Cantidad-volumen de requerimientos (o variedad de procesos) que un actor (o conjunto de actores) del sistema puede cumplir en un periodo de tiempo dado.
- Capacidad de apoyar requerimientos impredecibles o responder a situaciones cambiantes bajo incertidumbre.

Con esto, lo que se busca es comprender, en línea con Giachetti et al. (2003), que tales medidas lleguen a representar la flexibilidad como propiedad intrínseca del sistema logístico, generada por la estructura y relaciones de los elementos que lo constituyen. Tang y Tomlin (2008) sostienen que las estrategias de flexibilidad también se pueden estimar a partir de otros indicadores de desempeño, en términos de la eficiencia o los tiempos de ejecución de las tareas.

Bajo la posibilidad de incluir distintos mecanismos de coordinación en el modelo, estos estriban principalmente en: métodos para compartir recursos, división de las tareas, y ejecución de los procesos conjuntamente; asimismo, existen mecanismos de centralización para las decisiones, en las que un líder o coordinador del sistema asume el control de los demás actores y de los procesos por cumplir. La consideración de estos mecanismos de coordinación en la gestión de desastres ha sido discutida por autores como Balcik et al. (2010), Jahre y Jensen (2010), Nikbakhsh y Farahani (2011), Akhtar et al. (2012), Heaslip et al. (2012), y Altay y Pal (2014). Como se expone más adelante (capítulo 7), la incorporación de los mecanismos de coordinación en el modelo de simulación permitirá evaluar la influencia que tienen estos en el desempeño global del sistema. Ello se plantea a través de la generación de escenarios alternativos (sección 7.2.) con base en el sistema logístico considerado en este trabajo.

4.2.2 Alcance del modelo conceptual

El modelo por desarrollar se enmarca, en términos temporales, en los momentos *ex ante* a la ocurrencia de la emergencia o el desastre, es decir, en la fase de preparación. En dicha etapa, diversos procesos se llevan a cabo en una ventana amplia de tiempo que puede abarcar varios meses según lo requieran los procesos o las decisiones particulares (Kovács y Spens, 2007). Los resultados del estudio con expertos dan evidencia de los principales procesos logísticos de preparación: el desarrollo e implementación de planes de respuesta, la estructuración y planificación de la red logística, el desarrollo de acuerdos y relaciones inter-sectoriales, así como los programas de entrenamiento para las personas y las comunidades, y otros procesos logísticos relacionados con el pre-posicionamiento de inventarios y las decisiones de localización de instalaciones estratégicas para soportar la función humanitaria.

Las principales organizaciones locales responsables de llevar a cabo los procesos mencionados son consideradas como los actores clave para el modelo de simulación. Gracias al juicio de expertos (capítulo 3), se determina que el gobierno local aparece como el principal actor local responsable de la gestión de desastres y coordinador de los demás actores involucrados en el sistema. Los demás actores que se destacan, como entidades operativas, incluyen los siguientes: defensa civil, cruz roja, cuerpos de bomberos, organizaciones basadas en la comunidad y otros organismos de socorro.

Un aspecto adicional de diseño tiene que ver con que los actores locales poseen unas responsabilidades definidas en relación con el cumplimiento de los procesos logísticos circunscritos en la etapa de preparación. En este sentido, la categorización de los procesos logísticos mediante el enfoque jerárquico de la gestión de operaciones (Domínguez-Machuca et al., 1995), conlleva al establecimiento de procesos de nivel estratégico, táctico y también operativo. Ante lo cual, se ha elaborado la tabla 4.1, a fin de mostrar el alcance jerárquico de los procesos logísticos de preparación que particularmente se abordan en el diseño del modelo conceptual.

Lo anterior permitirá distinguir amplitud en los tiempos de ejecución y tipos de recursos requeridos según la jerarquía a la que pertenezcan los procesos considerados. Se espera que, dadas unas capacidades organizacionales y unas funciones establecidas para cada actor, se establezca una evaluación inicial de los procesos por parte de los actores. Este procedimiento tiene como fin, permitir a las organizaciones comenzar su actuación mediante decisiones y procedimientos coordinados, cuyo propósito se centra en la ejecución efectiva de las actividades asignadas. El procedimiento propende por la cuantificación del desempeño, según los indicadores mencionados en párrafos anteriores. Tales dinámicas son descritas con mayor nivel de detalle en el apartado que viene a continuación.

Tabla 4.1. Categorización de los procesos de preparación según su nivel jerárquico.

| Proceso | Nivel jerárquico | | |
|---|------------------|---------|-----------|
| | Estratégico | Táctico | Operativo |
| Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres | x | | |
| Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | | x | |
| Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones | x | | |
| Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | x | | |
| Adquirir herramientas y vehículos | | x | |
| Adquirir equipos de comunicación | | x | |
| Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | x | | |
| Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | | | x |
| Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | | | x |
| Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | | x | |
| Localizar centros de almacenamiento | x | | |
| Localizar centros de distribución y entregas de ayuda humanitaria | x | | |
| Localizar albergues y zonas seguras | x | | |

4.3 Descripción del modelo conceptual

Esta sección se dedica a presentar los distintos bloques de construcción claves en el MBA. Para esto se hace uso del marco referencial PARTE, mediante el cual se definen los aspectos característicos y fundamentales de los agentes a modelar junto con el contexto que enmarca el sistema (Hammond, 2015). La metodología PARTE ayuda a describir estructural y secuencialmente: propiedades (P), acciones (A), reglas de decisión (R), tiempo (T) y entorno (E) del sistema modelado, tal como se presenta en seguida.

4.3.1 Propiedades (P)

Las decisiones de diseño han llevado, en principio, a considerar dos tipos de agentes: los actores locales clave involucrados en la fase de preparación y los procesos logísticos de preparación para la atención de desastres. Esta decisión ha tenido como base referencial el trabajo realizado por Menth (2014), quien asume estos dos tipos de agentes para diseñar su respectivo MBA. Distintos modelos MBA publicados en el campo de la logística humanitaria han representado distintos tipos de agentes, en términos de personas (Collins y Frydenlund, 2016; Bae et al., 2018; Zhu et al., 2018), vehículos (Fikar et al., 2016; Nadi y Edrisi, 2017; Zhu et al., 2018), vías de transporte (Fikar et al., 2016), locaciones (Fikar et al., 2016; Bae et al., 2018), organizaciones (Krejci, 2015), y procesos (Fikar et al., 2016; Zhu et al., 2018). Al aprovechar las bondades que ofrece el enfoque de simulación MBA en términos de la flexibilidad en la modelación, los agentes pueden ser representados a cualquier nivel de escala (Hammond, 2015). Por tanto, tiene sentido y pertinencia abordar los agentes desde una óptica organizacional, ya que, precisamente, lo que se busca en este trabajo es estudiar y analizar los aspectos inter-organizacionales generados por la coordinación en el marco del sistema objeto de estudio.

Los agentes que representan a los actores a nivel local se muestran en primer lugar. En concordancia con los hallazgos mostrados en el capítulo 3, los siguientes son los actores locales clave involucrados en el modelo:

- El gobierno local.
- Defensa civil.
- Cruz roja local.
- Cuerpos de bomberos.
- Unidades de socorro locales.
- ONG humanitarias y organizaciones basadas en la comunidad.

Se establecen dos tipos de actores: el agente líder –representado por el gobierno local–, y los actores de apoyo que, en tanto actores operativos, poseen la responsabilidad de colaborar en la preparación y respuesta a emergencias y desastres a nivel local. La intención de representar dos tipos de actores radica en la relevancia que en términos legales, políticos y sociales poseen los gobiernos locales en el cumplimiento de la gestión del riesgo de desastres en sus comunidades (apartados 2.2.2. y 2.2.4.). Definir un actor

líder, que coordine y dirija decisiones que influyan en otros actores, será un elemento que explotará en la generación de escenarios, cuyo análisis se mostrará en el capítulo 7.

Cada actor es un organismo autónomo e independiente respecto de los demás y, asimismo, posee sus propias capacidades organizacionales. Esto resulta un factor importante por considerar, en tanto se define una posibilidad de participación de cada actor en el cumplimiento de un proceso particular. Para el caso, las capacidades organizacionales se representan en los recursos físicos que cada actor posee, en términos de: personas, información y conocimiento, equipos de comunicación, sistemas de alerta, vehículos, recursos humanitarios, e instalaciones. Teniendo en cuenta su naturaleza, estos recursos se asumen como reutilizables en el tiempo. Esto es, en caso de que un actor destine recursos para la ejecución de un proceso, dichos recursos se liberarán y quedarán nuevamente disponibles para la organización una vez el proceso culmine.

En sintonía con Van Wassenhove (2006), los recursos individuales que un actor posee resultan insuficientes para dar total cobertura a la función humanitaria. Por lo cual, el modelo contempla la posibilidad de que los recursos sean compartidos entre los distintos actores mediante la interacción y coordinación que puedan generarse entre sí. Con estas dinámicas, cada actor podrá incrementar su experiencia mediante la coordinación con otras organizaciones en el cumplimiento de los procesos logísticos de preparación. Ello podrá redundar en una mejor utilización de las capacidades (o recursos) individuales, así como un mejor desempeño global del sistema.

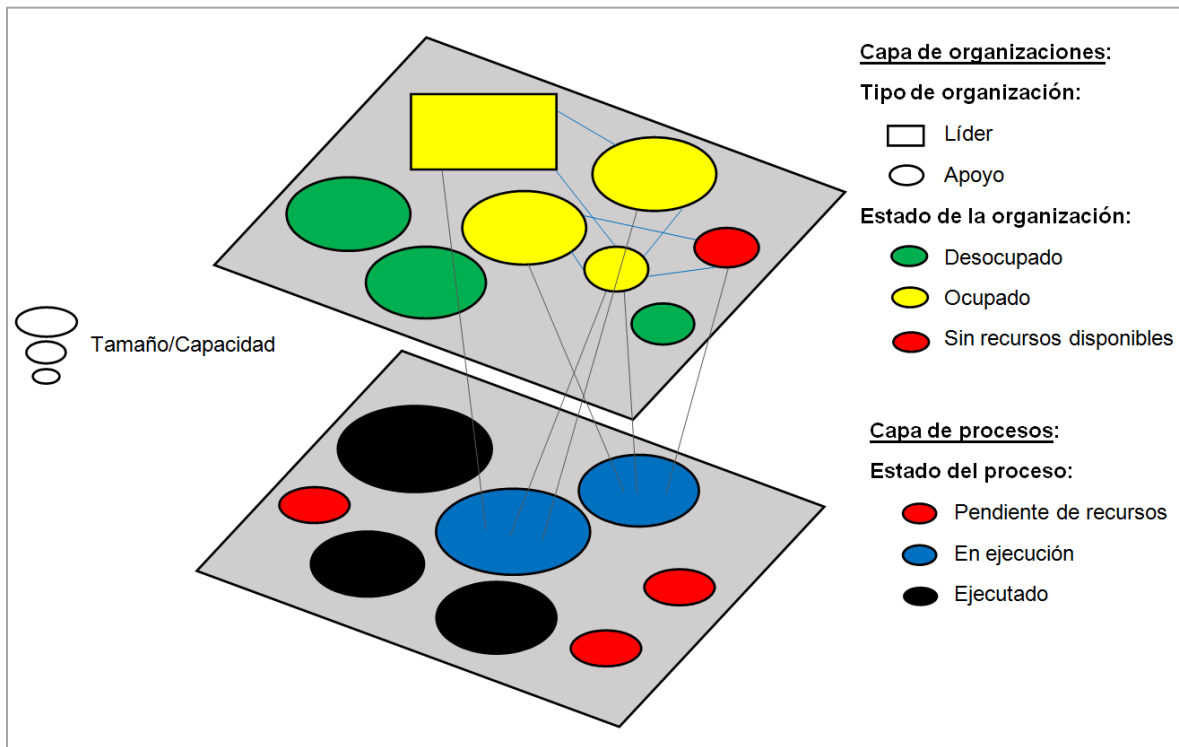
Como se mencionó antes, en lo que concierne a los agentes que representan los procesos logísticos durante la fase de preparación, se consideran en este estudio los procesos relacionados con: el desarrollo de planes de respuesta, el diseño de la red logística, el desarrollo de acuerdos, los programas de entrenamiento para el personal y las comunidades, así como el pre-posicionamiento de inventarios y las decisiones de localización. Se asume, en este sentido, que cada proceso logístico tendrá asignada una capacidad requerida, la cual será asumida por los agentes organizacionales que busquen concretar su cumplimiento.

Teniendo que las capacidades individuales de los actores locales y los requerimientos de los procesos logísticos se definen como factores variables en el tiempo, ambos tipos de agentes podrán evidenciar diferentes estados según sea el nivel de utilización de los recursos por parte de los actores, así como de las condiciones que presenten los procesos según sus propios requerimientos. Los distintos estados contemplados en el diseño del modelo conceptual se han resumido en la tabla 4.2, que se muestra más adelante. La relación entre los agentes (tanto actores locales como procesos logísticos) puede visualizarse mejor a través de una estructura multi-capas, del modo en que se muestra en la figura 4.1., donde se considera la forma en que se vinculan los tipos de agentes de acuerdo con lo propuesto en este modelo conceptual.

Tabla 4.2. Estados posibles de los agentes definidos en el modelo conceptual.

| Tipo de agente | Estado | Descripción |
|---------------------|--------------------------|---|
| Actores locales | Desocupado | Un actor posee este estado cuando no participa en el cumplimiento de ningún proceso y no ejecuta ninguna decisión. |
| | Ocupado | Si el actor está atendiendo el cumplimiento de uno o varios procesos de preparación. |
| | Sin recursos disponibles | Este estado se presenta cuando un actor, en cumplimiento de uno o varios procesos, posee la totalidad de sus recursos ocupados. Ello le impide tomar decisiones o participar en nuevos procesos hasta tanto no recupere los recursos que ha invertido en el cumplimiento de otros procesos. |
| Procesos logísticos | Pendiente de recursos | El proceso demanda ser ejecutado, pero los actores asignados aún no poseen recursos disponibles suficientes para su cumplimiento. |
| | En ejecución | Si un equipo de actores ya ha dispuesto de recursos disponibles particulares para iniciar el cumplimiento del proceso. |
| | Ejecutado | Cuando los distintos actores asignados ya han invertido recursos y han logrado la culminación del proceso. |

Figura 4.1. Representación visual del modelo de agentes multi-capas.



Fuente: Adaptado de Menth (2014).

Como se observa en la figura 4.1, la capa superior se compone de los agentes que representan las organizaciones, tanto el actor líder (o gobierno local) como los demás actores involucrados en el sistema. Estos agentes tienen posibilidad de interactuar entre sí mediante procesos de comunicación, integración y mecanismos de coordinación. También los actores pueden vincularse con los agentes que representan los procesos logísticos a fin de satisfacer los requerimientos de estos últimos. Esto se dará siempre que

se logre la conformación de equipos de actores. Visto en otra perspectiva, los procesos podrán relacionarse con las organizaciones cuando estas busquen conjuntamente dar cumplimiento a sus requerimientos. La bondad de asumir como agentes a los procesos estriba en la posibilidad de visualizar de forma más directa el modo en que los actores locales clave cumplen las actividades pertenecientes a la fase de preparación según el modelo aquí propuesto. De esta manera quedan establecidas las relaciones entre los dos tipos de agentes: unos procesos que requieren de cierta cantidad de recursos, y unos actores u organizaciones, que poseen unas capacidades individuales, y que se integran en pro de cumplir los requerimientos que poseen los procesos logísticos de preparación.

La tabla 4.3, que aparece seguidamente, contiene las propiedades de los agentes definidos, así como los modos en que estos se inicializan y actualizan en el desarrollo del modelo de simulación. Se adelanta también la definición de los principales conjuntos y subíndices que harán parte de la nomenclatura a utilizarse en lo sucesivo del texto, así:

- Conjunto A de agentes organizacionales:
 $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_N\}$, donde A es un conjunto de N actores. El elemento $a_i \in A$ denota un actor local.
- Conjunto P de agentes de procesos logísticos:
 $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_M\}$, donde P es un conjunto de M procesos. El elemento $p_j \in P$ denota un proceso logístico de preparación.
- Conjunto R de los distintos tipos de recursos considerados en el modelo:
 $R = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_L\}$, donde R es un conjunto de L tipos de recursos. El elemento $r_k \in R$ denota un tipo de recurso que posea un actor o que demande un proceso.

Tabla 4.3. Principales parámetros y variables, individuales y globales, de los agentes modelados.

| Tipo de agente | Variable / parámetro | Símbolo | Tipo de variable | Inicialización | Actualización | Requerimiento de datos |
|----------------|-------------------------|--------------|---|--|--|--------------------------------|
| Organizaciones | Tipo de actor | TA_i | Categoría, con: 1: Líder 2: Apoyo | Distinto para los agentes, según sus funciones | No cambia | |
| | Estado del actor | EA_i | Categoría, con: 1: Desocupado 2: Ocupado 3: Sin recursos disponibles | Todos los agentes comienzan en estado 'desocupado' | Cambia a medida que los actores se involucran y ejecutan procesos | |
| | Capacidades funcionales | F_{ij} | Vector de binarios. 0: el actor i no puede ejecutar j 1: el agente i sí puede ejecutar j | Distinto para los actores según sus competencias | No cambia | Entrevista con actores locales |
| | Capacidad individual | $CI_{ik}(t)$ | Vector de binarios. 0: el actor i no posee el recurso k 1: el actor i sí posee el recurso k | Distinto para los actores, de acuerdo con los tipos de recursos k que posea cada actor i | Se actualiza a medida que los actores participan en la ejecución de los procesos | Entrevista con actores locales |

Tabla 4.3. Continuación.

| Tipo de agente | Variable / parámetro | Símbolo | Tipo de variable | Inicialización | Actualización | Requerimiento de datos |
|----------------|---|---------------|---|--|--|--------------------------------|
| Organizaciones | Influencia | I_i | Valores continuos entre [0,1], con $\sum_{i=1}^N I_i = 1$ | Se calcula en función de las capacidades relativas de los actores | No cambia | |
| | Probabilidad de coordinación | $PC_i(t)$ | Valores continuos entre [0,1] | $PC_i(t_0)$ según datos obtenidos del trabajo de campo | Cambia en el tiempo para cada actor y depende de los demás agentes | Entrevista con actores locales |
| | Recursos utilizados | $RU_{ijk}(t)$ | Matriz de valores binarios para cada actor i | Al inicio: $RU_{ijk}(t_0) = [zeros]$, para todos los actores | Cambia la matriz de cada agente i según los recursos utilizados k en cada proceso j | |
| | Tasa de utilización de capacidades individuales | $TUC_i(t)$ | Valor continuo entre [0,1] | $TUC_i(t_0) = 0$ | Se calcula a partir de los recursos utilizados por el actor i en el cumplimiento de los procesos | |
| | Tasa de utilización de capacidades totales | $TUCT(t)$ | Valor continuo entre [0,1] | $TUCT(t_0) = 0$ | Se calcula según los recursos utilizados por todos los actores en el sistema | |
| Procesos | Tipo de proceso | TP_j | Categoría, con: 1: Estratégico 2: Táctico 3: Operativo | Distinto para los agentes, según sus requerimientos y alcances | No cambia | |
| | Estado del proceso | EP_j | Categoría, con: 1: Pendiente de recursos 2: En ejecución 3: Ejecutado | Todos los agentes comienzan en estado 'pendiente de recursos' | Cambia a medida que se ejecute cada proceso j | |
| | Capacidad requerida | CR_{jk} | Vector de binarios. 0: el proceso j no requiere el recurso k 1: el proceso j sí requiere el recurso k | Distinto para cada proceso j y según los recursos k que demande | No cambia | Entrevista con actores locales |
| | Prioridad del proceso | PP_j | Valores continuos entre [0,1], con $\sum_{j=1}^M PP_j = 1$ | Se define en función de los requerimientos relativos de los procesos. | No cambia | |
| | Equipo asignado al proyecto | EAP_j | Vector compuesto por elementos $\leq A$. | $EAP_j = 0$, para todos los procesos | Se conforma para cada proceso j según los actores que decidan coordinar en su ejecución | |
| | Tiempo estándar de ejecución | TS_j | Valores reales positivos | Tiempo predeterminado de ejecución del proceso j | No cambia | Entrevista con actores locales |
| | Tiempo efectivo de ejecución | TE_j | Valores reales positivos | El tiempo efectivo de ejecución dependerá de la cantidad de actores y recursos asignados a j | Se calcula según los recursos dispuestos por los actores en el proceso j | |

Tabla 4.3. Continuación.

| Tipo de agente | Variable / parámetro | Símbolo | Tipo de variable | Inicialización | Actualización | Requerimiento de datos |
|----------------|---------------------------------|------------|----------------------------|------------------|---|------------------------|
| Procesos | Tasa de cumplimiento individual | $TCI_j(t)$ | Valor continuo entre [0,1] | $TCI_j(t_0) = 0$ | Se calcula en función de los requerimientos cumplidos de los recursos k para cada proceso j | |
| | Tasa de cumplimiento global | $TCG(t)$ | Valor continuo entre [0,1] | $TCG(t_0) = 0$ | Enmarca el cumplimiento de todos los procesos j involucrados en el sistema | |

La información suministrada en la tabla anterior busca explicar las principales variables que se considerarán en el MBA. La información contenida en la columna final evidencia una necesidad por acudir a fuentes que permitan estimar algunos parámetros y variables. Esta necesidad se satisface con el trabajo de campo adelantado en el caso de estudio que aparece documentado en el capítulo 5. Mientras que los mecanismos de iniciación y actualización de las variables son de utilidad para la codificación del modelo computacional (objeto del capítulo 6). Igualmente, se resalta que el comportamiento emergente del sistema se dará a partir de las decisiones individuales de los actores modelados. Esto último, principalmente basado en las variables y parámetros establecidos para los actores locales, los cuales asumen roles, responsabilidades y recursos particulares. La consideración de las variables definidas en la tabla 4.3, junto con las decisiones de los agentes que se describen a continuación, se establecen con el fin de asemejar las condiciones y criterios de alta variabilidad que muestran los ámbitos humanitarios reales, en función de la construcción de relaciones estratégicas y mecanismos de integración para la coordinación inter-organizacional.

4.3.2 Acciones (A)

El procedimiento definido asume que los actores (cuyo estado inicial es 'desocupado') poseen unas capacidades funcionales de acuerdo con los distintos procesos de preparación. Con esta información se calcula el nivel de influencia (I_i) que cada actor i genera sobre los demás actores del sistema. Igualmente, y con base en los requerimientos que cada proceso posee, se determina el nivel de prioridad (PP_j) de cada proceso j respecto de los demás procesos de preparación. A partir de estos procedimientos iniciales, los actores proceden a enfocarse en ejecutar los procesos con mayor prioridad (PP_j). Mediante este mecanismo, los agentes inician sus interacciones y suman recursos para cumplir los requerimientos de los procesos. En este sentido, una suposición adicional del modelo es que los actores tienen la suficiente flexibilidad para participar en más de un proceso a la vez; ello siempre que sus funciones y recursos individuales lo permitan.

Otra decisión importante de los actores dentro del sistema modelado es la de coordinar a través de la conformación de equipos inter-organizacionales, cuya finalidad es dar cumplimiento a los procesos. Para esto, los actores deben considerar aspectos como sus

capacidades funcionales, la prioridad del proceso, los requerimientos que este demande, así como la influencia de los demás actores interesados en participar del proceso. El mecanismo establecido para la decisión de coordinar en equipos inter-organizacionales se describe seguidamente.

Dado que las organizaciones atienden los procesos de preparación, el primer proceso a ejecutar será aquel que posea mayor valor de prioridad ($\max(PP_j)$). Aquí, el actor que posea capacidad funcional asignada al proceso y con mayor influencia ($\max(I_i)$) se encarga de conformar un equipo de organizaciones destinado a cumplir el proceso. Ello se reconoce como un supuesto que refleja el principio de buena voluntad por parte de las organizaciones para compartir información confiable, y para actuar de manera coordinada en el sistema. Procedimentalmente, esto se realiza del siguiente modo:

- El actor i de mayor influencia ($\max(I_i)$) involucrado en el proceso j (es decir, que posea la capacidad funcional (F_{ij}) para ejecutar j), y que además cuente con recursos suficientes para poder participar ($CI_{ik}(t)$), es el responsable de la ejecución del proceso j . Luego de esta asignación, se procede a conformar el equipo de proyecto (EAP_j) según las decisiones de coordinación.
- Los demás actores asignados al proceso j (es decir, con capacidad funcional F_{ij}), que posean recursos disponibles para participar ($CI_{ik}(t)$), tomarán autónomamente la decisión de integrarse con otros actores con base en la función de probabilidad de coordinación $PC_i(t)$. Esta función se calcula para cada actor involucrado.
- Con el paso anterior se espera configurar un equipo de actores (EAP_j) que buscan ejecutar coordinadamente el proceso j . Si los recursos compartidos en el EAP_j resultan suficientes, los agentes involucrados cambian su estado a 'ocupado' y se da comienzo a la ejecución del proceso.
- En caso de que un actor decida no coordinar en el proceso j (según la función de probabilidad $PC_i(t)$), o no posea recursos disponibles ($CI_{ik}(t)$) para participar, abandona forzosamente el proceso y pasa a analizar su actuación en otros procesos que permanezcan en estado 'pendiente de recursos' (los cuales se abordarán de acuerdo con sus valores de prioridad PP_j). En caso de que el actor no esté involucrado en la ejecución ningún proceso, su estado permanece como 'desocupado'.

El procedimiento descrito puede generar dos escenarios posibles (a partir de las decisiones individuales tomadas los actores involucrados):

- Se puede obtener un equipo de proyecto (EAP_j) conformado por el actor responsable asignado al proceso, junto con los demás actores que hayan decidido participar de manera coordinada, y estos poseen conjuntamente los recursos suficientes para cubrir los requerimientos (CR_{jk}) del proceso j . En este escenario, la ejecución del proceso es factible dado el aporte compartido de los recursos por parte de los actores. Se asume que las organizaciones poseen una voluntad abierta para compartir todo tipo de

recursos con los demás actores del sistema. No obstante, el inicio de la ejecución del proceso depende de un mínimo factor de cumplimiento. A partir de un análisis comparativo de recursos versus requerimientos, se establece un valor crítico del 80%. Esto es, si los recursos compartidos por el equipo de actores equivalen al 80% o más de los recursos requeridos por el proceso de preparación, se permitirá la ejecución de este último y su estado cambia a 'en ejecución'. Empero, esta situación genera un efecto en la duración del proceso, como se describirá más adelante. Mientras el proceso se ejecuta, los recursos asignados por los actores involucrados permanecerán ocupados, lo cual implica reducir las capacidades disponibles de los actores para participar en otros procesos pendientes. Una vez el proceso culmine, cambia su estado a 'ejecutado' y los recursos invertidos retornan a los respectivos actores.

- Como segundo escenario, es posible que los actores, aun cuando han decidido coordinar para abordar un proceso, no posean conjuntamente los recursos suficientes para superar el mínimo nivel de cumplimiento del 80%. Cuando se revele esta circunstancia, el actor líder del proceso desintegra el equipo de actores y posterga el inicio del proceso hasta tanto los recursos de los actores participantes sean suficientes. Esta condición implica, prospectivamente, dos cosas: primero, que los actores tomarán la decisión, una vez más e individualmente, si participan del equipo de proyecto (es decir, aplicar nuevamente la función de probabilidad de coordinación $PC_i(t)$); y segundo, estas dinámicas pueden generar retrasos en el cumplimiento de los procesos y otras ineficiencias por la falta de recursos institucionales compartidos para atender los requerimientos pendientes.

Cuando un equipo de actores (EAP_j) posea recursos suficientes para cumplir el criterio de ejecución de un proceso (es decir, que los recursos compartidos sean iguales o superiores al 80% de los requerimientos a suplir), las mismas organizaciones se encargan de realizar la asignación de recursos de acuerdo con el requerimiento del proceso. Con esto, las capacidades individuales de los actores se actualizan en el tiempo, según los recursos que cada actor aporte. Se asume, por tanto, que la participación en un proceso afectará la capacidad disponible de cada actor involucrado, porque parte de sus recursos organizacionales se encuentran ocupados en el proceso. Si un actor asigna todos sus recursos disponibles a uno o varios procesos, cambia su estado a 'sin recursos disponibles'. Además, cualquier organización en el sistema podrá participar en otros procesos siempre que cuente con disponibilidad de recursos para actuar.

Una vez efectuados los procedimientos descritos y siempre que se cumplan las condiciones, el equipo de actores procede con el cumplimiento del proceso. Al transcurrir el tiempo efectivo de ejecución de un proceso (TE_j), su estado cambia a 'ejecutado'. Por su parte, los actores involucrados actualizan sus recursos ($CI_{ik}(t)$) con la liberación de aquellos que tenían ocupados. Si un actor actualiza sus recursos y no se encuentra vinculado a ningún otro proceso 'en ejecución', cambia su estado a 'desocupado'. Una vez completado este ciclo, los actores pasan a cubrir otros procesos que permanezcan en estado 'pendiente de recursos' y según su orden de prioridad (PP_j). Todos estos

procedimientos continúan iterativamente en procura de abarcar y cumplir los requerimientos de los procesos logísticos de preparación considerados en el modelo.

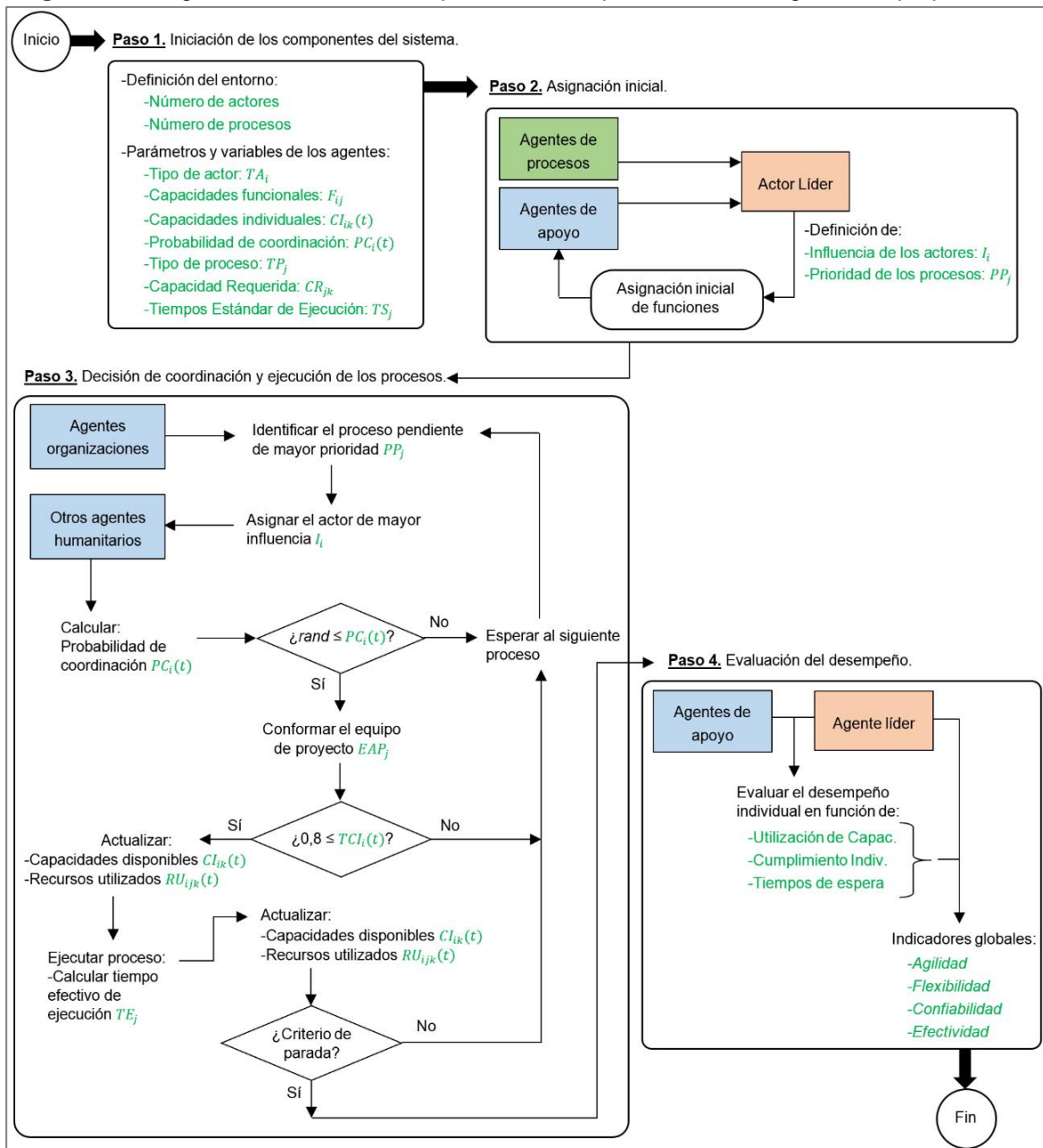
Dado que el diseño del modelo conceptual requiere definir la manera en que las decisiones en el sistema culminarán, se ha decidido establecer un criterio de parada según el transcurso de un tiempo concreto para el desarrollo de los procesos –y no bajo una condición que dependa de condiciones del modelo o de sus agentes involucrados–. Lo anterior, teniendo en cuenta que los procesos logísticos incorporados en este modelo (ver la tabla 4.1) poseen una necesidad de ejecutarse frecuentemente en el tiempo, bajo una perspectiva del largo plazo (como se verá en el capítulo 5). Además, se asume que los actores modelados tienen una permanencia indefinida en los contextos locales.

Sumado a los elementos descritos hasta ahora, otro papel de relevancia que deben cumplir las organizaciones involucradas en el sistema es reunir la información para evaluar el desempeño global del sistema local de preparación. Esto puede conducir a las pretensiones de incrementar el desempeño colectivo a través de la intervención del sistema y, con ello, contemplar posibles alternativas de mejoramiento. Por tanto, al final de la ejecución del modelo, se asume que los agentes recogen experiencias y resultados para calcular los indicadores de desempeño.

Gráficamente, el procedimiento general planteado en el marco del MBA, a través del modelo conceptual descrito aquí, se presenta en la figura 4.2. La notación utilizada en el diagrama muestra las variables y parámetros definidos en color verde y se ubican según los momentos en que estos se asignan o se actualizan a lo largo de la ejecución del procedimiento. Se proponen también los momentos en que actúan, interactúan y toman decisiones los agentes modelados.

Como se ha mencionado, las interacciones entre los agentes organizacionales se dan mediante flujos de información y comunicación con el propósito común de ejecutar conjuntamente los procesos logísticos de preparación para los desastres. Se tiene, por tanto, que el modelo propuesto involucra en su diseño distintos mecanismos de coordinación que han sido tratados en la literatura (como los mencionados en la sección 2.2.5.). Entre estos, se han considerado los siguientes: la gestión de los flujos de información a través de los procesos de comunicación (Altay y Pal, 2014); la asignación y división de tareas (Nikbakhsh y Farahani, 2011); así como el desarrollo de proyectos conjuntamente o *joint project management* (Nikbakhsh Farahani, 2011). Aparte de estos mecanismos de coordinación, se considerarán más adelante otros mecanismos que favorecerán el análisis de escenarios alternativos (como propósito del estudio de simulación), los cuales permiten determinar su impacto en el desempeño global del sistema; sobre lo cual se destina la discusión respectiva a lo largo del capítulo 7 de la presente tesis.

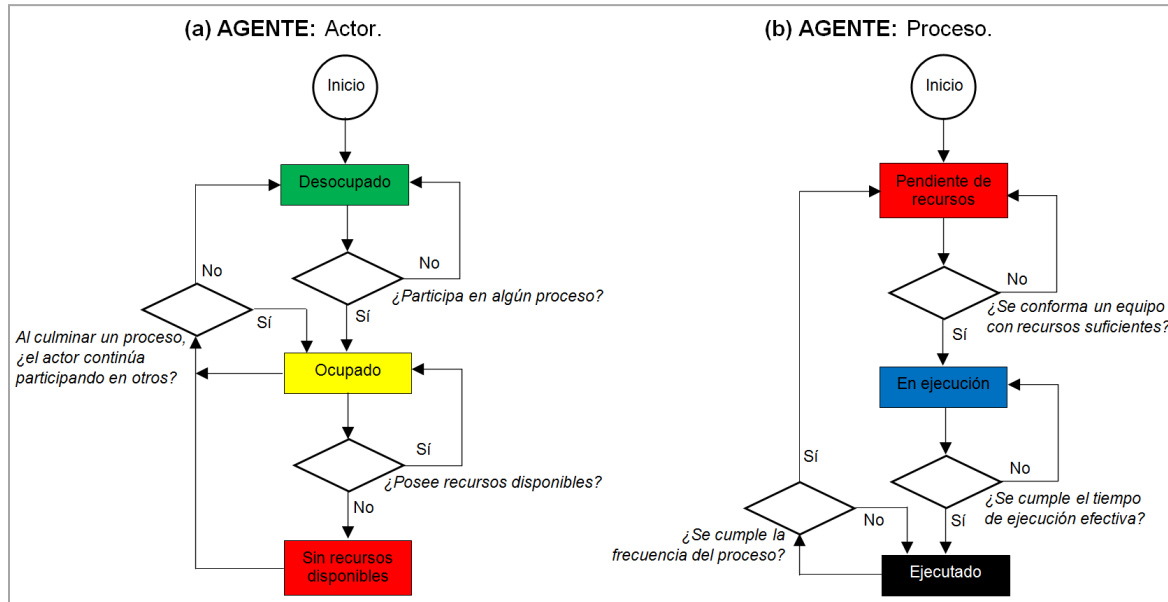
Figura 4.2. Diagrama del modelo conceptual diseñado para el sistema logístico de preparación.



Complementariamente al diagrama de la figura 4.2, y a la información suministrada en la tabla 4.2, se presenta también la figura 4.3 que contiene los diagramas de estado de los agentes definidos en el diseño del modelo conceptual, tanto para los actores locales (figura 4.3a), como para los procesos de preparación (figura 4.3b). Con lo expuesto hasta aquí, la asignación y cumplimiento de los procesos logísticos por parte de las organizaciones modeladas permitirá el establecimiento de una estructura de relaciones de coordinación inter-institucional. Al respecto, se asume que los actores poseen un comportamiento colaborativo. Ello implica que las organizaciones ofrezcan entre sí, información verdadera

y confiable. El comportamiento individual y global espera obtenerse mediante la ejecución conjunta de los procesos a partir de los mecanismos de coordinación inter-organizacional que se asuman en el sistema.

Figura 4.3. Diagrama de estados de los agentes definidos en el diseño del MBA.



4.3.3 Reglas (R)

Esta sección busca describir las reglas de decisión definidas para el modelo. Tres tipos de reglas de decisión han sido diseñadas de acuerdo con: relación de un agente consigo mismo, relaciones de un agente con otros agentes, y relación del agente con el entorno. Esta categorización de reglas se toma de acuerdo con los elementos descriptivos utilizados por autores como Ochoa et al. (2017), Tang et al. (2017) y Hashemipour et al. (2018).

Relaciones del agente consigo mismo

En cuanto a los actores, estos deberán establecer su estado en función de los procesos en que ellos participan y también según sus recursos utilizados y disponibles. Igualmente, la decisión de coordinar se asume como propia de cada actor, dado que es autónomo para decidir participar o no conjuntamente con sus pares. Respecto a los procesos, estos modifican su propio estado de acuerdo con el nivel de cumplimiento que se logre según sus requerimientos.

Relaciones de agentes con otros agentes

Estas decisiones dependen del tipo de agente. Las relaciones entre actores definen un nivel de influencia externa para que un actor tome la determinación de coordinar y

conformar un equipo de proyecto. La integración con otros actores permite determinar cómo se va a realizar la distribución de los recursos disponibles entre sí. Al través de la simulación, los mecanismos de coordinación resultan un factor importante para analizar cómo se integran, relacionan, vinculan distintos actores entre sí. Por su parte, las relaciones entre actores locales y procesos de preparación se dan en función de las decisiones que los primeros toman respecto de la ejecución de los segundos. Los recursos que los actores invierten y utilizan son dependientes de cada proceso particular y, de modo similar, el cumplimiento del proceso está sujeto a los recursos que los actores involucrados posean. Esto implica que el nivel de cumplimiento de los procesos guarda una dependencia radical tanto con los actores asignados al proceso, como de los recursos que permanecen disponibles de su parte. Igual ocurre para establecer los tiempos efectivos de ejecución de los procesos.

Relaciones de agentes con el entorno

Menester es delimitar el alcance de este concepto. Entorno, para el caso, determina el ambiente que un actor modelado posee en el marco del sistema de preparación que se aborda en este trabajo. Desde esta óptica, las posibles alternativas que se contemplan en el modelo conceptual en torno a los mecanismos de coordinación y políticas de decisión podrán influir en las decisiones de coordinación y ejecución efectiva de los procesos. Ello resulta factible debido a la posibilidad de generar distintos escenarios de simulación (objeto del capítulo 7 en esta tesis). Además, las prioridades de los procesos pendientes, sus requerimientos, el nivel de influencia de los actores, y su disponibilidad de recursos, determinan un entorno dinámico que influye en la capacidad y voluntad de decisión para cada actor a nivel individual.

Estas reglas de decisión muestran la manera en que los actores y los demás elementos que componen el sistema están vinculados e inter-relacionados. Por otro lado, asumiendo el objeto de estudio como un sistema complejo, se reconoce la presencia y existencia de ciclos de realimentación, los cuales deben identificarse para el análisis del sistema estudiado. La descripción de tales ciclos será abordada en la parte final de este capítulo.

Como se muestra en la figura 4.2., al inicio del procedimiento del modelo propuesto, los agentes organizacionales generan un panorama de prioridades. Esto delimita un plan de trabajo o asignación inicial de tareas en función de sus capacidades funcionales e influencias de los actores. Una vez cumplido este paso, los agentes comienzan a involucrarse en los procesos logísticos y a interactuar entre sí en busca de formalizar su decisión de coordinar en función de los procesos pendiente y los recursos que posean en común. Dicho de otro modo, los actores coordinan siempre que estén asignados a un mismo proceso y compartan, rigurosamente, una voluntad verdadera de integración-colaboración. Seguidamente, se describe el cálculo de las principales variables del MBA a codificar, con el propósito de complementar la descripción de los procedimientos y decisiones de diseño del modelo conceptual aquí desarrollado. Se sugiere revisar nuevamente la tabla 4.3 junto con la notación de los conjuntos establecidos para el modelo.

Influencia de los actores (I_i)

El sistema modelado parte del supuesto que existen organizaciones con mayores capacidades individuales que otros. De lo cual se deduce que cada actor puede influir en el comportamiento y en las decisiones de otros actores involucrados en el sistema. Esto conlleva a que existan actores más relevantes para la intervención y el cumplimiento de los procesos. Así, la influencia I_i del actor i se calcula al comienzo de la simulación con base en las capacidades individuales del actor en relación con las capacidades acumuladas de todos los actores del sistema, tal como sugiere la ecuación (4.1). Este valor de influencia permanece constante en los actores hasta el final de la simulación. Así mismo, la influencia organizacional será una variable considerada para determinar la probabilidad de coordinación por parte del agente, como se explica más adelante.

$$I_i = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \left(\frac{CI_{ik}(t_0)}{\sum_{i=1}^N CI_{ik}(t_0)} \right), \text{ con } \sum_{i=1}^N I_i = 1 \quad (4.1)$$

En esta expresión se tiene que $CI_{ik}(t_0)$ equivale a la capacidad individual inicial de cada actor, representada como un vector de la forma:

$$CI_{ik}(t_0) = \{CI_{i1}(t_0), CI_{i2}(t_0), CI_{i3}(t_0), \dots, CI_{iL}(t_0)\}$$

De manera que el vector $CI_{ik}(t_0)$ contiene las cantidades iniciales que el actor i posee de cada tipo recurso k en el tiempo (t_0). Luego la influencia I_i se calcula como el promedio de los valores relativos de todos los L tipos de recursos que posea i respecto de todos los N actores en el sistema local de preparación.

Prioridad de los procesos (PP_j)

Así como los agentes organizacionales pueden distinguirse según su influencia individual basada en los recursos, los procesos logísticos tendrán distintos índices de prioridad. Esto con el ánimo de abordar primero aquellos procesos de mayor relevancia en el sistema de preparación logística. La prioridad PP_j se calcula a través de la relación de los requerimientos que posee el proceso j respecto de los requerimientos acumulados de todos los M procesos logísticos (ver ecuación (4.2)). Se asume que la prioridad de cada proceso es conocida por todos los actores.

$$PP_j = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \left(\frac{CR_{jk}}{\sum_{j=1}^M CR_{jk}} \right), \text{ con } \sum_{j=1}^M PP_j = 1 \quad (4.2)$$

La variable CR_{jk} de la ecuación (4.2) representa un vector de la forma:

$$CR_{jk} = \{CR_{j1}, CR_{j2}, CR_{j3}, \dots, CR_{jL}\}$$

En este vector se incluyen las capacidades requeridas del proceso j en términos de cada recurso k . Por lo cual, se obtiene la prioridad PP_j al promediar todos los valores relativos de los L tipos de recursos que posea j respecto de los recursos de todos los M procesos.

Probabilidad de coordinación ($PC_i(t)$)

Una vez se realiza la valoración de las influencias de los actores y las prioridades de los procesos, los actores buscan ejecutar los procesos de preparación de acuerdo con una secuencia de prioridades definidas (según la variable PP_j de los procesos). Para lo cual, el actor de mayor influencia ($\max(I_i)$) cuyas capacidades funcionales (F_{ij}) le permitan abordar el proceso j , será designado como el principal responsable de dicho proceso. Los demás actores con capacidad funcional F_{ij} asignados al proceso j deben decidir, de forma individual, si coordinan o no en su cumplimiento. Los actores se basan en la función de probabilidad de coordinación para asumir la decisión (ecuación (4.3)). Esta función depende del valor de probabilidad previa, de la influencia endógena del actor i , y de la influencia exógena de los demás actores involucrados en el proceso j .

Con base en lo anterior, la función de probabilidad de coordinación definida para el modelo aquí tratado se muestra en la siguiente expresión:

$$PC_i(t) = (1 - I_i) * \sum_{i=1}^W (E_i(t) * PC_i(t - 1)) + I_i * PC_i(t - 1) \quad (4.3)$$

con $0 \leq PC_i(t) \leq 1$

La ecuación (4.3) se ha tomado y adaptado de lo planteado en el trabajo de Zhao et al. (2012). Con base en esta ecuación es posible cuantificar la probabilidad de que el agente i decida coordinar en un tiempo dado (t). El cálculo de la probabilidad de coordinación sugerido en la ecuación se compone de dos partes. En la parte izquierda de la función se concibe la influencia exógena al agente para tomar la decisión de coordinar, esto es, la influencia que los demás agentes ejercen en la decisión particular del actor i . Tomando los elementos de la ecuación (4.3), la influencia exógena está compuesta de tres términos:

- $(1 - I_i)$: Se considera un factor de influencia exógena, ya que representa la probabilidad de que otros actores influyan en la decisión del agente i , con base en la influencia individual I_i del actor i .
- $E_i(t)$: Es un valor que representa una influencia relativa del actor i respecto de los demás actores que se agrupan para tomar la decisión de coordinar en el proceso j .

El conjunto de actores involucrados se denota como W . Con esto, el valor $E_i(t)$ se calcula en función de las capacidades individuales $CI_{ik}(t)$ del agente i , en el tiempo (t) , respecto de las capacidades de los W actores. Esto se logra con base en la ecuación (4.4):

$$E_i(t) = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \left(\frac{CI_{ik}(t)}{\sum_{i=1}^W CI_{ik}(t)} \right), \text{ con } \sum_{i=1}^W E_i(t) = 1 \quad (4.4)$$

- $PC_i(t - 1)$: El tercer término contiene el valor de la probabilidad de coordinación del agente i , en el tiempo $(t - 1)$.

La segunda parte de la ecuación (4.3) representa el criterio endógeno del agente i para tomar la decisión de coordinar en el proceso j . Se compone de los siguientes factores:

- I_i : Factor de influencia del agente i , que se ha descrito anteriormente y que se calcula mediante la ecuación (4.1).
- $PC_i(t - 1)$: La probabilidad de coordinación del agente i tomada en el tiempo $(t - 1)$.

Con base en la función de probabilidad descrita, la decisión de coordinar por parte de un actor i en un proceso j en el tiempo (t) toma un carácter integral en donde se combinan elementos endógenos y exógenos a cada organización. Esto con el fin de representar las condiciones en que las organizaciones deciden establecer relaciones colaborativas. En consecuencia, y con base en la ecuación (4.3), la decisión de coordinar en el modelo diseñado se toma según el siguiente criterio:

$$\text{Si } \begin{cases} \text{rand} \leq PC_i(t), \text{ el actor } i \text{ decide sí coordinar en } j \\ \text{rand} > PC_i(t), \text{ el actor } i \text{ decide no coordinar en } j \end{cases}, \text{ con } 0 \leq \text{rand} \leq 1$$

Actualización de las capacidades organizacionales

En la medida que los actores deben utilizar sus recursos disponibles para dar cumplimiento a los procesos asignados, se espera que las capacidades individuales $CI_{ik}(t)$ de un actor i varíen cuando este se involucre en la ejecución de los procesos a lo largo del tiempo. Por tanto, se hace necesario cuantificar los recursos utilizados ($RU_{ijk}(t)$) de cada tipo de recurso k , que el actor i decide usar en el cumplimiento de un proceso j . Para ello se hace uso de la expresión (4.5):

$$RU_{ijk}(t) = \begin{cases} CI_{ik}(t - 1), & \text{si } CR_{jk} > 0 \\ 0, & \text{si } CR_{jk} = 0 \end{cases} \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, L\} \quad (4.5)$$

Donde CR_{jk} representa los requerimientos de cada tipo de recurso k que demanda el proceso j . Mientras que $CI_{ik}(t - 1)$ es la capacidad individual disponible del agente i ,

en términos de los k recursos, que posee previo al inicio de la ejecución del proceso, es decir, en el tiempo $(t - 1)$. A partir de lo propuesto, se comprende que, siempre que el proceso j requiera de un recurso particular k (es decir, si $CR_{jk} > 0$), un actor i que posee recursos disponibles de ese tipo k , destinará estos recursos en la ejecución del proceso. Este estado de ocupación de los recursos se sostendrá, hasta tanto el proceso que se desarrolla no se da como terminado. Los distintos recursos utilizados $RU_{ijk}(t)$ de un actor i pueden representarse a través de un vector, del siguiente modo:

$$RU_{ijk}(t) = \{RU_{ij1}, RU_{ij2}, RU_{ij3}, \dots, RU_{ijL}\}$$

Ello con la intención de llevar el registro de todos los tipos de recursos L que un actor i utilice en el cumplimiento de un proceso específico j . El mecanismo que implica la expresión (4.5) procura asumir una asignación efectiva de los recursos requeridos, así como de una voluntad participativa de los actores modelados. De tal manera que los actores aportan los recursos necesarios para compartirlos con los demás actores que conforman el equipo EAP_j y lograr el cumplimiento del proceso j .

Luego de calcular los recursos utilizados $RU_{ijk}(t)$, se procede a actualizar las capacidades individuales disponibles de los actores, de conformidad con la ecuación (4.6), a fin de representar el impacto de la utilización de los recursos cuando los actores se involucran en un proceso. Esta situación genera una reducción de las capacidades organizacionales para afrontar otros procesos que permanecen pendientes por cumplir.

$$CI_{ik}(t) = CI_{ik}(t - 1) - RU_{ijk}(t) \quad (4.6)$$

Donde $CI_{ik}(t - 1)$ representa la capacidad individual (en términos de cada tipo de recurso k) del agente i antes de ejecutar el proceso j ; y $RU_{ijk}(t)$ representa los distintos recursos k que efectivamente se utilizarán, obtenidos mediante la expresión (4.5).

Dado que los tipos de recursos considerados en este modelo (como personas, información, conocimiento, equipos, vehículos, locaciones, etc.) poseen una naturaleza no consumible, se presume que, al terminar la ejecución de un proceso logístico de preparación, los recursos utilizados serán liberados y retornados a sus respectivos actores. Este mecanismo se hace efectivo con el uso de la ecuación (4.7).

$$CI_{ik}(t) = CI_{ik}(t - 1) + RU_{ijk}(t - 1) \quad (4.7)$$

En este caso, $RU_{ijk}(t - 1)$ representa los distintos recursos k que el actor i aportó en el cumplimiento de un proceso j que ha logrado cumplirse.

Tasa de cumplimiento individual del proceso ($TCI_j(t)$)

La tasa de cumplimiento individual se propone como indicador de efectividad para el modelo de simulación, el cual pretende medir el nivel de satisfacción en la ejecución del proceso j de acuerdo con sus requerimientos CR_{jk} . La tasa de cumplimiento individual de cada proceso logístico de preparación j se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TCl_j(t) = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L CE_{jk}(t), \text{ con } 0 \leq TCl_j(t) \leq 1 \quad (4.8)$$

En esta ecuación, el término $CE_{jk}(t)$ representa el cumplimiento específico para cada tipo de recurso k , que los actores involucrados en el proceso j lograron brindar en función de los requerimientos demandados (CR_{jk}) en el tiempo (t). La estimación del cumplimiento específico $CE_{jk}(t)$ se obtiene a partir de la expresión (4.9).

$$CE_{jk}(t) = \begin{cases} 1, & \text{si } \sum_{i=1}^{EAP_j} RU_{ijk}(t) > 0 \\ 0, & \text{si } \sum_{i=1}^{EAP_j} RU_{ijk}(t) = 0 \end{cases}, \text{ si } CR_{jk} > 0, \forall k \in \{1, 2, \dots, L\} \quad (4.9)$$

Esta expresión considera los recursos invertidos por los actores participantes del proceso, es decir, del equipo conformado EAP_j , así como los recursos requeridos (CR_{jk}) de parte del proceso j . El procedimiento determinado para calcular el cumplimiento de un proceso individual se ha propuesto bajo el supuesto de que, frente a unos recursos demandados, las organizaciones actúan aportando sus propios recursos buscando dar cumplimiento a los requerimientos. En este sentido, un incumplimiento de los actores se genera cuando, frente a un proceso que está siendo ejecutado y el cual demanda un tipo de recurso k , ninguna de las agencias involucradas posee disponibilidad de ese recurso específico. Así, el cálculo de $TCl_j(t)$ se obtiene al promediar los valores obtenidos de cumplimiento específico ($CE_{jk}(t)$) para cada recurso k . A partir de lo mostrado en la expresión (4.9), el cumplimiento específico de un tipo de recurso particular tiene sentido siempre y cuando ese recurso sea requerido por parte del proceso j ($CR_{jk} > 0$). En caso contrario (es decir, cuando $CR_{jk} = 0$), se procede a excluir este recurso, o elemento, del promedio sugerido en la ecuación (4.8). Esto evita inconvenientes matemáticos durante los cálculos, puesto que carece de sentido incluir en el procedimiento de estimación del cumplimiento, un aspecto que no es requerido por parte del proceso.

Tasa de cumplimiento global ($TCG(t)$)

Este indicador tiene como propósito calcular el nivel de cumplimiento que presentan los M procesos logísticos considerados en el sistema modelado. Para ello, se calcula el

promedio simple de la tasa de cumplimiento individual $TCl_j(t)$ de todos los M procesos considerados en el MBA, según se muestra en la ecuación (4.10).

$$TCG(t) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M TCl_j(t), \text{ con } 0 \leq TCG(t) \leq 1 \quad (4.10)$$

Donde $TCl_j(t)$ es la tasa de cumplimiento individual de cada proceso j , y cuyo cálculo se obtiene con la ecuación (4.8).

Tasa de utilización de las capacidades de los actores ($TUC_i(t)$ y $TUCT(t)$)

Como indicador de eficiencia, se propone uno relacionado con el uso de los recursos durante la ejecución de los procesos de preparación. De esta forma, la tasa de utilización de las capacidades individuales $TUC_i(t)$, para un actor i (ver ecuación (4.11)), se calcula con la relación entre los recursos utilizados $RU_{ijk}(t)$, que un agente i tiene ocupados en un tiempo determinado (t), sobre las capacidades individuales iniciales $CI_{ik}(t_0)$ del actor, respecto a cada tipo de recurso k .

$$TUC_i(t) = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \left(\frac{1}{CI_{ik}(t_0)} \sum_{j=1}^M RU_{ijk}(t) \right), \text{ si } CI_{ik}(t_0) > 0, \text{ con } 0 \leq TUC_i(t) \leq 1 \quad (4.11)$$

El cálculo propuesto tiene sentido siempre que el actor i posea dentro de sus recursos organizacionales iniciales, unidades del tipo k . Esto es, si un actor no posee recursos de un tipo particular ($CI_{ik}(t_0) = 0$), este elemento no se incluye en el promedio que implica la ecuación (4.11). Amén de lo anterior, la tasa de utilización de capacidades totales $TUCT(t)$ (ecuación (4.12)) se propone como un indicador de desempeño global que relaciona los recursos utilizados por todos los N actores involucrados en los procesos de preparación en un tiempo (t), así:

$$TUCT(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N TUC_i(t), \quad \text{con } 0 \leq TUCT(t) \leq 1 \quad (4.12)$$

Con esta expresión, que conlleva un promedio simple, se obtiene el indicador para determinar el nivel de utilización por parte de todos los actores modelados, en función del total de las capacidades provistas en el sistema logístico de preparación.

Otros indicadores globales

Conviene resaltar lo siguiente: las interacciones generadas entre los agentes (tanto actores como procesos), en el marco de la fase de preparación, permiten identificar el comportamiento global del sistema. Los resultados conducen a establecer cómo

diversos mecanismos de coordinación favorecen la actuación de las agencias humanitarias locales durante la preparación de emergencias y desastres. El análisis planteado resulta de suma utilidad para inferir aspectos globales del sistema en lo que respecta a otros indicadores clave. Los cuales se toman del estudio de expertos (capítulo 3), en términos de agilidad, flexibilidad, confiabilidad, y efectividad del sistema logístico de preparación.

En línea con lo anterior, y manteniendo adherencia con los resultados presentados en la sección 3.4.3. y con los propósitos definidos para el proyecto de investigación, se han establecido otras medidas de desempeño en el marco del sistema modelado. En la tabla 4.4 se muestran los indicadores específicos definidos para el modelo conceptual descrito en este capítulo.

Tabla 4.4. Indicadores de desempeño definidos para el MBA.

| Indicador clave | Indicador específico |
|-----------------------------|---|
| Agilidad | Tiempo total de culminación de todos los procesos |
| | Tiempos de espera |
| Flexibilidad (resiliencia) | Cantidad de procesos abordados por actor |
| | Número de alternativas de ejecución por proceso |
| Confiabilidad y efectividad | Tasa de cumplimiento global |
| | Incumplimientos promedio |
| Utilización de capacidades | Tasa de utilización de capacidades totales |
| | Tiempo en desocupación |

Con la inclusión de estos indicadores en el modelo propuesto, se responde a la necesidad manifestada en torno a la evaluación del desempeño global desde diversas perspectivas, según fue sugerido en el estudio de expertos. Los aspectos particulares de su codificación y programación computacional, así como sus análisis respectivos con base en el proceso de simulación, serán profundizados en capítulos posteriores.

Las bondades del enfoque de simulación elegido (MBA) facilitan la comparación del desempeño del sistema modelado respecto de la proposición e implementación de distintos mecanismos de coordinación. A fin de obtener datos e información relevantes para alimentar el modelo de simulación, se plantea una serie de entrevistas dirigidas a agencias humanitarias del caso de estudio elegido (objeto del capítulo 5). Esto implicó el diseño de instrumentos de investigación y la consecuente participación de las principales organizaciones locales responsables de la gestión de desastres. Asimismo, el desempeño del sistema que se obtiene a través del modelo propuesto se contrastará con distintos escenarios que incorporan distintos mecanismos de coordinación (capítulo 7); al igual que desde diversos escenarios planteados según la variación de los parámetros de entrada y variables, lo cual configura un estudio de sensibilidad del MBA propuesto (capítulo 6). En últimas, lo que el modelo conceptual aquí descrito pretende lograr es una representación válida y fiable del comportamiento de los agentes embebidos en el sistema, e identificar también cómo, desde distintos escenarios propuestos, se puede fomentar la integración y

coordinación que posibiliten materializar mejoras en los indicadores de desempeño del sistema bajo estudio.

4.3.4 Tiempo (T)

Dentro de las decisiones de diseño del modelo conceptual que tienen como fin representar el sistema logístico de preparación, se asume que el paso del tiempo enmarca la toma de decisiones por parte de las organizaciones, al igual que los aspectos inherentes a la ejecución de los procesos. Esto tiene que ver con los momentos de inicio, progreso y culminación que comprende modelo de simulación. Se define el transcurso del tiempo en términos discretos, lo cual no va en detrimento de representar toda novedad que ocurra en el sistema, ya sea por parte de los actores locales o por alguno de los procesos de preparación. Esta decisión obedece a la naturaleza del contexto en el que se desarrolla la fase de preparación en el sector humanitario, dado que los procesos y las relaciones estratégicas implican, generalmente, un ámbito temporal del largo plazo (Kovács y Spens, 2007; Pettit y Beresford, 2009). Gracias al trabajo de campo adelantado en el de caso elegido (sección 5.3.), se obtuvo información suficiente para definir el tiempo estándar (TS_j) y la frecuencia de ejecución de cada proceso logístico de preparación.

Como se sugería apartados anteriores, el tiempo efectivo de ejecución (TE_j) de un proceso j depende del cumplimiento esperado del proceso ($TCl_j(t)$), según los actores y recursos involucrados en la ejecución del proceso. Por tanto, al obtener el indicador de cumplimiento del proceso, se identifica una carencia o insuficiencia de los recursos aportados por los actores, y ello implicará una ampliación en el tiempo de culminación del proceso. La ecuación (4.13) se plantea para calcular el tiempo efectivo de ejecución de los procesos logísticos de preparación.

$$TE_j = TS_j * \left(\frac{1}{TCl_j(t)} \right) \quad (4.13)$$

Donde TS_j es el tiempo estándar del proceso j , y $TCl_j(t)$ es la tasa de cumplimiento individual que obtiene el equipo de actores (EAP_j). La formulación de esta ecuación permite reconocer la influencia que imprime la eficiencia operacional en los tiempos de ejecución en el modelo. Esta situación se genera por la falta de total cumplimiento por parte de los actores cuando estos no asignan (o no poseen) recursos suficientes para ofrecer cobertura completa a los requerimientos durante la fase de preparación.

El factor temporal se convierte en un elemento importante para la lógica de la simulación, con lo que se espera lograr una mejor abstracción del sistema modelado. Esto ayuda a comprobar el impacto de los mecanismos de coordinación inter-organizacional en el cumplimiento de los procesos logísticos y la eficiencia del sistema.

El planteamiento hecho define que la simulación comienza con la definición de parámetros y variables clave de los agentes (figura 4.2). El avance del modelo-sistema se manifiesta a partir de las decisiones e interacciones entre los agentes que buscan cumplir los procesos pendientes (considerando los tiempos requeridos para efectuar su ejecución). El modelo de simulación avanza, de acuerdo con su programación, hasta tanto se cumpla el criterio de parada. Como se mencionó antes, se concibe un modelo que corre durante un tiempo definido. Esta determinación favorece el surgimiento e identificación de dinámicas globales del sistema de preparación.

Una vez el proceso de corrida culmine, el modelo procede a calcular los indicadores globales del sistema, en términos de eficiencia y efectividad (tabla 4.4). Cabe mencionar en este punto, que el diseño del modelo pretende dar evidencia de variables intermedias durante la simulación –e incluso durante cada paso del tiempo–, de modo que se obtenga evidencia del comportamiento dinámico del sistema. Entre estos, se consideran indicadores relacionados con aspectos individuales de los agentes, como la cantidad de actores según su estado, el número de relaciones en cada momento, la cantidad de recursos utilizados y disponibles, así como los estados y niveles de cumplimiento parcial de los procesos de preparación.

4.3.5 Entorno (E)

Para definir el entorno del sistema modelado, se consideran dos elementos fundamentales que han sido abordados a lo largo de este capítulo: las organizacionales humanitarias del ámbito local, y los procesos logísticos de preparación de emergencias y desastres (ver figura 4.1). Respecto a los tipos de agentes propuestos para diseñar el modelo, se recuerda la inclusión de los siguientes:

- Organización líder: representa la agencia gubernamental local que, para el caso estudiado, se define como la unidad de gestión del riesgo de desastres a nivel municipal, cuya importancia capital se sustenta tanto en la literatura como en su responsabilidad social de acuerdo con los marcos normativos.
- Actores de apoyo: representan a las organizaciones humanitarias participantes en la ejecución de los procesos de preparación para la atención de desastres. Cada agente de este tipo representa una organización particular, en tanto se logren considerar cuerpos locales como bomberos, cruz roja municipal, defensa civil, junto con otras agencias de socorro, que tengan presencia activa, demostrada, a nivel local.
- Procesos logísticos de preparación: corresponden a las principales decisiones asumidas durante la fase de preparación (obtenidas del capítulo 3), que incluyen decisiones estratégicas, tácticas y operativas, y se relacionan con: el desarrollo de planes de respuesta a emergencias, la estructuración y planificación de la red logística local, la generación de acuerdos y relaciones inter-sectoriales, el desarrollo de programas de entrenamiento para el personal de socorro y las comunidades, y el pre-posicionamiento de recursos humanitarios. Como se mostraba en la tabla 4.1, el nivel

jerárquico de las operaciones implica que cada proceso presente unos requerimientos de recursos y tiempos de ejecución diferentes.

A conciencia de los elementos que participan en el entorno definido para el MBA y de las reglas que se han establecido para el comportamiento y las decisiones de los agentes involucrados, no resulta necesario dentro de los requisitos de diseño, una ubicación en términos espaciales para los agentes. Esto obedece a que el propósito del modelo está enfocado en el estudio del comportamiento y las relaciones inter-organizacionales de los agentes inmersos en sistema logístico de actores locales durante la fase de preparación. Lo que se pretende es analizar cómo estos comportamientos individuales generan y determinan una dinámica global del sistema.

El diseño conceptual del MBA permite que los actores modelados se adapten en función de sus decisiones y estados, lo que conlleva a que los agentes sean dinámicos en el tiempo, especialmente en lo que respecta a sus estados, decisiones y variables. Estas perspectivas tienen un influjo directo en la utilización de las capacidades organizacionales. Bajo los principios de la modelación basada en agentes, las actuaciones individuales permiten visualizar cómo las inter-relaciones y las decisiones de coordinación afectan el desempeño desde un alcance holístico, en términos de la alineación, flexibilidad, agilidad y otros aspectos del sistema.

Al reconocer la naturaleza dinámica y compleja del sistema humanitario abordado, se acepta que tanto por la estructura como por los comportamientos de estos sistemas humanitarios se producen distintos ciclos de realimentación (figura 4.4). Tales ciclos tienen influencia sobre los comportamientos individuales de los actores y sobre los resultados globales. Este tipo de dinámicas cíclicas han sido expuestas por autores como Besiou et al. (2014); Diaz et al. (2015); Powell et al. (2016); y Voyer et al. (2016). Con base en esto, los principales ciclos de realimentación que pretenden evidenciarse a través de la simulación del modelo conceptual propuesto son los siguientes:

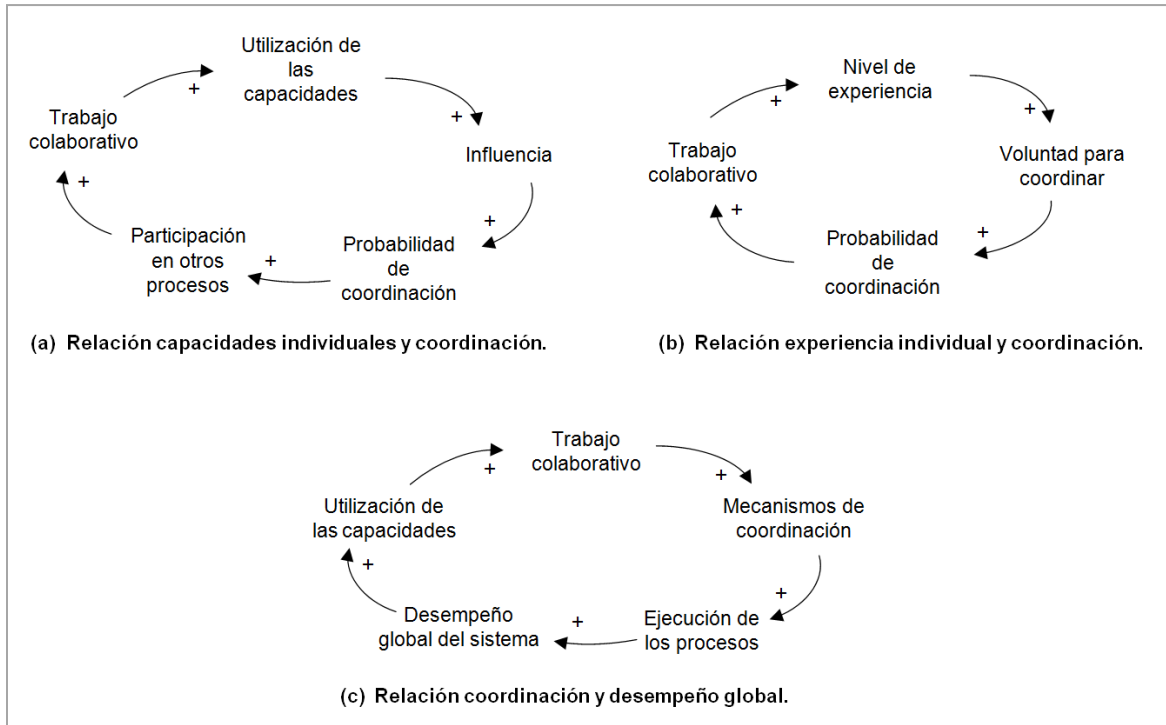
Relación entre las capacidades y la coordinación inter-organizacional

Las capacidades organizacionales que posea un actor permiten determinar su nivel de influencia sobre las decisiones de otros agentes; a su vez, esta influencia se manifiesta en la función de probabilidad de coordinación. De lo cual se desprende que, a mayor probabilidad de coordinar, mayores posibilidades habrá para trabajar de manera integrada y cooperativa. Esto último ofrece al actor, la posibilidad de desempeñarse en otros procesos, lo que genera un mejor uso de las capacidades organizacionales individuales en pro del cumplimiento de las operaciones. Estas dinámicas están representados en la figura 4.4a.

Relación entre experiencia individual y coordinación

Una de las variables críticas en el modelo propuesto es la probabilidad de coordinación. Se tiene que, si los agentes han llegado a coordinar en situaciones pasadas, la probabilidad de coordinación se beneficia positivamente, es decir, se incrementa (ver figura 4.4b). Esto favorece la posibilidad de integración para futuras decisiones, ya que la coordinación propende por una mejor experiencia de los agentes y potencia su voluntad de asociación. Consecuentemente, se incrementa la probabilidad de coordinación para continuar la búsqueda del cumplimiento de otros procesos logísticos de preparación.

Figura 4.4. Ciclos causales y de realimentación provistos en el modelo conceptual propuesto.



Relación entre coordinación y desempeño (figura 4.4c)

Como se ha expresado, la coordinación inter-organizacional permitirá a los agentes involucrados definir mecanismos para la ejecución de tareas según las capacidades requeridas. Cuanto mayor cumplimiento de los procesos se obtenga, mayor será el desempeño global del sistema. Ello trae inherente una mejor utilización de los recursos o capacidades individuales por parte de los actores. Con lo cual, y como se ha dicho, se considera que con mayores recursos disponibles se influye positivamente en la posibilidad de coordinación entre los agentes. Por el contrario, en entornos de poca favorabilidad a la coordinación, el escenario implica que los agentes se vean imposibilitados para cumplir con los procesos requeridos (al asumir una postura de poca voluntad a la integración). Este escenario produce afectación en el desempeño general del sistema. Asimismo, se presentarán menores relaciones y menor cumplimiento, lo

que afecta nueva y negativamente la posibilidad de fomentar las oportunidades de coordinación entre los actores que hacen parte del sistema logístico.

La importancia de considerar comportamientos dinámicos y efectos de realimentación entre las variables y factores asumidos en el modelo conceptual obedecen a una necesidad y, a la vez, a un requerimiento, que son pertinentes para explicar la dinámica de complejidad que se reflejan en los contextos abordados en esta tesis. En concordancia con estos postulados, Schaffernicht (2009) y Krejci (2015) justifican estos análisis para lograr una aproximación al comportamiento y desempeño del sistema, aspectos que no siempre se obtienen de manera clara, precisa, o intuitiva. Voyer et al. (2016) sostienen que comprender los efectos dinámicos del sistema, con relación a la gestión de capacidades y procesos, se convierte en un asunto esencial durante la preparación para los desastres.

Con todo lo expuesto, el modelo conceptual se presenta como un insumo fundamental para dar continuidad al desarrollo metodológico que se viene describiendo en esta tesis. En lo particular, será útil para abordar el estado actual de un sistema real y la estimación de los valores por asignar a los parámetros y variables definidos anteriormente, sobre lo cual se tratará en el capítulo siguiente. E, igualmente, resulta un insumo para adelantar el análisis y la discusión de los resultados del modelo de simulación (capítulo 7); cuyo diseño y programación computacional serán descritos más adelante en el capítulo 6.

4.4 Conclusiones del capítulo

El propósito de este capítulo se centró en la descripción del modelo conceptual del sistema logístico de preparación, en función de los objetivos generales establecidos para el proyecto investigativo. Se establece así un parámetro inicial para realizar el estudio, análisis y comprensión de cómo se comporta un sistema de este tipo en un ámbito estrictamente local. En términos particulares, la descripción del modelo conceptual se centra en elementos concretos que se han seleccionado para el sistema objeto de estudio: el sistema logístico de preparación para la atención de emergencias y desastres a nivel local. En este sentido, la importancia de los elementos seleccionados radica en que estos pretenden llegar a un nivel de representatividad suficiente para el problema de investigación, de acuerdo con lo sugerido por Meredith (1993). Las distintas suposiciones o simplificaciones definidas durante las secciones del capítulo obedecen a decisiones de diseño. No obstante, tales determinaciones han sido tomadas bajo la intención de no perder representatividad, ya que, de acuerdo con lo expuesto por autores como Krick (1979) y Galán (2007), un modelo debe responder y corresponder a los objetivos de una investigación. De tal modo que los resultados venideros a partir de la utilización del modelo conceptual sean satisfactorios para las pretensiones y propósitos del trabajo investigativo.

Desde lo metodológico, la definición del modelo conceptual se ha consolidado y estructurado con base en el marco referencial PARTE, propuesto por Ross Hammond (2015). Mediante esta metodología, el sistema abordado es explicitado bajo una descripción sucesiva de las propiedades, las acciones, las reglas, el tiempo, y el entorno,

de acuerdo con los agentes definidos en el modelo basado en agentes. La consideración de los componentes, dinámicas y comportamientos propuestos en el modelo conceptual se ha adelantado con dos fines fundamentales: en primer lugar, proponer los insumos básicos para el diseño de un modelo de simulación basado en MBA; y, en segundo término, establecer las descripciones básicas que pretenden dar uso y aplicación de indicadores de desempeño específicos, sin olvidar la perspectiva sistémica dentro del estudio. Los aspectos comentados han sido reforzados y complementados gracias al diseño de las figuras y esquemas gráficos mostrados a lo largo del capítulo.

Por último, este capítulo resulta ser un desarrollo crucial en la tesis, es un eslabón clave en la secuencia lógica de este manuscrito. Lo dicho estriba en que durante la descripción del modelo conceptual han sido incluidos los resultados obtenidos en las primeras fases de la investigación. Esto es, el modelo se ha desarrollado bajo la consideración de los procesos y actores locales más relevantes según lo resaltado en el capítulo 3. Igualmente, los indicadores de desempeño elegidos se aseguran como las variables de decisión y de salida en el modelo de simulación del sistema considerado. Este capítulo representa un paso esencial en esta tesis por lo que transmite a los capítulos sucesivos. El modelo conceptual diseñado, por antonomasia, representa una fase inicial y necesaria para diseñar un modelo de simulación que pretenda ser tanto válido como útil. Por tanto, las decisiones y dinámicas incluidas en el modelo conceptual, mostradas como preludio en este capítulo, pretenden ser corroboradas mediante la caracterización del sistema local de preparación en el estudio de caso (capítulo 5), así como en el diseño y puesta a punto del modelo de simulación basado en agentes, junto con el análisis de escenarios alternativos, que serán los propósitos por desarrollar en los capítulos 6 y 7 de la presente tesis.

5. Capítulo quinto: Trabajo de campo

Anteriormente, se ha hecho la presentación del diseño conceptual del modelo basado en agentes (MBA) que representa el sistema local de preparación logística en el marco de la gestión de desastres. Tal modelo se compone de los principales actores locales que participan y son responsables de los procesos que se llevan a cabo durante la fase previa, *ex ante*, a la ocurrencia de fenómenos de desastre. Los elementos involucrados en el sistema han sido definidos con base en dos fuentes principales: el estado del arte y el análisis de expertos internacionales de reconocimiento en el campo de la logística humanitaria. Todo lo anterior quedó descrito en los capítulos 3 y 4. Ahora, como paso necesario para diseñar el modelo de simulación basado en agentes y continuar con el diseño metodológico definido para cumplir los objetivos de esta investigación, se deben obtener los valores que serán asignados a los parámetros y variables de entrada para alimentar el modelo de simulación. La necesidad de precisar los *inputs* del MBA a partir de un caso real, que permita caracterizar los ámbitos prácticos para un mayor acercamiento y representatividad del sistema modelado, justifica el desarrollo de un trabajo de campo dirigido al caso elegido. Por tanto, el propósito de este capítulo es presentar el proceso desarrollado como trabajo de campo en un caso colombiano, cuya ejecución permite consolidar los valores de entrada al modelo y la posibilidad de su aplicación para analizar el comportamiento del sistema a partir de escenarios que involucren distintos mecanismos de coordinación.

A partir de los lineamientos del presente capítulo, se presentan algunos aspectos metodológicos que justifican las actividades realizadas como parte del trabajo de campo, así como una breve descripción del caso seleccionado como caso de estudio. Esto busca responder a preguntas esenciales como: ¿En qué procesos de preparación participan los actores locales clave? ¿Cuáles son las capacidades que poseen estos actores locales? ¿Cuáles son las capacidades requeridas para dar cumplimiento efectivo a los procesos de preparación? ¿Cómo son las relaciones inter-organizacionales entre los actores durante la fase de preparación?

Para dar respuesta a estas preguntas fue menester diseñar un instrumento de investigación que permitiese registrar esta información a partir de una serie de entrevistas dirigidas a las organizaciones locales responsables de los procesos de gestión del riesgo de desastres en el municipio objeto de trabajo. Por tanto, en este capítulo también se presenta una descripción general del caso seleccionado, así como todo el proceso de diseño y aplicación del instrumento de investigación. Más adelante se hace una discusión

de los principales hallazgos obtenidos del estudio y se comparten algunas apreciaciones de carácter concluyente para esta fase de la investigación.

5.1 Introducción: Generalidades metodológicas

La necesidad de identificar aspectos relevantes de la realidad durante esta investigación, dada la falta de completo conocimiento del entorno y asuntos particulares en el sistema local de preparación, condujo a la necesidad adicional de reconocer a las instituciones locales y, por tanto, realizar un proceso de recopilación de información que sustentara las actividades encaminadas al cumplimiento de los fines particulares del proyecto investigativo. En este sentido, Hernández-Sampieri et al. (2014) sostienen que la recolección de datos comprende el proceso reunir datos que corresponden y ocurren en los ámbitos cotidianos de los participantes o unidades de análisis que comprenden el objeto de trabajo definido; para el caso, entiéndase: el sistema de preparación logística para la atención de emergencias y desastres a nivel local.

Como alternativa válida, pertinente y suficiente se ha establecido la entrevista como medio para cumplir las necesidades expuestas.

La entrevista se entiende como una reunión planteada para intercambiar información entre un entrevistador y un entrevistado (Hernández-Sampieri et al., 2014). En el texto de Kumar (2011), el autor sugiere que la entrevista es un método usado con frecuencia cuando se requiere reunir información proveniente de otras personas, lo cual abarca toda interacción inter-personal de manera presencial (o no presencial) entre dos o más individuos para dar cumplimiento a un propósito particular. Si bien, el proceso de recolección de datos es válido –inclusive fundamental– tanto en la investigación cuantitativa como en la cualitativa, sus propósitos son diferentes. Al respecto, la entrevista en los estudios cuantitativos busca medir variables para hacer análisis estadístico y hacer inferencias; mientras que, en los estudios cualitativos se persigue la obtención de datos provenientes de personas, comunidades, situaciones o procesos, de acuerdo con las propias formas de expresión de los entrevistados (Hernández-Sampieri et al., 2014). Por tanto, dadas las condiciones y pretensiones particulares del estudio sugerido, se asume un enfoque inclinado hacia el campo cualitativo, dado el interés por identificar conocimientos, experiencias, información de campo, y vivencias individuales y colectivas de quienes hacen parte de las organizaciones humanitarias locales. Se espera que los datos recolectados se analicen y se comprendan lo suficiente como para que estos sean útiles como información de entrada al modelo de simulación, de lo cual pueda desprenderse las respuestas esperadas a las preguntas de investigación propuestas para esta tesis.

A conciencia de la relevancia que supone el caso definido para el estudio, así como de la naturaleza no lineal de los procesos investigativos, se busca en este capítulo tan solo describir las actividades o acciones que llevaron al cumplimiento de los propósitos del trabajo de campo. A continuación, se detallan algunos elementos que caracterizan el caso

estudiado. Más adelante se compartirán los procedimientos inherentes al diseño y aplicación del instrumento de recolección de datos.

5.1.1 Presentación del caso

Los propósitos definidos para la investigación condujeron a definir un caso de estudio a fin de obtener datos e información desde el campo práctico. El presente apartado cumple la intención de caracterizar el municipio elegido para adelantar el trabajo de campo objeto de este capítulo: la ciudad de Manizales, en Colombia.

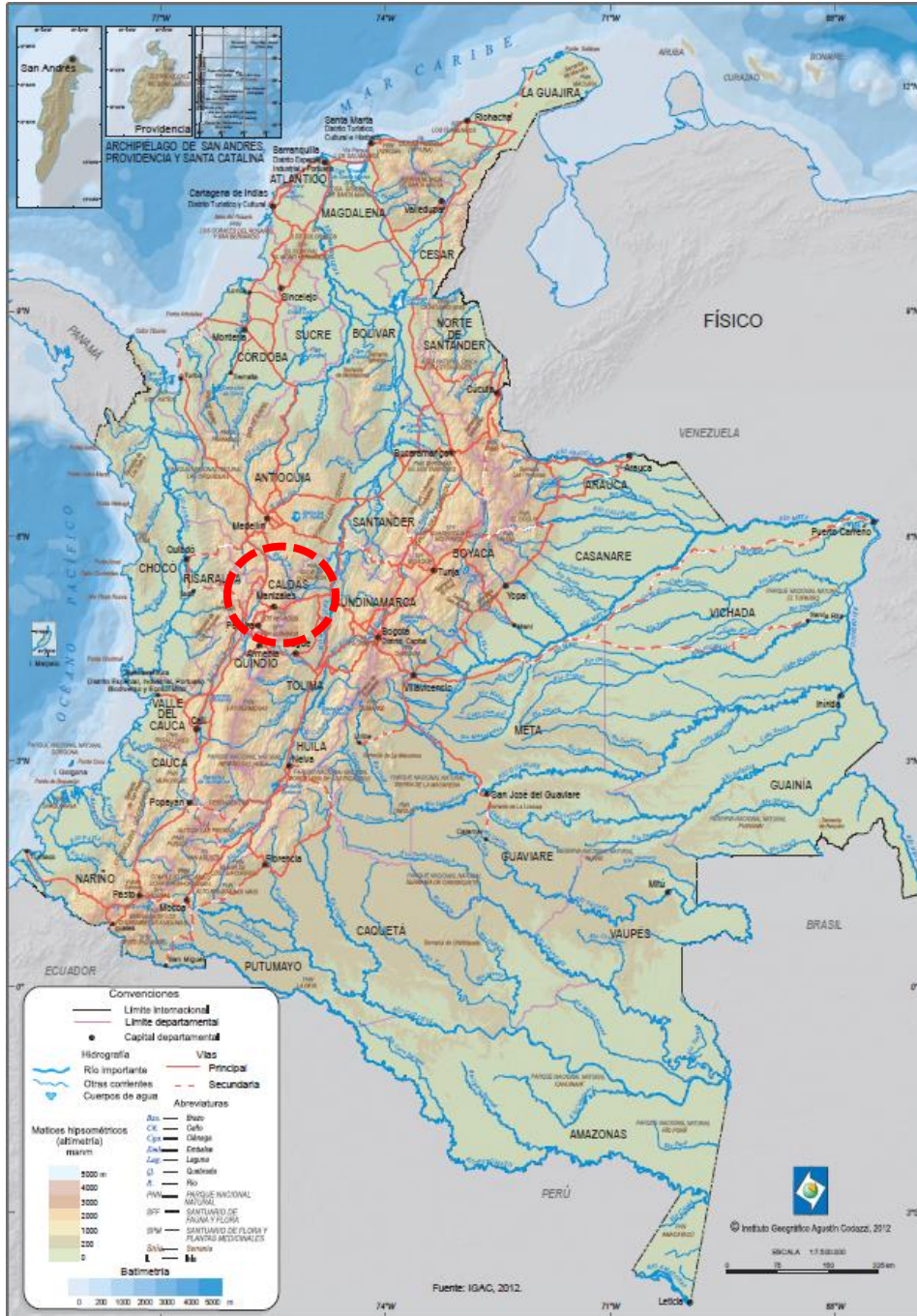
Manizales, ciudad capital del departamento de Caldas, se ubica en la región centro-occidente del país con una altitud promedio de 2.100 m.s.n.m. y posee una temperatura promedio de 18°C (Campos et al., 2009; Hardoy y Velásquez, 2014). La ciudad está ubicada sobre la Cordillera Central de Los Andes (ver figura 5.1), por lo cual adquiere una geomorfología que se caracteriza por un relieve montañoso y fluvio-erosional, junto con un nivel de precipitaciones promedio de 2.000 mm al año, lo cual es propio de un ecosistema montañoso de bosque muy húmedo (Banco Mundial, 2012). Manizales se ubica entre los ríos Chinchiná y Olivares, territorio sobre el cual se expandió y creció abarcando zonas de pendientes pronunciadas, muy a pesar de las restricciones geográficas de la zona (Hardoy y Velásquez, 2014). Hoy, la ciudad cuenta con más de 400.000 habitantes –de acuerdo con el último censo poblacional realizado en 2018 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística– (DANE, 2020). La expansión geográfica y el crecimiento poblacional que históricamente ha tenido la ciudad, conllevan a que, en la actualidad, cubra más 500 kilómetros cuadrados con un amplio grupo de eco-regiones, enmarcada en un área de bosque de montaña tropical, con registros de más de 280 días de lluvia al año y con suelos frágiles debido a la alta pluviosidad de la región (Hardoy y Velásquez, 2014).

La geografía que circunscribe la ciudad, las características ambientales y climáticas, y sus procesos de desarrollo socio-históricos, son aspectos que han otorgado un entorno complejo y un nivel de riesgo importante de diversas tipologías. En primer lugar, se mencionan los riesgos por incendio estructural. Manizales posee registros históricos de incendios de proporciones muy importantes (sobre todo, durante las primeras décadas del siglo XX), y en la actualidad estos riesgos perduran en su centro histórico (que alberga los principales sitios económicos y gubernamentales de la ciudad y del departamento), generados por los elementos de construcción tradicionales que predominan en esta zona de la ciudad (Campos et al., 2009).

El hecho de que la ciudad se encuentre localizada sobre la cordillera de los Andes, que pertenece al Cinturón de Fuego del Pacífico, hace que también existan riesgos de sismos, terremotos y por actividad volcánica. El volcán Nevado del Ruiz, que está a unos 20 kilómetros de distancia del espacio urbano del municipio, presenta frecuente actividad y su erupción en el año 1985 produjo más de 25 mil víctimas mortales e incontables pérdidas económicas y sociales en toda la zona de afectación (Hardoy y Velásquez, 2014). En cuanto a los movimientos sísmicos, numerosos eventos se presentaron en la zona de

influencia de Manizales en el transcurso del siglo pasado. En el informe mostrado en Campos et al. (2009), se hace referencia a seis eventos sísmicos importantes para la ciudad: en 1938 (magnitud estimada: 6,7 sobre la escala de Richter), en 1961 (magnitud estimada: 6,1), en 1962 (magnitud estimada: 6,5), en 1979 (magnitud estimada: 6,3), en 1995 (magnitud registrada: 6,6) y en 1999 (magnitud registrada: 6,3).

Figura 5.1. Ubicación geográfica de Manizales (Caldas, Colombia).



Fuente: Tomado y ajustado del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2012).

Las dinámicas climáticas e hidrometeorológicas de la ciudad, que implican 2.000 milímetros de precipitaciones anuales en promedio (distribuidas en dos periodos de lluvias de tres meses al año) junto con su topografía montañosa, generan intensos procesos de erosión, y con esto, riesgos de deslizamientos e inundaciones por las lluvias, así como fuertes tormentas que se dan en el territorio (Hardoy y Velásquez, 2014). Algunos registros de las decenas –incluso centenares– de eventos de deslizamientos e inundaciones registrados en épocas recientes, tanto en Manizales como en algunos municipios aledaños, se muestran en informes oficiales de la Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas, 2013). Estos riesgos de carácter hidrometeorológico se exacerban en la ciudad no solo durante los periodos de lluvias, sino también por la misma actividad humana. Campos et al. (2009) sostienen que ha habido una desestabilización de las zonas de ladera en la ciudad a causa de los asentamientos humanos. Los autores citados resaltan también que la geografía de la región y la necesidad de crecimiento del municipio, han generado adaptaciones constructivas para satisfacer la necesidad de vivienda en zonas de ladera, y ello reproduce situaciones de riesgo para las comunidades que allí conviven. Por supuesto, la región de Caldas no ha sido ajena a los fenómenos de violencia y desplazamiento forzado vividos en Colombia a lo largo de las últimas décadas. La llegada de población desplazada (muchos provenientes del sector rural), y el difícil acceso a la vivienda en el mercado oficial conllevan a la ocupación de zonas restringidas o ilegales, ya sea en laderas o cuencas fluviales, y con esto, mayores riesgos y mayor población en condición de vulnerabilidad, como reflejan los registros de eventos y víctimas causadas por la ocurrencia de fenómenos de deslizamiento en la ciudad (Hardoy y Velásquez, 2014).

Con este panorama socio-geográfico-histórico de la ciudad, resulta razonable que la comunidad, incluyendo el sector administrativo y político de la región, haya buscado adaptarse y desarrollarse como ciudad pese a las restricciones naturales y sus riesgos inherentes según se ha descrito. Desde la década de 1970, el municipio gestiona diversas prácticas dirigidas hacia la gestión del riesgo de desastres, lo que conlleva a que el municipio sea reconocido por estas iniciativas a nivel nacional, incluso internacional (Campos et al., 2009). Las características geográficas de la ciudad, sus riesgos implícitos, y la adaptación de su población, con políticas y métodos de construcción, han producido una “cultura sísmica local” en la ciudad y se concibe como ejemplo internacional en estos asuntos, como aparece en informes y documentos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2002). Estas políticas se consolidaron en distintas administraciones locales que han demostrado la suficiente voluntad política para asumir la gestión del riesgo como un pilar fundamental del desarrollo regional (Campos et al., 2009). Un catalizador de lo anterior ha sido el involucramiento de diversos sectores para consolidar las políticas locales en gestión del riesgo y manejo de desastres. Así, no solo se reconoce la participación de entidades tradicionalmente vinculadas al sector humanitario, sino que también el municipio ha fomentado mecanismos de participación e inclusión, como los sectores ambientales, los académicos, el sector privado, y también las comunidades y líderes sociales del municipio (Campos et al., 2009; Banco Mundial, 2012; Hardoy y Velásquez, 2014).

Por otro lado, en Colombia existe un marco normativo para la gestión del riesgo de desastres, el cual se sustenta principalmente en la Ley 1523 de 2012, que define el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD). Esta normativa corresponde al insumo básico para la planificación desarrollada por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), y su propósito es establecer los objetivos, estrategias y programas que deben ser implementados por las instituciones participantes en el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2014). Este plan de nivel nacional se aplica a los niveles territoriales a través de los planes departamentales y municipales de gestión del riesgo de desastres. En este sentido, Manizales cuenta con un plan vigente para la gestión del riesgo municipal (PMGRD) aprobado en el año 2016. Asimismo, posee la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias (EMRE), que dicta las principales disposiciones a nivel municipal para el manejo de emergencias (esto comprende los procedimientos de preparación, respuesta y recuperación). Los planes municipales mencionados vienen estructurados de acuerdo con las disposiciones de la ley mencionada.

Además de los avances administrativos a nivel local, el municipio ha desarrollado procesos de fortalecimiento técnico en función de los diversos riesgos latentes. De un modo general se describen tres de ellos (Campos et al., 2009):

- El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, creado en 1985 a raíz del desastre ocurrido por la erupción del volcán Nevado del Ruiz, cuyo fin principal es la vigilancia volcánica mediante estudios de naturaleza geológica, geoquímica y geofísica.
- El Sistema de información sísmica de Manizales (Sisman), cuya disposición está dirigida a diseñadores estructurales y tomadores de decisión en el municipio para el análisis de escenarios de daños potenciales a causa de eventos sísmicos, bajo la consideración de estudios de microzonificación sísmica realizados en la ciudad.
- La estructuración y puesta en marcha de una red de estaciones meteorológicas para la prevención de desastres. Esta red permite monitorear e informar en tiempo real sobre distintas variables climáticas e hidrometeorológicas, de modo que arroja alertas tempranas y se agilizan procesos de evacuación y tratamiento de zonas en riesgo por deslizamiento.

Otros avances estratégicos materializados en el municipio tienen que ver con políticas para el aseguramiento del riesgo de la infraestructura de entidades públicas y privadas, así como la incorporación de la gestión del riesgo y de la adaptación al cambio climático en el ordenamiento territorial. Estos aspectos son presentados con mayor nivel de detalle en el informe del Banco Mundial (2012) y el trabajo de Hardoy y Velásquez (2014).

Pese a los esfuerzos realizados por mejorar las condiciones de seguridad para los habitantes del municipio y mitigar los riesgos remanentes en la ciudad, resulta coherente reconocer que los esfuerzos no deben cesar. En un informe hecho por el Banco Mundial, se sostiene que, en Manizales, el 8,4% de la población (que representa más de 32.000 personas localizadas en 28 barrios) se encuentra en condición de alto riesgo por

deslizamiento. En el informe citado, se presenta un estudio muestral en el que el 30% de los encuestados manifiesta que percibe alto riesgo por inundación, un 27% afirma estar en riesgo por tormenta, y un 26% de los encuestados dice percibir alto riesgo por deslizamientos. En el estudio se estima, además, que alrededor del 80% de la población considera percibir algún tipo de riesgo por vivir en el municipio (Banco Mundial, 2012).

Es evidente, por tanto, que los riesgos hidrometeorológicos son un factor importante en la ciudad. Estas condiciones y sus desafortunadas consecuencias han sido objeto de la cobertura mediática. Un informe del medio británico *The Guardian* muestra algunas experiencias de deslizamientos y otros fenómenos naturales de la ciudad en las últimas décadas (The Guardian, 2018). Manizales ha sufrido el impacto de fuertes tormentas, exacerbadas por los fenómenos de cambio climático, particularmente, por el fenómeno de La Niña en el año 2011, que tuvo importantes efectos en Colombia. Porque además de los deslizamientos, crecientes súbitas y avenidas torrenciales, en Manizales se originó un problema en la prestación de servicios públicos ya que el municipio completo tuvo un desabastecimiento de agua durante más de 10 días para toda la población (Banco Mundial, 2012). En el año 2017, se registró la última emergencia invernal, causada por lluvias extremas (con registros de precipitaciones de hasta 156 mm en un lapso de 5 horas), como se indica en un documento informativo publicado por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2018). El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) sostiene que, para la segunda mitad del presente siglo, en la región del eje cafetero colombiano (donde está ubicada Manizales) se dará, como consecuencia de los fenómenos de cambio climático, un incremento en el nivel de precipitaciones entre el 10 y el 30%, lo cual, sumado a los prospectivos usos del suelo, aumentarán aún más los riesgos por inundación y deslizamientos (PNUD, 2015).

Con todo lo antedicho, se concuerda con lo expresado por Hardoy y Velásquez (2014), quienes afirman que la ciudad de Manizales se ve obligada a afrontar permanentemente los riesgos sin importar cuánto se prepare. En resumen, la ciudad cuenta con amenazas sísmicas, volcánicas y estructurales. Posee vulnerabilidad social, mientras que los riesgos por deslizamientos y riesgos por inundaciones son los más recurrentes y estos han demandado mayor atención en los últimos años. La diversidad de los riesgos presentes a nivel local, sumado a las experiencias y conocimiento desarrollados, hacen de Manizales una escuela propicia para la gestión del riesgo de desastres y, particularmente, desde los fenómenos de origen hidrometeorológico, según se ha expuesto. Este tipo de fenómenos concuerdan con lo definido en el alcance de este proyecto (según se expuso en la sección 2.1.1. respecto de los tipos de eventos a abordar). De esta manera, se destaca nuevamente el alcance espacio-temporal de la investigación, determinando el elemento temporal desde la fase de preparación de emergencias y desastres, y el ámbito local del sistema abordado. El hecho de limitar el alcance de la investigación en nivel local tiene que ver no solo con las instituciones locales sino también con el tipo de fenómenos considerados, ya que son los actores locales quienes se encargan de atender eventos de mediana o pequeña escala, como aquellas emergencias de origen hidrometeorológico.

5.2 Proceso de diseño del instrumento

Una vez caracterizado el caso de estudio sobre el cual se requiere obtener la información mediante una serie de entrevistas, estas líneas buscan exponer el proceso de diseño del instrumento de investigación utilizado en el trabajo de campo. La entrevista se definió como método para la recolección de datos, teniendo que es un mecanismo válido para aproximarse a un sistema cuando no resulta posible observarlo directamente, o es difícil hacerlo por asuntos de complejidad mayor o razones éticas (Hernández-Sampieri et al., 2014). Respecto a su tipología, se tienen las entrevistas estructuradas y las entrevistas semi-estructuradas. Kumar (2011) describe cómo, en una entrevista estructurada, el entrevistador plantea una serie de preguntas previamente definidas, usando el mismo texto, la misma terminología, y un orden esquemático predefinido en el programa de la entrevista. Hernández-Sampieri et al. (2014) presentan la entrevista semi-estructurada como una guía de los asuntos a tratar, y el entrevistador posee la libertad de abordar temas adicionales para ampliar la información obtenida. El programa de entrevista equivale al cuestionario (o instrumento de investigación) que incluye las preguntas (abiertas o cerradas) que el entrevistador usará durante la interacción con el entrevistado (Kumar, 2011). Así, la guía o programa de la entrevista representa el instrumento de recolección de datos, mientras que la entrevista se concibe como el método para la recolección de datos.

En vista de lo anterior, se hacen explícitas las decisiones tomadas frente al método e instrumento para la recolección de datos e información en campo. Metodológicamente se ha optado por aplicar entrevistas estructuradas, teniendo en consideración el alcance y los propósitos del estudio, así como algunas bondades de asumir este enfoque en relación con: una menor demanda de habilidades para adelantar los encuentros de las entrevistas en relación con la entrevista no estructurada o semi-estructurada, pero, sobre todo, la entrevista estructurada provee información uniforme de parte de los entrevistados, de modo que se asegure la comparabilidad de los datos recolectados (Kumar, 2011). Ello concuerda con las intenciones del estudio. Seguidamente se describe el diseño del instrumento y su posterior implementación en el marco del trabajo de campo.

5.2.1 Estructuración inicial del instrumento de investigación

Considerando el municipio definido como caso de estudio, se hizo necesario determinar las entidades concretas sobre las cuales adelantar el trabajo de campo. La unidad de análisis del estudio, conforme con lo establecido en los propósitos de esta investigación, es la organización. De acuerdo con el diseño del modelo conceptual (capítulo 4), los agentes representan organizaciones en el MBA. Por tanto, el instrumento a diseñar debe propender y facilitar la consulta sobre aspectos organizacionales de cada actor clave a nivel local: su papel en el sistema local de preparación, sus capacidades y recursos individuales, así como su relación con los procesos logísticos de preparación de emergencias y desastres causados por fenómenos hidrometeorológicos. Todo ello en concordancia con los límites establecidos en el alcance del proyecto de investigación.

Con la intención de responder a una necesidad esencial en el diseño de instrumentos acerca del qué preguntar, o sobre el qué se necesita saber, se han tomado como insumos dos resultados intermedios de esta investigación: en primer lugar, los resultados arrojados por el estudio de expertos (capítulo 3); y, en segundo lugar, las necesidades de datos e información que surgieron con el diseño del modelo conceptual del MBA (como las variables mostradas en la tabla 4.3 del capítulo 4), y que servirán para alimentar el modelo de simulación (capítulo 6). Estos aspectos se asumen como los requerimientos de información que se incluyen en la tabla 5.1, la cual se presenta a continuación.

Tabla 5.1. Requerimientos de datos e información propuestos en el trabajo de campo.

| | |
|-----------------------------------|--|
| Necesidades de información | La identificación de los principales actores humanitarios en el contexto del municipio. |
| | Los procesos logísticos de preparación que se llevan a cabo –o se deberían llevar a cabo– en el contexto local. |
| | Las capacidades funcionales de los actores locales, es decir, cuáles son las responsabilidades de los actores respecto de los procesos de preparación. |
| | Cuáles son los recursos que poseen los actores locales actualmente. |
| | Cuáles son los elementos considerados para caracterizar las relaciones inter-organizacionales (a fin de estimar la variable “Probabilidad de coordinación” en el MBA). |
| | Cuáles son los requerimientos particulares que demandan los procesos logísticos para poder ejecutarlos de modo efectivo. |
| | Cuáles son los tiempos de ejecución que implican los distintos procesos de preparación en el ámbito real local. |

A raíz de la evidente (y, además, esperada) escasez de información relacionada con los aspectos mencionados, se vislumbró la posibilidad de adelantar encuentros presenciales con el personal directivo de las agencias humanitarias que actúan en la ciudad de Manizales. Los elementos de la tabla 5.1 han servido de guía para el diseño del instrumento de investigación. En esta fase se realizó un primer acercamiento formal a la Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres en Manizales (UGR). Esta unidad es la agencia responsable en los asuntos de gestión del riesgo de desastres por parte del gobierno local en la ciudad. En este primer encuentro se obtuvo un esbozo de las demás instituciones que tienen una participación directa en los procedimientos y protocolos que, a nivel municipal, se llevan a cabo durante la fase de preparación de emergencias. Estos agentes corresponden a cuerpos de bomberos, Cruz Roja, Defensa Civil, y otras agencias de socorro de presencia local. Son estos:

- Como agente que representa el gobierno local:
 - La Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres (UGR) de Manizales.
- Como agente de la Cruz Roja:
 - Cruz Roja de la Seccional Caldas.
- Como agente de la Defensa Civil
 - Defensa Civil Colombiana.
- Como cuerpos de bomberos locales:
 - Cuerpo Oficial de Bomberos de Manizales (COBM).
 - Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Manizales (CBVM).

- Otros agentes de socorro locales:
 - Grupo Especial de Rescate (GER).
 - Fundación de Paramédicos Búsqueda y Rescate (BYR).
 - Fundación Unidad Táctica de Colombia (UTAC).

En lo que respecta a los procesos de preparación, se han identificado las siguientes actividades logísticas en la ciudad:

- Para el diseño de planes de respuesta:
 - Desarrollar planes municipales para la respuesta a emergencias.
- Para el diseño de la red logística de respuesta:
 - Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas.
 - Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones.
 - Desarrollar sistemas de alerta temprana.
 - Adquirir equipos de rescate y vehículos.
 - Adquirir equipos de comunicación.
- Para la gestión de acuerdos inter-organizacionales:
 - Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones.
- Para la formación del personal y la comunidad:
 - Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia.
 - Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades.
- Para el pre-posicionamiento de recursos:
 - Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios.
- Para las decisiones de localización de instalaciones:
 - Elegir ubicación de centros de almacenamiento.
 - Elegir ubicación de puntos de distribución para la entrega de ayuda humanitaria.
 - Elegir ubicación de albergues y zonas seguras.

Como se observa en los listados anteriores, los elementos identificados son concordantes con los resultados del estudio de expertos descrito en el capítulo 3. Una vez contemplado el escenario local, en términos de actores locales y procesos de preparación, se procedió a estructurar el instrumento de investigación. El contenido y estructura del instrumento fueron pensados a partir de lo propuesto en Kumar (2011), quien sugiere que el entrevistador posee libertad de: decidir el formato y contenido de las preguntas, seleccionar los términos a ser utilizados durante las entrevistas, decidir el modo de formular las preguntas, así como decidir el orden en que se llevará el cuestionario. Con esto en mente, se ha adelantado un proceso de formulación del instrumento (como versión inicial). Posteriormente se realizó su respectiva prueba y validación para obtener la versión final del instrumento. Los procedimientos mencionados se describen, en detalle, en el anexo C de esta tesis. El proceso adelantado concedió confianza para dar inicio formal al estudio de campo y proceder con la aplicación del instrumento, mediante la programación y realización de las entrevistas con las organizaciones locales identificadas.

5.3 Aplicación del instrumento

Habiendo adelantado una identificación previa de los principales organismos involucrados en la preparación de emergencias a nivel local, se procedió a realizar acercamientos iniciales a estas instituciones, vía telefónica y por correo electrónico. Estas comunicaciones se apoyaron de cartas de presentación, con la intención de establecer contacto con el personal directivo de cada organización y generar el espacio de reunión y entrevista. Una vez logrado el acercamiento con las organizaciones humanitarias locales, se concretó y programó cada entrevista. Se buscó principalmente hablar con altos mandos en cada agencia. Durante los procedimientos, se hizo seguimiento a las fases que debe abarcar un proceso de entrevista, de acuerdo con lo definido por Hernández-Sampieri et al. (2014):

- Planeación de la entrevista: generar un contacto previo con el uso de medios de comunicación. Se prepara la entrevista, junto con el instrumento, y se hace confirmación del encuentro.
- Inicio de la entrevista: se otorgan agradecimientos por la participación en el estudio. Se resalta el interés del estudio, se aclaran asuntos de confidencialidad y se solicita permiso para grabar el momento. Se lleva a cabo el registro de datos generales de la entrevista (como nombres, fechas, etc.). La entrevista se adelanta con una comunicación clara, con neutralidad en la formulación de preguntas y respetando los aportes ofrecidos por el entrevistado.
- Final de la entrevista: se realizan preguntas de cierre y se otorga un espacio a ambas partes para realizar aclaraciones o resolver dudas puntuales. Se agradece una vez más la disponibilidad de tiempo y espacio para realizar la entrevista.
- Después de la entrevista: se hace la transcripción de los datos. Además, si es del caso, se acude nuevamente al entrevistado para obtener aclaraciones necesarias.

Con los procedimientos comentados, se efectuó la entrevista en cada organización. De cada una de ellas se obtuvo una disposición y una recepción que ameritan reconocimiento. Fue necesario planificar y concretar la visita a cada sitio, puesto que todas las entrevistas se realizaron en las respectivas instalaciones de cada organización. A modo de resumen, se presenta la tabla 5.2 que contiene la información relacionada con cada una de las entrevistas realizadas.

Tabla 5.2. Datos representativos de las encuestas realizadas en el trabajo de campo.

| Actor | Organización | Cargo del entrevistado | Fecha de la entrevista | Duración de la entrevista |
|-------|---------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| 1 | UGR | Director UGR | 28/10/2019 | 1 hora |
| 2 | Cruz Roja | Director Seccional Caldas | 4/10/2019 | 1,5 horas |
| 3 | Defensa Civil | Coordinador Operativo | 15/10/2019 | 1,5 horas |
| 4 | COBM | Comandante COBM | 1/11/2019 | 2 horas |
| 5 | CBVM | Comandante CBVM | 29/10/2019 | 1,5 horas |
| 6 | GER | Director | 7/11/2019 | 1,5 horas |
| 7 | BYR | Director | 15/10/2019 | 2 horas |
| 8 | UTAC | Director | 24/10/2019 | 1 hora |

Como se aprecia en la tabla, las entrevistas se realizaron durante los meses de octubre y noviembre de 2019. La calidad y pertinencia de los entrevistados, no tanto por su posición individual dentro de la organización, sino también por su bagaje en los ámbitos de la gestión del riesgo de desastres y su experiencia en campo, ofrecieron confianza durante los encuentros presenciales que se sostuvieron. También ofrecen validez sobre los datos e información que se lograron recolectar. Se reitera la actitud y disposición de los entrevistados, quienes ofrecieron sus propios lugares de trabajo para los encuentros, y cuyas reuniones oscilaron entre 1 y 2 horas. Estos aspectos se manifiestan con el fin de describir los elementos que enmarcaron el trabajo de campo y que permitieron obtener información valiosa respecto de las condiciones que los actores locales poseen frente a los requerimientos operacionales de preparación para enfrentar emergencias causadas por fenómenos hidrometeorológicos en la ciudad.

Cerrado el ciclo de entrevistas, se resumió la información obtenida en formatos para su consolidación final, de cara a los requerimientos demandados por el modelo MBA. Justo en este punto del trabajo fue menester acudir nuevamente a algunos de los entrevistados. La razón: se encontraron algunos datos que ameritaban alguna revisión y aclaración por parte de estos expertos. Lo cual efectivamente se llevó a cabo mediante un segundo encuentro con los directores de la Cruz Roja de Caldas, la fundación BYR y la fundación UTAC. Este procedimiento no estuvo dirigido hacia la realización de una segunda ronda de entrevistas, ni de retomar el cuestionario completo con los entrevistados. Como se mencionó, la necesidad surgió solamente por el interés de obtener claridad en algunas respuestas ofrecidas por estas personas y consolidar los datos recolectados de cara a un análisis de los resultados y hallazgos de todo el trabajo de campo adelantado, de lo cual se discute inmediatamente a continuación.

5.4 Hallazgos del estudio

El periodo dedicado a la recolección de datos permitió acudir y cumplir con las ocho agencias identificadas como claves en los procesos de preparación para la atención de desastres en el caso de estudio. De conformidad con las necesidades concretas de información (mostradas en la tabla 5.1), junto con las pretensiones del trabajo de campo – en lo particular–, así como los propósitos generales de la investigación –en lo global–, se procede a describir los principales hallazgos del estudio según las variables concretas que alimentarán el modelo de simulación basado en agentes.

5.4.1 Sobre las capacidades funcionales de los actores locales

Propendiendo por la facilidad en la lectura de estos apartados, se presentan los resultados en coherencia con el orden propuesto en el instrumento de recolección de datos descrito en el anexo D. La aplicación del instrumento ha permitido recolectar la información suficiente en torno a las responsabilidades asignadas a los actores en función de cada

proceso de preparación. Como mecanismo de síntesis de los resultados, se ha elaborado la tabla 5.3. Allí se identifica con una equis (x) cuando un actor posee como función asignada, la participación en la ejecución de un proceso de preparación particular.

Tabla 5.3. Funciones de los actores locales de acuerdo con el trabajo de campo.

| FUNCIONES | Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres (PMGRD y EMRE) | Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones | Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | Adquirir herramientas y vehículos | Adquirir equipos de comunicación | Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | Elegir ubicación de centros de almacenamiento | Elegir ubicación de centros de distribución y entrega de ayuda humanitaria | Elegir ubicación de albergues y zonas seguras |
|------------------|---|---|--|--|-----------------------------------|----------------------------------|---|---|---|--|---|--|---|
| UGR | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Cruz Roja | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Defensa Civil | x | x | | | x | x | x | x | x | | x | x | x |
| COBM | x | x | x | | x | x | | x | x | x | x | x | x |
| CBVM | x | x | | | x | x | x | x | x | | | | |
| GER | x | x | x | | x | x | x | x | x | x | | | x |
| BYR | x | x | x | | x | x | x | x | x | | | x | x |
| UTAC | x | x | x | | x | x | x | x | x | | | | |

Los datos suministrados por los entrevistados permiten identificar qué actores están relacionados o vinculados con los distintos procesos de preparación en el sistema local de gestión de desastres. La importancia de estos datos informados radica en su utilidad de cara a la variable denominada capacidad funcional (denotada como F_{ij} en el modelo conceptual del MBA). Como se presentó en el capítulo 4, esta variable tiene una connotación binaria, por lo que se cumple una de las necesidades de información anteriormente definidas en la tabla 5.1.

5.4.2 Sobre las capacidades individuales de los actores locales

Un hallazgo relevante que emergió durante el trabajo de campo tiene que ver con los recursos y tipos de recursos involucrados en la fase de preparación, y que actualmente poseen los organismos humanitarios en el contexto local del caso estudiado. En este sentido, al describir con mayor detalle los recursos involucrados, se obtuvo un total de 39 tipos de recursos (ver tabla 5.4). Esto se debe, fundamentalmente, a la amplitud de profesiones y cargos involucrados en el entorno local de la preparación para los desastres, así como los recursos intangibles relacionados con información y conocimientos requeridos en distintos campos del conocimiento, junto con la variedad de materiales y equipos necesarios para dar cobertura a los procesos logísticos que comprenden la fase de preparación de emergencias y desastres.

Tabla 5.4. Recursos disponibles informados por las agencias durante las entrevistas realizadas.

| CAPACIDADES INDIVIDUALES | UGR | Cruz Roja | Defensa Civil | COBM | CBVM | GER | BYR | UTAC |
|--|-----|-----------|---------------|------|------|-----|-----|------|
| Abogados | x | | x | x | | | | |
| Administradores | x | x | x | x | x | | | |
| Especialistas en logística | | x | | | x | | | |
| Especialistas en saneamiento básico | | x | | | | | | |
| Especialistas en seguridad y salud en el trabajo | x | | x | | x | x | | x |
| Expertos en comunicaciones | | x | | | | | | |
| Expertos en estructuras y medio ambiente | x | | x | | | | | |
| Expertos en GRD | | x | | x | | | | |
| Expertos en primeros auxilios | | x | x | x | x | | x | x |
| Expertos en sistemas | | | | x | | x | | x |
| Instructores | | | | x | | | | |
| Personal operativo | x | | | | x | x | | |
| Personal técnico | x | | | x | | | | |
| Profesionales en áreas sociales | x | x | | | | | | x |
| Profesionales en salud | | | x | | x | x | x | x |
| Conocimiento del municipio | x | | | x | x | x | | x |
| Conocimiento en áreas médicas | | | x | | x | x | x | x |
| Conocimiento en áreas sociales | x | x | x | | | | | x |
| Conocimiento en emergencias | | x | x | x | x | | x | x |
| Conocimiento en GRD | x | x | | x | | | | |
| Conocimiento en logística | | x | | | x | | | |
| Conocimiento en telecomunicaciones | | x | | | x | | | |
| Conocimiento técnico | x | | x | x | | x | x | x |
| Cursos y formación | | | | x | | | | |
| Documentación | x | | x | x | x | x | | |
| Gestión administrativa | x | | x | x | x | | | |
| Normatividad | x | | x | x | | | | |
| Equipos móviles | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Sistemas de comunicación | x | x | x | x | x | | | |
| Sistemas de alerta locales | x | x | x | x | x | | | x |
| Ambulancias | | x | x | x | x | x | x | x |
| Vehículos de carga | | x | x | | x | | | |
| Vehículos para el transporte de personas | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Suministros médicos | | x | | x | x | x | x | x |
| Carpas | | x | x | x | x | x | | x |
| Almacén de ayudas | | x | | | | | | |
| Almacén de equipos | | | x | x | | x | | x |
| Sitios de encuentro | x | | | x | | | | |
| Zonas seguras | x | | | | | | | |

Pese a la amplitud de los recursos considerados, se decide continuar con este nivel de detalle con el ánimo de no perder representatividad por parte del modelo desarrollado en el marco metodológico de esta investigación. Este nivel de especificidad se logró gracias a la información suministrada por los funcionarios entrevistados. Con esto se logra satisfacer la necesidad de información relacionada con las capacidades individuales de los actores locales (denotado como $CI_{ik}(t)$ en el diseño del modelo conceptual).

5.4.3 Sobre las capacidades requeridas de los procesos

Dentro de la información obtenida durante el trabajo de campo, se identificaron los recursos que son requeridos para dar cumplimiento a los distintos procesos de preparación. Esta información se resume en la tabla 5.5. Como se observa, existe correspondencia entre los tipos de recursos que poseen las agencias entrevistadas y los requerimientos de los procesos. Ello se convierte en un aporte adicional de cara a la información de entrada del modelo de simulación, en lo concerniente a la variable que representa las capacidades requeridas por los procesos (o CR_{jk} , según se definió en el modelo conceptual).

Tabla 5.5. Recursos requeridos por los procesos como resultado del trabajo de campo.

| CAPACIDADES INDIVIDUALES | Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres (PMGRD y EMRE) | Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones | Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | Adquirir herramientas y vehículos | Adquirir equipos de comunicación | Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | Elegir ubicación de centros de almacenamiento | Elegir ubicación de centros de distribución y entrega de ayuda humanitaria | Elegir ubicación de albergues y zonas seguras |
|--|---|---|--|--|-----------------------------------|----------------------------------|---|---|---|--|---|--|---|
| Abogados | x | | | | x | | x | | | | | | |
| Administradores | x | | | | x | x | x | x | x | | x | x | x |
| Especialistas en logística | | x | | | | | | | | x | x | x | |
| Especialistas en saneamiento básico | | | | | | | | | | | x | | x |
| Especialistas en seguridad y salud en el trabajo | x | x | | | | | | x | | x | | | |
| Expertos en comunicaciones | | | x | x | | x | | | | | | | |
| Expertos en estructuras y medio ambiente | x | | | x | | | | x | x | | x | | |
| Expertos en GRD | x | | | | | | | x | x | | | | |
| Expertos en primeros auxilios | | x | | | | | | x | x | | | | x |
| Expertos en sistemas | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | | |
| Instructores | | | | | | | x | | x | | | | |
| Personal operativo | x | x | x | | | x | | x | x | x | | x | |
| Personal técnico | | | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x |
| Profesionales en áreas sociales | x | x | | | x | | x | x | x | x | x | x | x |
| Profesionales en salud | x | | | | x | | x | | x | | | | x |
| Conocimiento del municipio | x | x | x | x | | x | | x | x | x | x | x | x |
| Conocimiento en áreas médicas | x | | | | | | x | | | | | | |
| Conocimiento en áreas sociales | | x | | | | | x | x | x | x | | | |
| Conocimiento en emergencias | x | x | | | | | | x | x | | | | |
| Conocimiento en GRD | x | | | | | | | | x | | x | | x |
| Conocimiento en logística | | x | | | | | | | | x | x | x | |
| Conocimiento en telecomunicaciones | | | x | x | | x | | | | | | | |
| Conocimiento técnico | x | x | x | x | | | x | x | x | | | x | x |

Tabla 5.5. *Continuación.*

| CAPACIDADES INDIVIDUALES | Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres (PMGRD y EMRE) | Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones | Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | Adquirir herramientas y vehículos | Adquirir equipos de comunicación | Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | Elegir ubicación de centros de almacenamiento | Elegir ubicación de centros de distribución y entrega de ayuda humanitaria | Elegir ubicación de albergues y zonas seguras |
|--|---|---|--|--|-----------------------------------|----------------------------------|---|---|---|--|---|--|---|
| Cursos y formación | | | | | | | x | x | x | | | | |
| Documentación | x | | | x | | | | | x | | | | |
| Gestión administrativa | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Normatividad | | | | | x | | x | x | | | | | |
| Equipos móviles | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Sistemas de comunicación | x | | x | | | x | x | | x | | | | |
| Sistemas de alerta locales | x | | | x | | | | x | | | | | x |
| Ambulancias | | | | | | | | x | | | | | |
| Vehículos de carga | | x | | | x | | | | | x | x | x | x |
| Vehículos para el transporte de personas | x | x | x | x | | | x | x | x | | x | | |
| Suministros médicos | | x | | | | | | x | | x | | | |
| Carpas | | | | | | | | x | | x | | | x |
| Almacén de ayudas | | x | | | | | | x | | x | x | x | x |
| Almacén de equipos | | | x | | x | x | | | | | | | |
| Sitios de encuentro | | | | | | | | | x | | | | |
| Zonas seguras | | x | | | | | | x | | | | | x |

5.4.4 Sobre los tiempos de ejecución de los procesos

Como se recordará, el factor temporal fue un componente involucrado en el diseño conceptual del MBA. Por tanto, esta cuestión hizo parte del instrumento de investigación diseñado y aplicado en campo. Mediante los encuentros sostenidos durante las entrevistas, se obtuvo una percepción de cuánto tiempo puede requerir la ejecución de los procesos de preparación, al igual que la frecuencia en que estos deben realizarse. Los aspectos mencionados se resumen en la tabla 5.6 que aparece más adelante.

Como se evidenció en las entrevistas adelantadas, existe variabilidad y relatividad en la duración de los procesos. Por lo cual se decidió asumir el tiempo estándar de ejecución (TS_j) como un intervalo de valores en lugar de un parámetro en el modelo MBA, en respuesta a las distintas necesidades que cada proceso pueda demandar en un momento particular. En efecto, una de las razones por las cuales se acudió por segunda ocasión a algunos de los entrevistados, fue precisamente por la falta de unanimidad en este aspecto.

Tabla 5.6. Tiempos y frecuencias de ejecución suministrados por los entrevistados.

| Procesos | Rango de ejecución | Frecuencia |
|---|--------------------|------------|
| Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres (PMGRD y EMRE) | 2 a 4 meses | Semestral |
| Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | 10 a 15 días | Semestral |
| Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones | 1 mes | Anual |
| Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | 1 mes | Anual |
| Adquirir herramientas y vehículos | 7 a 45 días | Semestral |
| Adquirir equipos de comunicación | 15 a 30 días | Anual |
| Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | 1 a 3 semanas | Semestral |
| Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | 3 a 7 días | Bimestral |
| Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | 7 a 30 días | Mensual |
| Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | 2 a 7 días | Semestral |
| Elegir ubicación de centros de almacenamiento | 7 a 15 días | Semestral |
| Elegir ubicación de centros de distribución y entrega de ayuda humanitaria | 2 a 15 días | Semestral |
| Elegir ubicación de albergues y zonas seguras | 2 a 15 días | Semestral |

Cumplidos los segundos encuentros, se generó un consenso donde las respuestas de los entrevistados quedasen incluidas en los rangos definidos. Tanto los tiempos como las frecuencias de ejecución de los procesos serán convertidos a la unidad de tiempo que se plantee en el modelo de simulación. Mientras que los rangos de ejecución tendrán un comportamiento estocástico. Estas determinaciones se describen con mayor detalle en el capítulo sexto de esta tesis.

5.4.5 Sobre la probabilidad de coordinación inter-organizacional

Una variable preponderante para los actores y definida en el modelo conceptual es la probabilidad de coordinación ($PC_i(t)$). Esta variable permite representar la intención o voluntad de un agente para participar colectivamente en un proceso de preparación. Las entrevistas realizadas buscaron también la identificación de las relaciones y el nivel de interacción entre las organizaciones consultadas. A partir de la información reunida se estima el valor inicial de la variable probabilidad de coordinación de cada agente involucrado en el modelo MBA. Para dar cumplimiento a este propósito, se partió de las respuestas ofrecidas por los entrevistados en función de las relaciones e interacciones informadas mediante las preguntas formuladas en los esquemas de las tablas D.6 y D.7, junto con las preguntas de cierre del instrumento (en el anexo D se pueden apreciar estos elementos). Estas preguntas particulares fueron diseñadas con el fin de identificar los factores que condicionan la coordinación en el contexto local. Agrupando las preguntas relacionadas, los factores de interés consultados fueron los siguientes:

- Medios de comunicación utilizados, para interactuar con otros actores.
- Mecanismos de integración utilizados, para la gestión de las relaciones.
- Frecuencia de las comunicaciones, con cada organización.
- Descripción de la relación, que posee con cada uno de los demás actores.
- Importancia de la relación, según lo expresado por cada organización.
- Barreras a la coordinación, expresadas por los funcionarios entrevistados.

Estos factores de interés fueron analizados por los entrevistados, de acuerdo con los planteamientos de las preguntas incluidas en el instrumento. Con el propósito de no extender demasiado el manejo operacional de las respuestas otorgadas por los respondientes, se invita al lector a consultar el anexo E, donde se muestra en detalle la manera en que se han parametrizado los datos recolectados de cada organización consultada respecto a cada factor de interés. A partir de los procedimientos documentados en el anexo referido, se ha obtenido un valor global que cobija los factores de interés para representar la probabilidad de coordinación individual (o $PC_i(t)$), que cada agente modelado tendrá en el MBA (tabla 5.7). De esta manera, el trabajo de campo realizado con las organizaciones humanitarias locales ha logrado satisfacer las necesidades de información detalladas al inicio del presente capítulo.

Tabla 5.7. Estimación de los valores de probabilidad de coordinación para los actores locales.

| Actores | Probabilidad de coordinación |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| UGR | 0,933 |
| Cruz Roja | 0,629 |
| Defensa Civil | 0,859 |
| Cuerpo Oficial de Bomberos | 0,648 |
| Cuerpo de Bomberos Voluntarios | 0,738 |
| GER | 0,650 |
| BYR | 0,685 |
| Fundación UTAC | 0,690 |

De otro lado, se resaltan algunas apreciaciones aportadas por las personas entrevistadas durante el trabajo de campo. Los comentarios recibidos se pueden agrupar en tres aspectos, de los cuales se destaca la importancia que ha tenido el trabajo mancomunado de las organizaciones humanitarias locales para atender situaciones de emergencia recientes en el municipio. Se evidencia un reconocimiento a estos esfuerzos, al propender por el fortalecimiento de las buenas relaciones entre las organizaciones y sus líderes. Los funcionarios asumen que, gracias al trabajo colectivo y consensuado para la estructuración de los planes locales, junto con la ejecución conjunta de los procesos, se han asignado funciones particulares, se han mejorado las relaciones, y también se ha podido avanzar significativamente en la gestión del riesgo en el municipio.

En segundo lugar, se subraya el papel del gobierno local en la gestión conjunta de los procesos. El papel central de la UGR de la ciudad se ha aprovechado para fomentar la igualdad entre las organizaciones junto con su disposición para que estas trabajen conjuntamente. El cumplimiento de los objetivos de la preparación en el municipio, de cara

a fenómenos hidrometeorológicos, se sustenta en la coordinación inter-organizacional, cuyo liderazgo se asume a través de la UGR. Esta forma de trabajo ha favorecido definir y asignar funciones a cada actor, y evitado conflicto entre ellos. De hecho, se ha sugerido la continuidad de este esquema, donde la UGR lidera y logra una amplia estructura que abarca todas las agencias humanitarias locales.

Por último, los entrevistados se han manifestado en torno a ciertas dificultades que permanecen como objeto de mejora en el porvenir local. Dado que las organizaciones humanitarias en el municipio poseen distinta naturaleza, aún persisten serias diferencias en prioridades y políticas, lo cual conduce a que no compaginen completamente. Se expresa que hay entidades que no se logran llevar del todo bien, se evidencian situaciones de soberbia y conflictos personales que parten de supuestos de superioridad sobre los demás. Como consecuencia de estas realidades, algunos programas o proyectos a nivel municipal no han sido completamente exitosos. Los mismos respondientes expresan sugerencias dirigidas a la supresión de conflictos de intereses y competencias personales entre distintas organizaciones. Además, se resalta el esfuerzo pendiente por adelantar respecto de la búsqueda de propósitos comunes, que sean verdaderamente incluyentes y en el que todos los actores involucrados se comprendan y actúen bajo los mismos términos, utilizando un lenguaje común.

Por tanto, el trabajo de campo realizado en el caso de estudio ha demostrado suficiencia a fin de identificar un panorama respecto a la gestión inter-organizacional y los aspectos relacionados con la coordinación a nivel local, sus bondades y dificultades. Con ello, se resalta una vez más (soportado por los funcionarios que a nivel práctico desarrollan sus funciones en el contexto local), la importancia de la gestión de las relaciones, la integración y la coordinación inter-agencia con propósitos comunes, junto con elementos susceptibles de mejora. Se resalta también el interés a nivel práctico en el desarrollo de proyectos encaminados a generar propuestas respecto a las problemáticas remanentes en los contextos de la gestión de desastres y su ámbito del nivel local o municipal.

5.5 Conclusiones del capítulo

El desarrollo de la investigación y la naturaleza del problema abordado han implicado una necesidad de aplicar diversas estrategias metodológicas al proceso investigativo. Tales son los casos de los procesos documentados a lo largo de los capítulos 3 y 5 de esta tesis. En cuanto a lo concerniente a este capítulo, se destaca el uso de una metodología tradicionalmente cualitativa: las entrevistas, como medio de investigación para la obtención de información y generación de conocimiento. Como se explicaba en los apartados 5.1. y 5.2., el diseño de un instrumento de investigación que soporte la ejecución de unas entrevistas estructuradas se justificó teniendo en consideración la necesidad explícita de alimentar el modelo de simulación MBA con datos tomados del ámbito práctico, con organizaciones reales cuyo propósito es atender las funciones de la gestión de desastres a nivel local. Ello condujo a definir un caso de estudio con un alto interés académico dadas sus características geográficas y aspectos socio-demográficos, como aquellos que posee

el municipio de Manizales, en Colombia. En estos términos, se resalta no tanto el valor como la utilidad de aplicar herramientas cualitativas en una investigación científica, una investigación contemporánea rigurosa, que se adelante en los campos de la Ingeniería.

Con base en los datos suministrados por los entrevistados, quienes ejercen como funcionarios de alto mando en las organizaciones humanitarias en el municipio considerado, se logra responder a las necesidades de información identificadas. Lo sugerido permite vislumbrar un estado actual de los procesos de integración y gestión de relaciones inter-organizacionales que se presentan entre estos actores consultados. Como se mostró, se han logrado avances importantes, en términos tecnológicos, de mitigación del riesgo, en aspectos administrativos y sobre los acercamientos entre los distintos sectores involucrados. Todo lo cual pone a la ciudad en una condición referente en el campo de la gestión del riesgo de desastres tanto en lo regional, como en lo nacional e internacional. Empero, se han evidenciado, a partir de las experiencias compartidas por los expertos entrevistados, que aún persisten dificultades y oportunidades de mejora en lo que respecta a la ejecución conjunta de procesos, así como el mejoramiento de las relaciones inter-sectoriales que deben encaminarse hacia el cumplimiento de unos propósitos comunes. De lo cual se constata la necesidad de continuar trabajando y avanzando en el mejoramiento de estos aspectos en el entorno local y así fortalecer el desempeño e integración del sistema local de gestión del riesgo. Las causas de las problemáticas surgen de la complejidad misma de los contextos humanitarios. El profesor José Holguín-Veras arguye que el ámbito humanitario suscita y sostiene problemas socio-técnicos (Holguín-Veras et al., 2012 y 2014). Ello suma argumentos que sustentan (no solo desde lo teórico sino también desde lo práctico) la continuidad del proceso investigativo y la pertinencia de los objetivos definidos y los resultados esperados en esta investigación.

En lo particular, los aportes de datos e información son significativos. Esto debido a que el capítulo 4 desarrolla un modelo conceptual basado en agentes que debe ser programado y diseñado como un modelo de simulación, y para lo cual debe tenerse una base de información confiable para que los datos que se aporten al modelo arrojen información relevante según los propósitos perseguidos. Respecto del cumplimiento del objetivo particular del presente capítulo, en términos de lograr cubrir las necesidades de información identificadas (los actores locales clave, los procesos de preparación de emergencias y desastres relacionados con fenómenos hidrometeorológicos, las funciones y capacidades de los actores a nivel individual, los requerimientos demandados por los procesos de preparación, los tiempos estimados para la ejecución de los procesos, y la probabilidad de coordinación por parte de los actores locales), el trabajo de campo ha permitido especificar esta información requerida y con ello se logra la consolidación de los datos concretos para alimentar los parámetros y variables de los agentes considerados en el diseño del MBA. Estos corresponden a los *inputs*, la información de entrada que requiere la implementación del modelo de simulación basado en agentes. Sobre lo cual se dedica el contenido del siguiente capítulo.

6. Capítulo sexto: Modelo de simulación

Una vez se ha logrado consolidar la estructuración del modelo conceptual (descrito en el capítulo 4) y el desarrollo del trabajo de campo (provisto en el capítulo 5), es menester avanzar en el proceso de diseño del modelo basado en agentes. Para lo cual, se debe llevar a cabo la implementación del modelo de simulación. Este proceso de implementación es el propósito del presente capítulo, el cual se ha estructurado en secciones ordenadas. Seguidamente, se presentan algunos aspectos teóricos que subyacen en la estrategia metodológica adelantada. Luego se describe el proceso de implementación del diseño de simulación, a partir de la descripción del software utilizado, el desarrollo de la codificación del modelo, y los principales elementos considerados en este. Una vez alcanzada esta descripción, se procede con dos aspectos esenciales para la confiabilidad del modelo: la verificación y la validación del modelo de simulación. Por último, el capítulo cierra con algunos aspectos concluyentes respecto a lo abordado a nivel metodológico y en lo circunscrito en los objetivos de la presente tesis.

6.1 Introducción: Metodología de la simulación

Como se ha planteado en diversos apartados de esta tesis (como en las secciones 2.2.6. y 4.1.), la propuesta metodológica se ha decantado por aplicar procesos de simulación en torno al modelo diseñado que representa el sistema conformado por los actores locales que participan en la preparación de emergencias y desastres relacionados con fenómenos hidrometeorológicos. Con esto en mente, resulta necesario hacer una pausa para compartir y profundizar en algunos aspectos teórico-conceptuales que dan soporte de fondo a lo que ha significado el desarrollo de esta investigación.

Desde una óptica conceptual, la simulación es concebida como el proceso que integra el diseño de un modelo de un sistema real junto con su respectiva experimentación, cuyo propósito es entender y hacer inferencias respecto del comportamiento del sistema modelado (Krick, 1979; Shannon, 1998). La simulación permite emular la forma en que funciona el sistema real y cómo se comporta a lo largo del tiempo (Galán, 2007). Krick (1979) sostiene que las principales ventajas que ofrece la simulación radican en los costos inherentes del proceso, en comparación con la experimentación directa en el sistema real, así como el mayor control del proceso y los menores tiempos de ejecución. En línea con lo expuesto por Borshchev y Filippov (2004), la simulación llega entonces a convertirse en una alternativa de alta factibilidad para el estudio de problemas relacionados con sistemas

complejos, donde la dinámica propia del sistema y el factor temporal resultan importantes en su estudio.

Desde una perspectiva procedimental, Labarthe et al. (2007) exponen que un proceso de simulación comienza con un modelo conceptual, el cual se obtiene de la abstracción de un sistema real. A partir del modelo conceptual se diseña un modelo de simulación como representación computacional del modelo conceptual. La utilización de un modelo de simulación se justifica en la posibilidad de correr escenarios definidos por los usuarios, y ello facilita implementar el paradigma de agentes para simular sistemas complejos como las cadenas de suministros (Labarthe et al., 2007). Igualmente, con la facilidad de codificar sistemas y sus componentes, así como menores tiempos computacionales (en consideración de los avances tecnológicos), los estudios de simulación se han convertido en una metodología suficiente para el estudio y análisis de sistemas complejos, como los sistemas logísticos (Chan y Chan, 2010; Ponte et al., 2018).

Abordar problemas reales mediante el diseño de modelos de simulación permite entender la complejidad contextual a la que se enfrentan los decisores dentro de los sistemas sociales; y son los ingenieros quienes utilizan modelos para explicar los comportamientos y generar tal entendimiento de los sistemas complejos (Olaya, 2012b). Teniendo que un modelo es verdaderamente útil cuando permite una visión simplificada y a la vez general del conjunto, son los ingenieros quienes hacen uso frecuente de los modelos para re-descubrir sistemas reales (Krick, 1979).

A conciencia de lo anterior, se sustenta tanto la necesidad como la pertinencia de apropiar metodologías relacionadas con el diseño de modelos y la simulación en aras de abordar el sistema complejo que se ha definido como problema de esta investigación. El enfoque de simulación definido para este proyecto es la modelación basada en agentes. Tal decisión responde a las bondades que este enfoque ofrece para el estudio de sistemas complejos con propósitos definidos, como los concernientes a este trabajo.

6.2 Etapa crítica de diseño: Implementación del modelo

En el marco de la modelación basada en agentes, un problema que surge en el diseño de un modelo de simulación es su implementación en un ambiente de programación (Labarthe et al., 2007). En los MBA, los agentes conceptuales son implementados mediante una transformación que los integra en un entorno computacional (Galán, 2007; Labarthe et al., 2007). Para obtener el modelo implementado es requerido realizar un proceso de codificación en computadora, que inicia anticipadamente con el desglose del modelo conceptual de la temática-problemática abordada. En consideración de la relación y dependencia entre ambos tipos de modelos, Wilensky y Rand (2015) sostienen que la descripción del modelo conceptual debe contener los elementos suficientes que permitan realizar la implementación del modelo de simulación, de modo que permita garantizar la representatividad del segundo respecto del primero.

6.2.1 Decisiones para el proceso de implementación

Como todo modelo diseñado, este debe responder a un propósito. Autores como Galán (2007) y Labarthe et al. (2007) sugieren que los modelos implementados conducen a un proceso de simulación de acuerdo con las especificaciones de los usuarios, que buscan resultados para sustentar sus decisiones. Hammond (2015) resalta la importancia de las decisiones tomadas durante la implementación para ofrecer la confianza de que el modelo implementado refleja lo conceptualizado en el MBA.

Una decisión relevante en la fase de implementación es la elección del paquete de modelación o lenguaje de programación a utilizar (Galán, 2007; Hammond, 2015). Partiendo de esta necesidad, se ha decantado por el software Netlogo en su versión 6.1.1. La favorabilidad de esta herramienta se ha definido en vista de su entorno de modelación orientado a los sistemas complejos multi-agentes o basados en agentes (Galán, 2007; Izquierdo et al., 2008; Altay y Pal, 2014; Macal y North, 2014; Rodríguez-Zoya y Roggero, 2015). Gracias a las aplicaciones de este software en diversos problemas abordados desde la literatura científica, se pueden resumir las bondades que ofrece este programa para adelantar simulación de MBA, de la siguiente forma:

- Netlogo es un software libre, tipo *open-source*, que puede ser descargado de forma gratuita (Allen, 2011; Das y Hanaoka, 2014; Macal y North, 2014; Rodríguez-Zoya y Roggero, 2015; Cepeda-Susatama et al., 2017).
- Es una herramienta de cómodo uso para la programación, ya que posee un lenguaje de fácil entendimiento y ello implica posibilidad de rápido aprendizaje, facilidad para la creación y desarrollo de MBA, y mayor inteligibilidad de los códigos elaborados (Galán, 2007; Macal y North, 2010 y 2014; Cepeda-Susatama et al., 2017).
- Es una herramienta de instalación sencilla en computadores, además de contener amplia documentación interna (Quezada y Canessa, 2010).
- La interfaz gráfica del software resulta amigable para el usuario, lo que hace de Netlogo una herramienta poderosa, intuitiva, y personalizable (Quezada y Canessa, 2010; Allen, 2011; Cepeda-Susatama et al., 2017).

De otro lado, el proceso de implementación debe ser documentado explícitamente, al considerar quién implementó el modelo y cómo lo hizo, junto con otros detalles específicos del modelo: los agentes programados, sus procedimientos internos, la generación de los datos, las acciones y decisiones, y los criterios de parada y variables de salida (Galán, 2007; Hammond, 2015; Wilensky y Rand, 2015). Estas apreciaciones dan sustento a los párrafos que continúan, donde se presenta el esquema modular que se ha logrado construir, codificar y programar en el software de simulación escogido.

6.2.2 Descripción del modelo implementado

Como principal punto de referencia para estructurar el código de programación, se ha tomado la descripción del modelo conceptual abordado a lo largo del capítulo 4. Bajo tales

premisas se han elaborado ciertos procedimientos que condujeron a un código, elaborado en el software Netlogo, bajo un esquema ordenado y modular.

Inicialización del modelo

Como procedimiento inicial, se crean los agentes, tanto los actores como los procesos. Se importan datos al programa para establecer parámetros y variables iniciales de los agentes. Cumplidos estos pasos, el modelo calcula para las influencias individuales de los actores locales, y las prioridades de los procesos de preparación.

Ciclo principal de la ejecución del modelo

Teniendo en cuenta que el diseño del modelo de simulación responde a una estructura modular, la secuencia de la simulación se ejecuta a través de distintos procedimientos, según se cumplan ciertos criterios como se describen a continuación.

- Identificar los procesos pendientes. Se identifica el proceso en estado 'pendiente de recursos' que posea el mayor valor de prioridad y se ejecuta siempre y cuando se cumplan los dos procedimientos siguientes.
- Conformar equipo de proyecto. Se identifican los actores que posean capacidad funcional respecto del proceso pendiente de mayor prioridad. Se verifica que cada actor posea recursos disponibles y se calcula la probabilidad de coordinación para que tome la decisión de coordinar en la ejecución del proceso.
- Evaluar capacidades del equipo. Se estima la tasa de cumplimiento del proceso con base en los recursos disponibles de los actores que conforman el equipo de proyecto. Si la tasa de cumplimiento es de al menos el 80%, se procede con la ejecución del proceso mediante la utilización de los recursos de los actores, y también se calcula el tiempo efectivo de ejecución. Si los recursos de los actores son insuficientes, el equipo se desintegra y el proceso permanece pendiente.

Otros procedimientos

- Liberación de recursos. Al llegar el momento en el cual los actores involucrados cumplen la ejecución de un proceso, los actores adscritos recuperan sus recursos.
- Análisis de frecuencias. Atendiendo la condición de los procesos asumidos, un proceso en estado 'ejecutado' cambia su estado a 'pendiente' cuando el análisis de su frecuencia de ejecución lo determina.
- Cálculo de indicadores. Cumplidos los procedimientos anteriores, el modelo de simulación procede a calcular los indicadores tanto individuales como globales en el sistema. En cada iteración, se calcula, entre otros, la tasa de utilización de capacidades individuales de cada actor, la tasa de utilización global, la tasa de cumplimiento de cada proceso y la tasa de cumplimiento global.
- Evaluar el criterio de parada. En cada iteración, el modelo analiza si se cumple el criterio de parada, es decir, se evalúa si el tiempo de corrida del modelo se ha

cumplido. Frente a lo cual, se consolidan datos referentes a otros indicadores de desempeño, como la agilidad, flexibilidad, confiabilidad, efectividad y utilización de capacidades del sistema.

Seudocódigo del modelo de simulación

En línea con lo sugerido por Wilensky y Rand (2015), hace parte de las buenas prácticas compartir información concerniente al código fuente del modelo, a través del seudocódigo del modelo implementado. Así, al procurar una visión sintética del procedimiento estipulado para el modelo de simulación, y como guía visual complementaria a la descripción anterior, se ha elaborado un seudocódigo como representación del modelo (figura 6.1), al considerar los elementos y procesos involucrados en el sistema logístico de preparación a nivel local.

Figura 6.1. Seudocódigo del modelo de simulación basado en agentes (MBA).

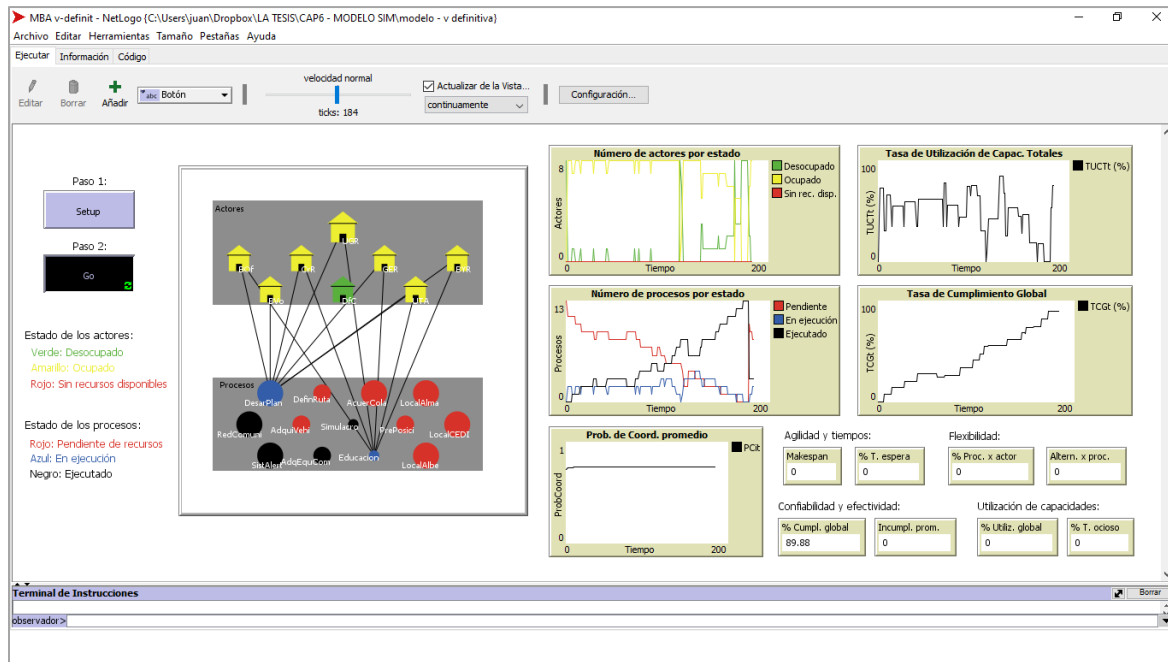
```

M B A
Inicialización del modelo
  Creación de los agentes (actores y procesos)
  Importación de parámetros y variables
  Cálculo de influencias ( $I_i$ ) y prioridades ( $PP_j$ )
Fin inicialización
Ciclo principal
  En cada tick:
  Si existe(n) proceso(s) en estado 'pendiente de recursos'
    Identificar el proceso con mayor  $PP_j$ :
      Para cada actor involucrado en el proceso
        Calcular  $PC_i(t)$ 
        Si  $rand > PC_i(t)$ 
          Eliminar relación entre actor y proceso
        Si  $rand \leq PC_i(t)$ 
          Crear vínculo entre actor y proceso
          Conformar  $EAP_j$ 
      Evaluar capacidades
        Calcular  $TCl_j(t)$ 
        Si  $0.8 > TCl_j(t)$ 
          Dispersar  $EAP_j$ 
        Si  $0.8 \leq TCl_j(t)$ 
          Asignar recursos de los actores al proceso
          Actualizar:  $CI_{ik}(t)$ ,  $RU_{ijk}(t)$ ,  $PC_i(t)$ , y estado del actor
          Definir: Tiempo de inicio,  $TE_j$ , Tiempo de terminación
          Actualizar estado del proceso a 'en ejecución'
      Si  $ticks =$  Tiempo de terminación de un proceso 'en ejecución'
        Actores recuperan recursos
        Actualizar:  $CI_{ik}(t)$ ,  $RU_{ijk}(t)$ , estado del actor
        Actualizar estado del proceso a 'ejecutado'
      Calcular indicadores de desempeño
        Calcular  $TUC_i(t)$ 
        Calcular  $TUCT(t)$ 
        Calcular  $TCG(t)$ 
      Evaluar condición de parada
        Si cumple criterio de parada  $\rightarrow$  [ stop ]
    tick
  Fin ciclo principal

```

El modelo implementado permite, mediante los procedimientos descritos, identificar el nivel de cumplimiento de los procesos en términos particulares y globales, así como la utilización de las capacidades individuales y colectivas. Puede observarse, así mismo, el comportamiento de variables críticas que aparecen influenciadas por las decisiones de los actores modelados. Gracias al diseño de la interfaz de usuario, que se muestra en la figura 6.2, se facilita la visualización de estas condiciones en el sistema de agentes, los estados particulares de cada agente modelado, así como la trazabilidad de las principales variables de decisión contempladas desde el diseño del modelo conceptual.

Figura 6.2. Interfaz gráfica diseñada en el software de simulación Netlogo.



Los capítulos que componen la sección II de esta tesis y desarrollados hasta aquí, han direccionado un proceso de diseño enfocado en un modelo de simulación basado en agentes, cuya consecución representa un avance significativo en lo que respecta a los objetivos del proyecto de investigación definidos en el capítulo primero. En este sentido, se vislumbra la posibilidad de desarrollar experimentos y generar escenarios alternativos para que, a través de la implementación de diversos mecanismos de coordinación, se logre mejorar el desempeño global del sistema local de preparación de emergencias y desastres. Como requisito esencial para avanzar en este camino, es menester reconocer que, siguiendo el proceso de diseño, todo nuevo modelo debe ser tanto verificado como validado. Lo antedicho se asume con base en lo expresado por Wilensky y Rand (2015), para quienes la verificación y validación de un modelo basado en agentes incrementan la confianza del modelo para llegar a inferencias confiables del sistema complejo estudiado.

6.3 Evaluación del rigor metodológico del proceso de diseño

Los procesos de verificación y validación son aspectos críticos en los modelos de simulación basados en agentes; de hecho, se han llegado a considerar un factor de alta dificultad en este campo (Tang et al., 2017). La importancia de estos procesos radica en que, una vez se ha logrado demostrar rigor metodológico, se puede avanzar y extender el análisis hacia la generación de escenarios alternativos para llegar a formular inferencias y conclusiones confiables del modelo desarrollado (Kunz et al., 2014; Wilensky y Rand, 2015). Teniendo en cuenta la importancia de la evaluación del rigor del proceso de diseño de un modelo de simulación, el propósito de esta sección está orientado a la descripción de los procedimientos adelantados para lograr una aceptación significativa de la verificación y validación del modelo de simulación implementado.

6.3.1 Verificación del modelo de simulación

Puede considerarse, de acuerdo con Izquierdo et al. (2008), que la verificación permite garantizar que un modelo desarrollado funciona de la manera que se pretende, es decir, que el proceso de implementación se ha hecho correctamente. Bajo esta consideración, la verificación aparece como un proceso crítico, de valiosa importancia, a través del cual se busca ofrecer confiabilidad en el proceso de diseño del modelo (Castrillón et al., 2009).

Por definición, la verificación es el procedimiento que permite asegurar que la construcción de un modelo implementado en computadora corresponde al modelo conceptual, lo que implica que el modelo funciona según lo pretenden sus diseñadores y desarrolladores (Galán, 2007; Castrillón et al., 2009; Wallace et al., 2015; Wilensky y Rand, 2015; Aros y Gibbons, 2018). En cuanto a su concepción etimológica, se encuentra que verificar proviene del latín *verus*, que significa verdad. Al respecto, surgen consideraciones como las propuestas por Sterman (2000), quien sostiene que, si verificar busca establecer certeza o verdad, entonces ningún modelo puede ser verificado. El autor citado arguye que todos los modelos están equivocados en principio, ya que, desde el concepto, un modelo es una representación limitada del mundo real. Wilensky y Rand (2015) argumentan que los modelos conceptuales y los modelos implementados son, en esencia, entidades distintas, por lo que un modelo no puede ser completamente verificado. Sin embargo, estos autores reconocen que un modelo puede llegar a verificarse, hasta cierto grado.

A conciencia de las anteriores salvedades, Castrillón et al. (2009) argumentan que la verificación involucra una evaluación del modelo implementado, con el fin de asegurar (por lo menos) que el modelo refleja operativamente lo propuesto en el modelo conceptual. Wallace et al. (2015) reconocen dos vías que permiten verificar un modelo implementado, a través de la verificación del código de programación (es decir, asegurar que el código implementa correctamente los algoritmos pensados) y la verificación de las soluciones (que consiste en obtener precisión en el modo que los algoritmos resuelven las ecuaciones del

modelo de acuerdo con las variables de interés). Estos aspectos particulares y procedimentales de la verificación serán abordados más adelante.

El objeto de la verificación es lograr una implementación del modelo sin errores de programación (Kleijnen, 1995; Wilensky y Rand, 2015). Este proceso depende de quienes diseñan e implementan el modelo, ya que en sus manos yace la decisión de definir cuándo la verificación arroja la suficiente correspondencia entre el modelo implementado y el modelo conceptual, según sostienen Wilensky y Rand (2015). Para los autores citados, la importancia de la verificación estriba en la demostración de la comprensión por parte de los diseñadores sobre el sistema y problema abordado; sin lo cual, los analistas no tendrían como llegar a conclusiones confiables obtenidas con base en el modelo diseñado.

Con base en las consideraciones anteriores, se ha elaborado el anexo F que contiene la descripción de los distintos mecanismos de verificación realizados sobre el modelo diseñado e implementado en esta investigación. Los mecanismos de verificación utilizados ofrecen evidencia respecto a la concordancia y coherencia de la implementación obtenida en función de la conceptualización del MBA. A través de procesos de reflexión, los cuales fueron iterativos, recurrentes, analíticos y valiosos, se implementaron mejoras procedimentales y conceptuales en ambos modelos diseñados (tanto en el modelo conceptual como en el modelo de simulación). En consecuencia, los procedimientos adelantados para verificar el modelo implementado (descritos en el anexo F) aportan confiabilidad funcional de cara a la ejecución del modelo a partir de la simulación.

6.3.2 Validación del modelo de simulación

Puede afirmarse que, en términos generales, la validación implica determinar si un modelo implementado corresponde y explica un sistema del mundo real (Wilensky y Rand, 2015). La validación se comprende como un proceso de prueba y ajuste del modelo propuesto, que puede llevarse a cabo a través de distintos mecanismos (Langellier et al., 2019). La validación tiene como propósito asegurar que el modelo implementado representa los conceptos y responde apropiadamente a los propósitos de diseño (Hammond, 2015); también busca garantizar que los elementos considerados en el modelo mantengan suficiente concordancia con el sistema real, de modo que puedan responder a las preguntas de interés (Wilensky y Rand, 2015). Hashemipour et al. (2018) sostienen que la validez interna del modelo consiste en analizar la variabilidad interna frente a las salidas del modelo de simulación; mientras que Castrillón et al. (2009) sostienen que un propósito relevante de este proceso es determinar si el modelo logra sustituir los aspectos de interés del mundo real lo suficiente como para experimentar con el modelo implementado. No obstante su importancia, el proceso de validación puede llegar a significar una de las tareas más difíciles en todo el proceso de diseño de un modelo de simulación (Galán, 2007).

La validación en esencia es compleja y relativa, dado que, en principio, todos los modelos son representaciones y simplificaciones de la realidad; por cuanto es imposible que un

modelo logre exhibir todas las características y todas las dinámicas de un sistema real, en consecuencia, ningún modelo puede ser completamente validado (Sterman, 2000; Wilensky y Rand, 2015). A conciencia de que “el modelo perfecto sería el sistema real en sí mismo”, parafraseando a Kleijnen (1995), el proceso de validación debe apuntar hacia la utilidad del modelo implementado, de acuerdo con los propósitos establecidos para el modelo (Kleijnen, 1995; Sterman, 2000). Con base en esto, y en línea con lo expuesto por Aros y Gibbons (2018), se manifiesta que los propósitos de esta investigación no buscan predecir o pronosticar valores resultantes de la simulación; en cambio, lo que se busca es analizar comparativamente el comportamiento del sistema estudiado bajo distintos escenarios propuestos. El objeto de la construcción y diseño del modelo responden a unas preguntas de investigación particulares, por lo cual, la validación adelantada tiene sentido en el contexto de las preguntas de investigación y la consistencia con los objetivos definidos para el desarrollo del proyecto (Galán, 2007; Wilensky y Rand, 2015).

En términos pragmáticos, Wilensky y Rand (2015) sostienen que la validación implica el análisis de entradas y parámetros del modelo, así como de las salidas evidenciadas en las corridas del modelo diseñado. Para estos autores, la cantidad de *outputs* (o variables de salida del modelo) hace más compleja la tarea de validar e identificar patrones de comportamiento globales, sin embargo, el beneficio del análisis conduce a una comprensión más completa de los resultados y del impacto de los pequeños cambios en las reglas de comportamiento de los agentes modelados. En este sentido, se han identificado diversos mecanismos de validación aplicables a los modelos de simulación basado en agentes. Se encuentra, por ejemplo, la validación externa, o validación empírica, que busca la correspondencia de los valores arrojados por el modelo de simulación respecto del sistema observado, o el mundo real (Galán, 2007; Izquierdo et al., 2008; Wilensky y Rand, 2015). La validación con expertos busca asegurar, con base en la opinión de personas del sector práctico, que la reproducción del modelo y sus resultados corresponden con los resultados globales del sistema observado del ámbito real (Castrillón et al., 2009; Tang et al., 2017). Asimismo, se puede sustentar la validez de un modelo de simulación a través del análisis de robustez y el análisis de sensibilidad (Sterman, 2000; Castrillón et al., 2009; Tang et al., 2017 y 2018).

Una de las bondades de los MBA es la capacidad de involucrar factores de incertidumbre a través de variables estocásticas para los agentes y su entorno (Crooks y Wise, 2013). Esta condición genera, aún en modelos simples, patrones y comportamientos emergentes de carácter global en el sistema modelado (Allen, 2011; Langellier et al., 2019). Los resultados emergentes son impredecibles y no son intuitivos para los diseñadores, dado que solo se manifiestan cuando se realizan simulaciones repetidas. Wilensky y Rand (2015) afirman que los MBA son estocásticos por naturaleza y pocas veces ofrecen los mismos resultados aun cuando se tengan los mismos valores de entrada; todo ello exacerba la dificultad para adelantar el proceso de validación.

En respuesta a lo anterior, Schaffernicht (2009) propone que la fase crítica de la validación del modelo de simulación basado en agentes debe garantizar la robustez y sensibilidad del

modelo a fin de definir su pragmatismo y utilidad. En vista de la imposibilidad de un marco referencial claro para comparar los resultados arrojados por el modelo de simulación MBA diseñado en la presente tesis, dada la inexistencia de resultados empíricos, registros o datos históricos en el caso de estudio abordado, la aplicación de ciertos métodos como la validación externa o de expertos, no resulta posible para validar el modelo implementado. Al respecto, Hooshangi y Alesheikh (2018) argumentan que, bajo estas circunstancias, el estudio de simulación de los agentes representa en sí mismo un método de evaluación del modelo. Krejci (2015) sostiene que cuando se dispone de datos empíricos para alimentar el modelo (como es este caso, donde los *inputs* han sido obtenidos mediante el trabajo de campo descrito en el capítulo 5), es posible soportar en cierta medida su validez y, de hecho, propende por la obtención de una herramienta útil para estudiar el sistema considerado. En consecuencia, dadas las condiciones del presente estudio, se ha optado por el análisis de sensibilidad como mecanismo de validación del modelo basado en agentes, tal y como se presenta seguidamente.

6.3.3 El análisis de sensibilidad como mecanismo de validación del MBA

De acuerdo con Wilensky y Rand (2015), una vez implementado el modelo de simulación, se debe explorar qué tan sensible es para el conjunto de condiciones iniciales que se utilicen, es decir, adelantar un proceso que determine la sensibilidad del modelo ante distintas condiciones de simulación. El análisis de sensibilidad es una técnica de validación que persigue comparar, analizar e identificar las consecuencias generadas sobre los resultados o salidas de la simulación a partir de la variación de los parámetros de entrada del modelo (Sterman, 2000; Wilensky y Rand, 2015; Hashemipour et al., 2018). Para Hammond (2015), el análisis de sensibilidad es clave para el análisis de un MBA y hace parte de las buenas prácticas de programación de modelos de simulación. El autor citado recalca que este proceso ayuda a identificar, dentro de los parámetros o variables analizados, los valores críticos en los que pequeños cambios resultan en drásticos cambios en las salidas y los comportamientos del sistema.

Procedimentalmente, a fin de identificar cuánto se afectan los resultados de la simulación, se deben elegir las variables y parámetros de entrada claves, junto con sus respectivos rangos y el número de repeticiones –o corridas de simulación– que se han de ejecutar para el modelo (Tang et al., 2018). Sterman (2000), por su parte, afirma que aún en modelos pequeños o simples, el número de combinaciones posibles puede resultar abrumador, por cuanto sugiere que, el análisis de sensibilidad debe concentrarse en las variables que se intuyan como factores de alta incertidumbre e influencia sobre el comportamiento del sistema modelado. Con lo anterior, se sintetiza que el análisis de sensibilidad no solo sirve como medio de sustento y validez del modelo diseñado, sino también como medio para identificar variables y valores críticos para el modelo de simulación. Seguidamente se presenta el análisis de sensibilidad llevado a cabo sobre el modelo de simulación diseñado e implementado en computadora.

En línea con lo sugerido por Sterman (2000), las variables de entrada se modifican a fin de representar mejores y peores escenarios, determinar consecuencias en las salidas del modelo, así como los puntos de inflexión en los que el comportamiento global varía sustancialmente. Teniendo en cuenta la naturaleza estocástica del modelo implementado, en términos de las dinámicas individuales de los agentes y del comportamiento global del sistema, resulta necesario correr el modelo en múltiples e independientes replicaciones (Castrillón et al., 2009). Respecto de lo cual, se ha decidido realizar el análisis del modelo de acuerdo con la modificación o variación de una sola variable a la vez, es decir, bajo un criterio *ceteris paribus*. Ello responde al propósito esencial del análisis de sensibilidad, que, para el caso, busca reconocer la sensibilidad del modelo respecto de cada una de las variables de entrada consideradas en el estudio.

Así, el análisis de sensibilidad presentado en esta sección persigue el siguiente propósito: demostrar cómo se afectan los resultados de la simulación a partir de la variación de cada una de las variables de entrada claves, siendo estas: (i) las capacidades funcionales de los actores; (ii) los recursos disponibles de los actores; (iii) los tiempos de ejecución de los procesos de preparación; (iv) el porcentaje mínimo de cumplimiento de los procesos; y (v) la probabilidad de coordinación inicial de los actores involucrados en el sistema. Cabe mencionar que el número de corridas del modelo para cada escenario específico es de 30 réplicas, mientras que el periodo de corrida de la simulación es de 1440 días, lo que representa el transcurso de cuatro años. Esta decisión corresponde a los periodos de gobernanza municipal en Colombia, con lo que se busca abarcar un periodo estratégico en las políticas y administraciones locales. Teniendo en cuenta el volumen de datos manejados como consecuencia de la cantidad de réplicas realizadas y los rangos utilizados en las variables, en el anexo G se muestra con detalle las cifras arrojadas por el modelo de simulación para cada variable de salida considerada en el análisis de sensibilidad.

Efecto de las capacidades funcionales de los actores

La capacidad funcional (como se definió en el capítulo 4) representa la capacidad que posee un actor para efectuar o participar en el cumplimiento de cada proceso. Esta variable binaria es uno de los principales *inputs* y de allí la necesidad de identificar sus efectos en los *outputs* arrojados por el modelo de simulación. A propósito, las variables de salida del modelo corresponden a las mostradas en la tabla 4.4, y son:

- Tiempo total de culminación de todos los procesos.
- Tiempos de espera de los procesos.
- Cantidad de procesos abordados por actor.
- Número de alternativas de ejecución por proceso.
- Tasa de cumplimiento global de los procesos.
- Incumplimientos promedio de los procesos.
- Tasa de utilización de capacidades totales por parte de los actores.
- Tiempo en desocupación de los actores.

La modificación de las capacidades funciones de los actores se hizo en términos porcentuales. De este modo, se diseñaron escenarios que cubrían desde el 10% de las funciones posibles asignadas a los actores (es decir, en promedio cada actor se asignó de forma aleatoria solo el 10% de los procesos), hasta el 100% de las funciones asignadas (esto es, cada actor posee la totalidad de procesos asignados para sí). Los escenarios se diseñaron en intervalos de 10%, con lo que se alcanzan 10 escenarios distintos. Cada uno de estos se corrió en 30 ocasiones. Los resultados generales de estas corridas, y para cada escenario definido, se muestran en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Resultados globales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con las funciones asignadas a los actores.

| Escenario | Tiempo de culminación de los procesos (<i>ticks</i>) | | % de espera de los procesos | | % de procesos por actor | | Número de alternativas por proceso | |
|--------------|--|-----------|------------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. |
| Func. (10%) | - | - | 100,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Func. (20%) | - | - | 85,77 | 0,74 | 5,77 | 0,00 | 0,23 | 0,00 |
| Func. (30%) | - | - | 83,78 | 0,72 | 7,69 | 0,00 | 0,46 | 0,00 |
| Func. (40%) | - | - | 85,29 | 0,06 | 6,73 | 0,00 | 0,45 | 0,02 |
| Func. (50%) | - | - | 71,89 | 1,01 | 24,04 | 0,00 | 1,86 | 0,13 |
| Func. (60%) | - | - | 72,18 | 0,97 | 25,00 | 0,00 | 2,16 | 0,15 |
| Func. (70%) | - | - | 65,02 | 2,38 | 36,41 | 0,33 | 3,43 | 0,22 |
| Func. (80%) | 226,7 | 88,78 | 40,14 | 3,71 | 79,68 | 0,33 | 7,01 | 0,55 |
| Func. (90%) | 175,7 | 19,40 | 33,08 | 2,55 | 89,74 | 0,92 | 6,91 | 0,26 |
| Func. (100%) | 230,1 | 93,44 | 38,33 | 4,76 | 99,58 | 0,65 | 7,96 | 0,50 |
| Escen. base | 238,0 | 107,1 | 45,16 | 6,25 | 78,43 | 0,70 | 6,89 | 0,66 |
| Escenario | Tasa de cumplimiento global (%) | | Número de incumplimientos promedio | | % de utilización de los recursos | | % de tiempo en desocupación | |
| | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. |
| Func. (10%) | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,0 | 0,00 |
| Func. (20%) | 15,05 | 0,67 | 7,98 | 0,22 | 13,69 | 0,25 | 77,93 | 0,42 |
| Func. (30%) | 17,30 | 0,75 | 7,20 | 0,25 | 17,46 | 0,64 | 74,61 | 0,72 |
| Func. (40%) | 13,20 | 0,05 | 6,48 | 0,18 | 14,76 | 0,67 | 76,37 | 1,10 |
| Func. (50%) | 41,07 | 0,18 | 4,12 | 0,20 | 29,63 | 1,07 | 53,93 | 1,69 |
| Func. (60%) | 41,24 | 0,60 | 4,09 | 0,18 | 31,56 | 1,40 | 49,46 | 2,15 |
| Func. (70%) | 47,22 | 0,86 | 3,77 | 0,22 | 36,62 | 1,47 | 34,28 | 2,90 |
| Func. (80%) | 85,71 | 3,58 | 1,50 | 0,45 | 43,64 | 1,39 | 19,38 | 1,67 |
| Func. (90%) | 88,38 | 1,05 | 1,15 | 0,20 | 43,52 | 1,36 | 20,13 | 1,93 |
| Func. (100%) | 86,61 | 3,29 | 1,68 | 0,51 | 48,56 | 1,24 | 12,99 | 2,31 |
| Escen. base | 81,84 | 4,64 | 1,92 | 0,65 | 47,26 | 1,82 | 15,29 | 2,36 |

Como se observa en la variable ‘culminación de los procesos’, no en todos los escenarios propuestos se logra abordar la ejecución de todos los procesos de preparación en el transcurso de la simulación, especialmente, en los escenarios con menor capacidad funcional asignada a los actores. En este sentido, solo se logra cumplir

la totalidad de los procesos cuando la asignación de funciones llega, en promedio, al 80%. Esto concuerda con el porcentaje de tiempo que los procesos permanecen en estado pendiente. Se evidencia, además, una disminución en los tiempos de espera de los procesos por ejecutarse, al incrementarse las funciones asignadas a los actores. En los indicadores de flexibilidad del sistema, como el porcentaje de procesos en los que, en promedio, participa cada actor, se evidencia un incremento junto con las capacidades funcionales de los actores. Igual ocurre con las alternativas obtenidas por proceso, es decir, se aumentan las distintas configuraciones posibles de equipos conformados por actores para abordar un proceso, en promedio.

El cumplimiento global de los procesos se incrementa con el aumento de las capacidades funcionales, mientras que los incumplimientos de los procesos presentan reducción sostenida cuando los actores poseen mayor posibilidad de participar en más procesos de preparación. Por su parte, los actores se ven favorecidos con mejores niveles de utilización de sus recursos, mientras simultáneamente se reduce el tiempo promedio en el que cada actor permanece en estado de desocupación en el sistema. Esto ocurre al incrementarse las funciones individuales de los actores locales. Información estadística y gráfica relacionada a las corridas de simulación frente a estos escenarios se complementa con lo presentado en el anexo H de esta tesis.

Efecto de los recursos disponibles de los actores

Una variable de entrada fundamental del MBA es aquella que representa los distintos tipos de recursos que poseen los actores. Su importancia radica en que, además de las capacidades funcionales, los recursos disponibles de los actores determinan la posibilidad de actuación o no de un agente en el cumplimiento de un proceso particular. El análisis realizado sobre el modelo estuvo enfocado a la sensibilidad respecto de los recursos iniciales disponibles de los actores locales considerados; así, fueron generados 10 escenarios hipotéticos en los que se variaron únicamente la variable de recursos disponibles, manteniendo todo lo demás constante, *ceteris paribus*. Cada escenario propuesto dispuso un equivalente de recursos en términos de porcentaje y aleatoriamente equitativos entre los actores. Los escenarios generados representan entonces las condiciones en que los actores poseen entre el 10% de los recursos totales posibles, en promedio, hasta cuando poseen el 100% de todos los distintos tipos de recursos posibles, con rangos que se incrementan en 10% entre cada escenario y el siguiente. Los escenarios han sido corridos en 30 ocasiones, y a partir de esto se construyó la tabla 6.2 a fin de presentar el resumen de los datos consolidados de las corridas de simulación para cada escenario generado.

De la tabla 6.2 se evidencia que, en términos generales, el desempeño del sistema mejora conforme los recursos de los actores incrementan sus niveles de recursos individuales. No obstante, resulta llamativo que, al llegar al 100% de los recursos posibles, los actores involucrados generan una disminución drástica en el desempeño global del sistema. Esto ocurre en los indicadores propuestos para la agilidad,

confiabilidad y aprovechamiento en el sistema. Esta condición inesperada se presenta debido a que los actores, en la intención de participar activamente en el cumplimiento de los procesos de mayor prioridad, dirigen todos los esfuerzos y recursos posibles a estos procesos, y esto produce un abandono no intencionado, pero resultante, al fin y al cabo, de los demás procesos pendientes en el sistema y así transcurre durante toda la simulación. Es este el resultado global manifestado, pese a que, desde una perspectiva netamente individual, los actores parezcan estar haciendo un buen uso de sus recursos individuales y los mismos actores muestran tener un mínimo porcentaje de desocupación entre sí (En el anexo H se encuentra información complementaria).

Tabla 6.2. Resultados globales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con los recursos disponibles de los actores.

| Escenario | Tiempo de culminación de los procesos (ticks) | | % de espera de los procesos | | % de procesos por actor | | Número de alternativas por proceso | |
|---------------|---|-----------|------------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. |
| Recur. (10%) | - | - | 100,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Recur. (20%) | - | - | 81,43 | 1,44 | 41,86 | 2,25 | 3,06 | 0,28 |
| Recur. (30%) | - | - | 78,48 | 1,66 | 43,14 | 0,42 | 3,68 | 0,32 |
| Recur. (40%) | - | - | 64,27 | 2,44 | 50,96 | 0,00 | 5,06 | 0,35 |
| Recur. (50%) | - | - | 60,29 | 3,08 | 50,96 | 0,00 | 5,76 | 0,37 |
| Recur. (60%) | - | - | 58,30 | 2,57 | 50,96 | 0,00 | 5,83 | 0,31 |
| Recur. (70%) | 131,5 | 30,26 | 23,60 | 3,04 | 78,85 | 0,00 | 7,51 | 0,43 |
| Recur. (80%) | 147,4 | 34,60 | 24,04 | 3,25 | 78,82 | 0,18 | 7,60 | 0,45 |
| Recur. (90%) | 121,5 | 26,68 | 19,19 | 3,44 | 78,85 | 0,00 | 7,58 | 0,41 |
| Recur. (100%) | - | - | 68,96 | 3,38 | 73,40 | 6,46 | 0,92 | 0,08 |
| Escen. base | 238 | 107,1 | 45,16 | 6,25 | 78,43 | 0,70 | 6,89 | 0,66 |
| Escenario | Tasa de cumplimiento global (%) | | Número de incumplimientos promedio | | % de utilización de los recursos | | % de tiempo en desocupación | |
| | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. |
| Recur. (10%) | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,0 | 0,00 |
| Recur. (20%) | 25,97 | 2,61 | 7,29 | 0,36 | 37,63 | 1,14 | 23,35 | 2,28 |
| Recur. (30%) | 29,71 | 1,98 | 6,77 | 0,26 | 41,89 | 1,48 | 23,24 | 2,70 |
| Recur. (40%) | 51,42 | 2,06 | 3,87 | 0,41 | 41,56 | 1,30 | 21,25 | 2,24 |
| Recur. (50%) | 54,42 | 1,40 | 3,27 | 0,37 | 39,75 | 1,20 | 24,11 | 2,02 |
| Recur. (60%) | 54,94 | 0,88 | 3,07 | 0,21 | 38,19 | 1,67 | 24,64 | 3,18 |
| Recur. (70%) | 91,69 | 1,15 | 0,68 | 0,22 | 40,04 | 1,56 | 21,94 | 2,60 |
| Recur. (80%) | 92,78 | 0,74 | 0,64 | 0,17 | 37,95 | 2,00 | 22,66 | 2,53 |
| Recur. (90%) | 93,49 | 0,88 | 0,53 | 0,23 | 38,70 | 1,72 | 23,69 | 2,58 |
| Recur. (100%) | 60,86 | 7,29 | 5,12 | 0,48 | 49,67 | 0,71 | 4,88 | 0,59 |
| Escen. base | 81,84 | 4,64 | 1,92 | 0,65 | 47,26 | 1,82 | 15,29 | 2,36 |

Efecto de los tiempos de ejecución de los procesos

Concerniente a los tiempos de ejecución, el análisis se concentró en identificar la sensibilidad del modelo respecto de los aumentos y decrementos hipotéticos de esta

variable en los procesos de preparación. Como se presentaba en la sección 5.4.4. del capítulo anterior, esta variable de entrada posee una condición estocástica respecto a la determinación de la cantidad de tiempo que un proceso particular va a tomar para su ejecución en una ocasión dada con base en un rango estimado. A partir de estos supuestos, se han establecido nuevos rangos para los procesos involucrados, reduciendo los tiempos de cada proceso en un 50% para un primer escenario propuesto, e incrementándolos en 50% para obtener un segundo escenario alternativo. A partir de la obtención de estos nuevos rangos, se corrieron los escenarios en 30 réplicas y se compararon sus variables de salida respecto de los datos obtenidos del escenario inicial, como se evidencia en la tabla 6.3 que se muestra a continuación.

Tabla 6.3. Resultados globales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con los tiempos de ejecución de los procesos.

| Escenario | Tiempo de culminación de los procesos (<i>ticks</i>) | | % de espera de los procesos | | % de procesos por actor | | Número de alternativas por proceso | |
|-----------------|--|-----------|------------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. |
| T. Ejec. (-50%) | 102,5 | 19,55 | 22,49 | 2,81 | 78,72 | 0,34 | 7,74 | 0,35 |
| T. Ejec. (+50%) | - | - | 53,79 | 6,80 | 75,48 | 4,34 | 5,44 | 0,60 |
| Escen. base | 238 | 107,1 | 45,16 | 6,25 | 78,43 | 0,70 | 6,89 | 0,66 |
| Escenario | Tasa de cumplimiento global (%) | | Número de incumplimientos promedio | | % de utilización de los recursos | | % de tiempo en desocupación | |
| | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. |
| T. Ejec. (-50%) | 90,43 | 0,79 | 0,06 | 0,06 | 29,46 | 1,28 | 44,97 | 2,47 |
| T. Ejec. (+50%) | 64,47 | 11,25 | 4,26 | 0,79 | 52,70 | 1,52 | 9,07 | 1,63 |
| Escen. base | 81,84 | 4,64 | 1,92 | 0,65 | 47,26 | 1,82 | 15,29 | 2,36 |

De acuerdo con los resultados arrojados por el modelo de simulación, la agilidad presenta cambios significativos en términos del tiempo que deben esperar o mantener los procesos para ser atendidos. En este sentido, se observa que, a menores tiempos de operación, mayor agilidad del sistema para cubrir los procesos de preparación que permanecen pendientes. Por su parte, la flexibilidad del sistema se ve afectada cuando los tiempos requeridos se incrementan. Mientras que, en aspectos relacionados con la confiabilidad del sistema, los indicadores particulares de cumplimiento global e incumplimientos se ven significativamente favorecidos por la reducción sugerida en los tiempos de operación de los procesos de preparación. No obstante, en este escenario se observa una afectación en el nivel de utilización de los recursos de los actores y en los tiempos que los actores permanecen en condición de desocupación. Situación generada por la pronta culminación de los procesos y la liberación de los recursos por parte de los actores locales modelados. En consecuencia, así como las variables analizadas en párrafos anteriores, el modelo resulta sensible también a los tiempos de ejecución de los procesos, presentando comportamientos intuitivos de acuerdo con los indicadores propuestos en este estudio. En el anexo H se presentan análisis complementarios con información adicional para estos escenarios generados.

Efecto del nivel de cumplimiento mínimo de los procesos

En la descripción del modelo conceptual del MBA realizada en el capítulo 4, se proponía esta variable como criterio de determinación para que los actores involucrados procediesen con la ejecución de un proceso de preparación. Para el análisis de sensibilidad se consideraron cinco escenarios en función del valor mínimo de cumplimiento, cuyos valores fueron 50, 60, 70, 90 y 100%. Como en los escenarios anteriores, se aplicaron los cambios a la variable de entrada para correr el modelo en 30 ocasiones y se registraron los resultados de salida.

En la tabla 6.4 se resume la información consolidada de las réplicas realizadas para cada escenario propuesto. Se observan allí los efectos negativos e incrementales suscitados por elevar el criterio de ejecución. En cuanto a los tiempos de culminación de todos los procesos se hace manifiesto, por ejemplo, que en los márgenes de 90 y 100% no alcanza el sistema a cubrir todos los procesos demandados en la preparación.

Tabla 6.4. Resultados globales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con el porcentaje mínimo de cumplimiento de los procesos.

| Escenario | Tiempo de culminación de los procesos (<i>ticks</i>) | | % de espera de los procesos | | % de procesos por actor | | Número de alternativas por proceso | |
|----------------|--|-----------|------------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. |
| % Cump. (50%) | 141,0 | 28,57 | 19,08 | 3,54 | 78,72 | 0,34 | 8,02 | 0,40 |
| % Cump. (60%) | 158,5 | 36,96 | 22,85 | 4,42 | 78,69 | 0,45 | 7,85 | 0,38 |
| % Cump. (70%) | 164,3 | 30,49 | 32,72 | 4,44 | 78,69 | 0,45 | 7,38 | 0,36 |
| % Cump. (90%) | - | - | 80,89 | 0,99 | 23,08 | 0,00 | 3,49 | 0,28 |
| % Cump. (100%) | - | - | 84,70 | 0,59 | 23,08 | 0,00 | 2,44 | 0,21 |
| Escen. base | 238 | 107,1 | 45,16 | 6,25 | 78,43 | 0,70 | 6,89 | 0,66 |
| Escenario | Tasa de cumplimiento global (%) | | Número de incumplimientos promedio | | % de utilización de los recursos | | % de tiempo en desocupación | |
| | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. |
| % Cump. (50%) | 71,34 | 1,64 | 1,00 | 0,24 | 43,66 | 2,29 | 20,91 | 2,00 |
| % Cump. (60%) | 78,46 | 0,81 | 1,01 | 0,18 | 43,85 | 2,38 | 20,32 | 3,54 |
| % Cump. (70%) | 82,83 | 1,99 | 1,16 | 0,28 | 46,07 | 1,88 | 17,81 | 2,44 |
| % Cump. (90%) | 20,81 | 0,77 | 6,43 | 0,31 | 41,27 | 1,72 | 31,99 | 2,73 |
| % Cump. (100%) | 18,54 | 0,73 | 7,52 | 0,22 | 42,14 | 1,83 | 32,82 | 2,78 |
| Escen. base | 81,84 | 4,64 | 1,92 | 0,65 | 47,26 | 1,82 | 15,29 | 2,36 |

Se evidencian otros cambios marcados en el porcentaje del tiempo en espera por parte de los procesos, así como en el cumplimiento global y el promedio de incumplimientos. Respecto a los actores, estos reducen su participación diversificada en los procesos al incrementarse el mínimo cumplimiento, con lo cual se ve afectada la flexibilidad del sistema, al igual que el tiempo en condición de desocupación, donde se incrementa este factor al elevarse el porcentaje mínimo de cumplimiento. En cambio, resulta notorio que

apenas se reduce el porcentaje de utilización de los recursos ante los valores más elevados del cumplimiento mínimo. El anexo H contiene información relacionada con este análisis, y se expone más ampliamente los resultados.

Efecto de la probabilidad de coordinación de los agentes

Con el fin de ver el efecto en el comportamiento del sistema, se optó por partir de una probabilidad de coordinación de 0,0 y con un rango de 0,1 incrementar este valor para todos los actores hasta llevar la variable al valor de 1,0. El análisis implicó el mismo mecanismo adelantado antes: correr en 30 ocasiones cada escenario propuesto y recoger información de los indicadores de desempeño globales. A partir de ello, se presenta en la tabla 6.5, la cual resume los datos generales de las réplicas realizadas en el modelo según cada uno de los once escenarios propuestos.

Tabla 6.5. Resultados globales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con la probabilidad de coordinación de los actores locales.

| Escenario | Tiempo de culminación de los procesos (ticks) | | % de espera de los procesos | | % de procesos por actor | | Número de alternativas por proceso | |
|--------------|---|-----------|------------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. |
| P. C. (0,0%) | - | - | 100,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| P. C. (10%) | - | - | 63,43 | 5,10 | 54,62 | 3,97 | 4,43 | 0,30 |
| P. C. (20%) | 259,5 | 127,0 | 42,78 | 4,68 | 73,01 | 2,14 | 7,10 | 0,43 |
| P. C. (30%) | 194,8 | 49,15 | 35,16 | 4,59 | 76,50 | 1,28 | 8,09 | 0,28 |
| P. C. (40%) | 184,6 | 34,40 | 32,02 | 3,35 | 77,50 | 1,00 | 8,51 | 0,33 |
| P. C. (50%) | 168,0 | 36,35 | 33,22 | 4,38 | 78,37 | 0,61 | 8,53 | 0,27 |
| P. C. (60%) | 183,6 | 47,50 | 36,34 | 3,91 | 78,43 | 0,55 | 8,17 | 0,26 |
| P. C. (70%) | 218,6 | 77,63 | 42,69 | 4,59 | 78,53 | 0,53 | 7,22 | 0,44 |
| P. C. (80%) | 320,1 | 135,4 | 47,79 | 4,88 | 78,40 | 0,75 | 5,94 | 0,40 |
| P. C. (90%) | - | - | 60,23 | 6,15 | 76,57 | 3,03 | 3,73 | 0,46 |
| P. C. (100%) | - | - | 71,34 | 3,15 | 67,73 | 7,16 | 0,94 | 0,14 |
| Escen. base | 238 | 107,1 | 45,16 | 6,25 | 78,43 | 0,70 | 6,89 | 0,66 |
| Escenario | Tasa de cumplimiento global (%) | | Número de incumplimientos promedio | | % de utilización de los recursos | | % de tiempo en desocupación | |
| | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. | Media | Desv. St. |
| P. C. (0,0%) | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| P. C. (10%) | 55,09 | 7,25 | 4,16 | 0,49 | 22,60 | 1,20 | 59,43 | 2,38 |
| P. C. (20%) | 83,38 | 3,51 | 1,83 | 0,34 | 30,23 | 1,64 | 43,80 | 2,68 |
| P. C. (30%) | 86,60 | 1,87 | 1,34 | 0,29 | 33,33 | 1,36 | 37,94 | 2,38 |
| P. C. (40%) | 86,72 | 1,87 | 1,19 | 0,32 | 36,62 | 1,26 | 31,89 | 2,18 |
| P. C. (50%) | 87,80 | 1,64 | 1,12 | 0,29 | 39,81 | 1,73 | 26,84 | 2,91 |
| P. C. (60%) | 87,07 | 2,15 | 1,21 | 0,25 | 42,80 | 1,36 | 21,92 | 2,19 |
| P. C. (70%) | 82,95 | 4,10 | 1,72 | 0,49 | 46,32 | 1,42 | 16,64 | 2,70 |
| P. C. (80%) | 79,17 | 4,97 | 2,36 | 0,55 | 49,36 | 1,45 | 13,08 | 2,11 |
| P. C. (90%) | 65,68 | 8,89 | 3,85 | 0,80 | 52,57 | 1,32 | 9,58 | 1,66 |
| P. C. (100%) | 50,40 | 5,68 | 5,52 | 0,45 | 57,33 | 1,02 | 5,14 | 0,63 |
| Escen. base | 81,84 | 4,64 | 1,92 | 0,65 | 47,26 | 1,82 | 15,29 | 2,36 |

Lo que se observa relevante en la tabla 6.5 es el bajo desempeño que arrojan los escenarios con muy bajos y con muy altos valores de probabilidad de coordinación de los actores. En el caso extremo donde los actores poseen nula vocación a la coordinación (es decir, valor de 0,0) no se logra dar cumplimiento a ninguno de los requerimientos considerados. Esto es, bajo los parámetros trabajados en el modelo, se requiere definitivamente de la inter-relación de los actores, de su coordinación, su integración, a fin de buscar el cumplimiento de los distintos procesos de preparación embebidos en el sistema modelado. De otro lado, se observa que no se requieren de valores altos de probabilidad de coordinación para obtener buenos resultados. Con tan solo tener un interés por coordinar, se observa que el desempeño de los sistemas humanitarios puede mejorar significativamente (tal y como se sugiere en los trabajos de autores como Gibbons y Samaddar (2009) y de Wang y Zhang (2019)).

No obstante, lo arrojado por el modelo en términos de tiempos de cumplimiento y espera de los procesos, el número de alternativas identificadas por proceso, el cumplimiento global y el número de incumplimientos promedio de los procesos, demuestran el efecto negativo en el sistema cuando todos los actores poseen extrema voluntad y apertura para participar en los procesos de preparación (escenarios con 90 y 100% de probabilidad de coordinación). Esta dinámica contrasta con la alta eficiencia de los actores que participan continua y conjuntamente entre sí, lo cual no implica un buen desempeño global en el sistema o una buena cobertura de los requerimientos *per se*.

En este punto resulta pertinente ilustrar las consecuencias negativas observadas cuando la intención de coordinar de los actores (representada por la variable probabilidad de coordinación) es elevada. A nivel particular, los actores son los tomadores de decisiones, poseen la independencia y sus propias reglas de decisión para determinar si participan o no en el cumplimiento de un proceso de preparación específico. Luego cuando poseen plena voluntad de colaboración con otros actores, cada organización despliega sus recursos en el cumplimiento de los procesos que resultan más relevantes en el sistema. Este interés por cumplir con los procesos más importantes o de mayor prioridad, produce un efecto negativo en procesos de menor relevancia, y ello afecta el desempeño global del sistema al no lograrse cobertura sistemática a los requerimientos de todos los procesos de preparación asumidos en el modelo basado en agentes. Dicho de otro modo: se puede lograr una mínima desocupación y una máxima utilización de capacidades y recursos en términos individualistas, pero esta dinámica solo busca satisfacer un óptimo local, puesto que a nivel global se manifiesta un desempeño muy bajo en torno al cumplimiento de los requerimientos demandados en el sistema. En consecuencia, el modelo diseñado y validado resulta sensible también a la variable de entrada probabilidad de coordinación. Y, al respecto, se puede intuir que significativamente no basta con que las organizaciones tan solo quieran coordinar, puesto que la integración y los procedimientos de coordinación modelados no son suficientes para obtener un mejoramiento global del sistema de preparación.

La noción que emerge en este punto se enfoca a que se debe buscar coordinar en los procesos y en cada momento de acuerdo con lo requerido. No basta con coordinar en los términos operativos descritos y trabajados hasta aquí. Se deberá asumir alternativas distintas de integración, otros mecanismos de coordinación, a fin de obtener mejoras sustentables en el desempeño, y bajo una perspectiva holística-estratégica. Esos son los propósitos que se desarrollarán en el siguiente capítulo.

6.4 Conclusiones del capítulo

El proceso de implementación en computadora del modelo conceptual definido para el MBA ha consolidado un modelo representativo de los actores locales y de los procesos logísticos que se enmarcan en la fase de preparación de emergencias y desastres, cuyo valor agregado adicional es la consideración de datos obtenidos de un contexto específico real que se han obtenido y logrado implementar en el modelo. Como mecanismos de rigor utilizados para garantizar la calidad de la implementación, se han aplicado métodos de verificación y validación soportados desde la literatura. De modo específico, se resaltan los hallazgos obtenidos en cuanto a la sensibilidad del modelo de simulación desarrollado, a partir de la generación de 39 escenarios diferentes. En este sentido, se determina la sensibilidad frente a los principales insumos de entrada, como lo son: las funciones asignadas de los actores, los recursos que a nivel individual posee cada actor, los tiempos de procesamiento, el nivel mínimo de cumplimiento de los procesos y, por último, la probabilidad de coordinación de los actores locales involucrados y modelados en el sistema.

Los resultados relevantes del análisis de sensibilidad pueden separarse en dos corrientes principales. Por un lado, se observa una tendencia esperada en términos de las variables de las capacidades funcionales, los tiempos de ejecución y el cumplimiento mínimo de los procesos. En estos escenarios se logra vislumbrar una tendencia favorable en el sistema cuando estos valores concretos resultan benévolos para los agentes modelados. En cambio, para las variables analizadas recursos individuales y la probabilidad de coordinación se han obtenido dinámicas contraintuitivas del sistema. Estos comportamientos son generados, en principio, por la búsqueda de óptimos locales de parte de los actores individuales modelados. De ello se desprende una necesidad adicional en el sistema considerado, relacionada con un fortalecimiento de carácter estratégico en las relaciones, interacciones y coordinaciones de los actores locales en el contexto de la preparación para los desastres. Bajo este requerimiento se posibilita la consideración de otros mecanismos de coordinación que serán discutidos en la parte III de esta tesis.

El modelo basado en agentes propuesto, implementado, verificado y validado permite, por tanto, considerar el comportamiento global del sistema de preparación logística a nivel local en el proceso de gestión de desastres. Los procesos de implementación y verificación adelantados han permitido un modelo legible, inteligible y sencillo, a partir de procedimientos concretos de programación y diseño modular en el modelo propuesto.

Cabe hacer mención, al respecto, de la rápida ejecución y otorgamiento de resultados de parte del MBA implementado, el cual no supera los 30 segundos para su corrida completa. Por tanto, aspectos de tiempos de corrida del modelo no se han tenido en cuenta durante los análisis presentados. El modelo de simulación, como tal, se encamina no a realizar procesos de optimización ni predicción, sino que busca estudiar posibles escenarios decisionales para los actores locales involucrados y así analizar de qué manera, con nuevas políticas de decisión e integración inter-organizacional, el desempeño general del sistema puede verse mejorado.

Las secciones que conforman el presente capítulo han descrito aspectos teóricos (sección 6.1), procesos de implementación (sección 6.2) y las prácticas utilizadas para sustentar el rigor del proceso de diseño basado en la verificación y validación del MBA implementado en computadora (sección 6.3 y anexos F, G y H). Este proceso permite la obtención y proposición de un modelo basado en agentes enfocado al estudio de los mecanismos de coordinación de los actores locales involucrados en los procesos logísticos circunscritos en la fase de preparación de emergencias y desastres. Pese a este importante avance, el modelo no está disponible aún para su aplicación. Apenas, y en línea con lo expuesto por Allen (2011), se cuenta con un modelo que corre una combinación de entradas y arroja unos datos de salida.

Es menester, por tanto, proyectar la utilización del modelo. Esto teniendo en cuenta que luego de haberse implementado y probado el modelo, este podrá ser utilizado (Hammond, 2015). En este sentido, Sterman (2000) sostiene que una investigación –igual que un investigador– debe reconocer que la implementación de un modelo será útil si este sirve para soportar la toma de decisiones. Por tanto, la tarea pendiente, a fin de lograr el éxito del proceso de modelación, recae en la proposición de escenarios de sistemas alternativos que permitan probar o rechazar las hipótesis planteadas en el estudio y así responder a las preguntas generales y propósitos de la investigación (Allen, 2011; Hammond, 2015). Bajo estas premisas, el presente capítulo posee una importancia capital en lo que sugiere el desarrollo metodológico de la investigación en la presente tesis, dado que logra especificar y mostrar el proceso adelantado para obtener el modelo de simulación que permite la representación de las interacciones y relaciones sostenidas entre los actores en el cumplimiento de los procesos implicados en la preparación local de desastres. Se da de este modo cumplimiento a uno de los objetivos intermedios del proyecto de investigación. A partir de esto, se procede entonces al uso y aprovechamiento del modelo obtenido para proponer escenarios alternativos y estudiar-simular cómo, a través de distintos mecanismos de coordinación, el sistema logra demostrar mejoras significativas en su desempeño global.

PARTE III

Aplicación e implementación del MBA

Estudio de simulación, análisis de escenarios, resultados y conclusiones

Propósito: En el transcurso del desarrollo metodológico de esta investigación se ha consolidado un modelo de simulación basado en agentes (MBA) que propende por el análisis del sistema considerado como objeto de estudio. Este modelo se presenta como herramienta útil para el análisis y discusión de propuestas alternativas de modo que se susciten opciones de mejora evidentes. Para lo cual, se propone como intención principal de esta sección, la generación de escenarios alternativos cuya finalidad es la implementación de mecanismos de coordinación que ofrezcan mejores resultados en términos del desempeño global del sistema y así corresponder a la hipótesis de investigación propuesta en esta tesis.

Metodología: El estudio de simulación implica un proceso de diseño y estructuración de escenarios alternativos que deben ser modelados, corridos, así como analizados a fin de obtener los resultados del proceso que conduzcan a su discusión rigurosa.

Hallazgos/Resultados: Mediante el proceso de diseño de escenarios y su respectiva simulación, se ha logrado mostrar cómo, a través de la implementación de mecanismos de coordinación estratégicos, es posible lograr mejoras significativas en el desempeño global del sistema de preparación de emergencias y desastres de naturaleza hidrometeorológica y a nivel local.

Implicaciones de la investigación: A partir del modelo de simulación propuesto y el estudio de escenarios alternativos, se puede evidenciar los hallazgos correspondientes a las preguntas de investigación, así como la comprobación de la hipótesis general definida desde el inicio de esta tesis doctoral. Las conclusiones ofrecidas en el capítulo final ofrecen avances logrados en función de los objetivos particulares del proyecto investigativo y de los vacíos de conocimiento identificados en la teoría, al igual que las principales limitaciones encontradas en el transcurso del desarrollo metodológico. Las implicaciones de la investigación también se analizan respecto de la proposición de líneas estratégicas para futuros trabajos en el campo particular.

7. Capítulo séptimo: Estudio de simulación

El desarrollo metodológico dispuesto en la sección II de esta tesis tuvo su enfoque dirigido a la proposición de un modelo basado de agentes que permite la representación y análisis del sistema conformado por los actores locales clave en los procesos de preparación de emergencias cuyo origen sean los fenómenos hidrometeorológicos. El proceso de programación e implementación del modelo, junto con su respectiva verificación y validación, descritos en el capítulo 6, han sido tanto apropiados como suficientes para la obtención de un modelo de simulación que posibilita la representación de mecanismos de integración y coordinación inter-organizacional de los actores involucrados en el sistema previsto. Con base en estos resultados intermedios de la investigación, se hacen necesarios la formulación y el análisis de escenarios que sugieran el planteamiento de mecanismos cuya utilización genere un mejoramiento objetivo del desempeño desde una óptica sistémica del problema considerado.

En sintonía con lo anterior, el propósito de este capítulo es presentar la formulación, modelación y análisis de los escenarios alternativos propuestos, con base en unos mecanismos de coordinación específicos, a fin de establecer el mejoramiento del desempeño del sistema de preparación de emergencia a nivel local y, con ello, otorgar elementos suficientes para sustentar la hipótesis general de esta tesis. Se mostrarán, para ello, algunos elementos concretos que justifican el estudio de simulación presentado en este capítulo; posteriormente se delimitan y definen los escenarios alternativos a partir de la consideración de unos mecanismos de coordinación específicos y su respectivo proceso de formulación y modelación en el software de simulación. Después, se comparte el proceso de simulación y corrida de los escenarios propuestos y sus respectivos análisis estadísticos junto con resultados globales. El capítulo cierra con unas conclusiones específicas de lo tratado.

7.1 Justificación metodológica

En consonancia con lo expuesto en capítulos previos (particularmente con las secciones 2.2.6., 4.1., y 6.1.), la simulación resulta una opción de alta relevancia para la investigación, en la medida que permite la utilización y aprovechamiento del modelo diseñado que propenda por la consecución de resultados significativos. Aros y Gibbons (2018) sostienen que la simulación es altamente efectiva cuando se modelan sistemas complejos de la realidad con elementos de variabilidad. Particularmente, la simulación basada en agentes

sobresale en el estudio de sistemas complejos conformados por agentes autónomos, a la vez que facilita la exploración y comprensión de comportamientos globales de los sistemas, los cuales son resultantes de las interacciones, procesos y reglas de decisión de los agentes individuales modelados (Crooks y Wise, 2013; Aros y Gibbons, 2018). La simulación es una de las principales aplicaciones de los modelos basados en agentes, dado además por la oportunidad de ofrecer un marco de ejecución para la toma de decisiones estratégicas (Hooshangi y Alesheikh, 2018). Por tanto, y como se expresaba al final del capítulo anterior, lo que se pretende con el modelo de simulación MBA desarrollado no es predecir u optimizar; en cambio, se espera la consecución de una herramienta de decisión útil para el análisis y estudio de escenarios alternativos en el contexto de un sistema complejo.

En consideración de las dificultades intrínsecas de los contextos reales para el manejo de la información y obtención de datos clave en los contextos reales de la gestión de desastres, se hace patente un impedimento para la utilización del modelo de simulación como herramienta para la evaluación en campo. Al respecto, Hooshangi y Alesheikh (2018) sugieren que, ante la imposibilidad de las condiciones del entorno, la simulación resulta viable para visualizar comportamientos e interacciones entre los agentes modelados, y con ello se obtiene un mecanismo de evaluación útil para el sistema. La clave metodológica se ubica en el interrogante, además del qué simular, el cómo simular. Bae et al. (2018) recomiendan, considerando las dificultades e incertidumbres de los tópicos de la gestión de desastres, generar escenarios potenciales alternativos para modelar y simular estos escenarios y lograr con ello, la medición del desempeño.

Como se ha mostró en los apartados 2.1.4. y 2.2.1. del capítulo 2, uno de los principales problemas en el contexto humanitario, además de las condiciones de incertidumbre y estocasticidad, es la necesidad de asignar apropiadamente los escasos recursos disponibles en la implementación de procesos para el manejo de emergencias y desastres, lo cual posee elevada influencia sobre los procesos de preparación y planificación (Hooshangi y Alesheikh, 2018). Ochoa et al. (2017) afirman que la simulación debe proponerse de tal modo que asegure que las estrategias sugeridas puedan ser útiles eventualmente en la realidad, lo cual se posibilita a partir de la reproducción de las condiciones esperadas y el ajuste de variables en el modelo. La simulación, por tanto, se manifiesta como método pertinente y necesario para la evaluación de alternativas con distintas condiciones, a partir de la experimentación computacional –al no ser posible la intervención real–, y cuyo propósito se centra en la identificación de dificultades particulares, así como la evaluación de variables individuales y globales de todo el sistema, y en las consecuencias de realizar posibles intervenciones estratégicas (Shendarkar et al., 2008; Gibbons y Samaddar, 2009; Wang y Zhang, 2019). Con base en lo antedicho, el estudio de simulación adelantado en el proyecto investigativo se ha concentrado en la proposición de escenarios alternativos para evaluar la implementación de diversos mecanismos de coordinación e identificar su influencia en el desempeño global del sistema abordado, tal y como se describe a continuación.

7.2 Generación de escenarios

El estudio de las relaciones entre agentes que constituyen y describen el comportamiento holístico de un sistema proviene de los campos naturales y sociales (Von Bertalanffy, 1976), donde se han analizado tanto mecanismos de integración, cooperación y coordinación, así como individualismos y comportamientos egoístas, junto con sus respectivas influencias en los contextos globales de los sistemas (Santos et al., 2006; Shoham y Leyton-Brown, 2008; García y Van Veelen, 2018). En los trabajos de Shoham y Leyton-Brown (2008), García (2011) y García y Van Veelen (2018) se muestra cómo los individuos en una colectividad pueden propender por un comportamiento e interés mezquinos, al perseguir beneficios particulares con lo que se disminuye la motivación por actuar cooperativamente. Estos comportamientos se observaron anteriormente (en el capítulo 6), cuando los actores modelados persiguen el aumento de su propio desempeño al margen del entorno inter-organizacional en el que participan. No obstante, los autores citados analizan también los fenómenos en los sistemas naturales y sociales cuando el altruismo y la intención de integración entre los individuos emergen para superar el problema del dilema social.

En razón de lo expuesto, el fenómeno de la coordinación se concibe como una respuesta estratégica a la necesidad de integración por parte de las organizaciones, dado que, cuando hay ausencia de estructuras formales, el sistema de gestión de desastres incrementa el riesgo de interrupciones y fallos en la acción humanitaria (Xu y Beamon, 2006; Day et al., 2012). La integración inter-organizacional surge como un principio esencial en la logística humanitaria (Marcinkowski, 2017). Pettit y Beresford (2009) arguyen que la coordinación es más que solamente compartir recursos; el propósito fundamental, según estos autores, debe dirigirse hacia la consolidación de unos actores que se integran y comparten intereses comunes.

Algunas dificultades que se manifiestan en el ámbito de lo humanitario han sido descritas previamente en el marco teórico de esta investigación, destacando aspectos relacionados con la incertidumbre, el manejo de la información, las relaciones y la diversidad de actores-sectores involucrados. Estos aspectos exacerbaban algunos elementos críticos en la gestión del sistema logístico humanitario, por ejemplo, la menor claridad de los roles que deben cumplir los distintos actores (Nadi y Edrisi, 2017). Los problemas en las relaciones e integraciones de los agentes de un sistema surgen como consecuencia de la disparidad entre los incentivos particulares y los objetivos colectivos (García y Van Veelen, 2018). La idea que debe asimilarse, entonces, es que la sostenibilidad de las relaciones depende de los enlaces y vínculos intrincados entre los agentes (Santos et al., 2006). Con lo expuesto, se concuerda con los reiterados llamados desde la literatura a profundizar estudios investigativos en lo concerniente a los mecanismos necesarios para consolidar y mejorar los procesos de integración-coordinación en el sector humanitario, teniendo en cuenta los aportes de Balcik et al. (2010), Akhtar et al. (2012), y Muggy y Stamm (2017), lo cual es, precisamente, el foco de análisis del presente capítulo.

7.2.1 Proposición de los mecanismos de coordinación

De acuerdo con Krejci (2015), si se busca que los esfuerzos de la coordinación resulten exitosos, estos deben beneficiar no solo a todos los actores involucrados, sino que también debe favorecer a todo el sistema en términos de efectividad y eficiencia. La asignación apropiada de responsabilidades es un factor crítico en la ejecución efectiva de las tareas en los entornos de alto riesgo e incertidumbre (Hooshangi y Alesheikh, 2018). Además, cuando se manifiestan mayores niveles de coordinación entre las organizaciones humanitarias, es posible obtener mejores niveles de desempeño (Suárez-Moreno et al., 2016). En este sentido, se ha observado que los sectores involucrados en el contexto de los desastres han incrementado su interés por definir los mecanismos de coordinación adecuados para diseñar e implementar sus estrategias (Suárez-Moreno et al., 2016), al igual que con las operaciones, responsabilidades, asignaciones por cumplir, y reglas de integración para la acción humanitaria (Heaslip et al., 2012).

Una definición sencilla y frecuentemente utilizada de los mecanismos de coordinación se ofreció por Xu y Beamon (2006), quienes afirman que los mecanismos de coordinación comprenden los métodos utilizados para gestionar las relaciones e interdependencias entre las organizaciones. Algunos de los mecanismos de coordinación aplicables al sector humanitario fueron presentados en el apartado 2.2.5. Entre los cuales se mostraban los trabajados en Balcik et al. (2010), enfocados en aspectos inherentes al ámbito logístico, como los procesos de compras, la gestión de inventarios y el transporte. Se mencionó del mecanismo de centralización para la toma de decisiones estratégicas, y el enfoque de clúster para la organización de los agentes según sus especialidades particulares. Además de los mecanismos referidos en el capítulo 2, se han propuesto otros alternativos en la literatura aplicables en el manejo de desastres, como los mecanismos aplicados para compartir información y la comunicación cooperativa (Altay y Pal, 2014), la gestión de proyectos conjuntos y la división regional de tareas (Nikbakhsh y Farahani, 2011). Otros mecanismos con un alcance estratégico son los llamados enfoques horizontal y vertical de la coordinación; de los cuales autores como Balcik et al. (2010), Jahre y Jensen (2010), y Krejci (2015), han hecho disquisiciones y aportes importantes en el estudio del transporte y cadenas de distribución humanitarias. De lo cual se desprende, que hay una cantidad y diversidad importante de mecanismos de coordinación aplicables a los entornos de interés en esta tesis. Resulta menester definir los mecanismos a considerar para la generación de escenarios alternativos de cara al estudio de simulación del modelo diseñado.

Teniendo que los mecanismos enunciados puedan tener distintos alcances en términos de los niveles jerárquicos de decisión (desde lo operativo, táctico, hasta lo estratégico), resulta clave asumir el alcance jerárquico decisional de los procesos comprendidos en el sistema modelado. Sobre lo cual, se recuerda el alcance temporal definido para este estudio, en función de la fase de preparación, donde la perspectiva estratégica es fundamental para el diseño de planes, el desarrollo de capacidades individuales y colectivas, así como para el desarrollo de relaciones clave de largo plazo entre las organizaciones (Kovács y Spens, 2007; Pettit y Beresford, 2009; Scholten et al., 2014). Este alcance estratégico se refleja

en la mayor parte de los procesos de preparación considerados en el modelo basado en agentes, que fueron listados y categorizados en el capítulo 4, por lo que se justifica la utilización de mecanismos de coordinación estratégicos para evaluar el impacto de su implementación en el desempeño global del sistema. La utilización de alternativas como la coordinación vertical y horizontal se ha descartado, ya que estos mecanismos se enfocan en el estudio de cadenas de distribución y redes de transporte. Cabe recordar, con base en lo expuesto en el diseño conceptual del MBA (particularmente en las secciones 4.2.1. y 4.3.2.), que el modelo diseñado posee implícitos mecanismos de coordinación como los procedimientos para compartir recursos, la ejecución conjunta de procesos, y mecanismos de compartir información y comunicación entre los actores. Estos elementos resultaron esenciales para las dinámicas propias de los agentes y del sistema modelado. En consecuencia, los mecanismos alternativos que se han elegido para el estudio de simulación son: (i) el mecanismo de centralización del sistema, y el mecanismo basado en el enfoque tipo clúster.

En publicaciones previas se ha dejado evidencia sobre las posibilidades de estudiar el impacto de implementar mecanismos centralizados y descentralizados para la coordinación inter-organizacional en el contexto humanitario (Trecarichi et al., 2010; Besiou et al., 2011 y 2014; Diedrichs et al., 2016). La consideración de un enfoque centralizado para la gestión decisional responde además a la forma en que el sistema de actores modelado se comporta y aplica las capacidades decisionales de los agentes definidos en capítulos anteriores. Como se estableció en el modelo conceptual del MBA, los agentes poseen la autonomía y libertad para decidir, por ejemplo, acerca de su participación en un proceso de preparación particular. Charbonneau y Dornhaus (2015) sostienen que muchos sistemas complejos –incluyendo sistemas naturales– operan bajo un esquema descentralizado, lo que genera comportamientos globales más difíciles de predecir e incluso contraintuitivos, aun cuando se conozcan estrategias y reglas de carácter individual. A partir de esta reflexión, podría desprenderse que la complejidad de la gestión se disminuye (o se facilita su control, cuando menos), si el sistema se logra estructurar de manera organizada. Una propuesta centralizada potenciaría el rol del actor líder (también definido en el modelo conceptual), como un agente central para la toma de decisiones en el sistema. La pretensión aquí es observar, al cambiar las reglas y políticas decisionales, cómo se comporta el sistema cuando los mecanismos de integración descentralizados sean modificados.

Una de las principales virtudes de emplear la modelación y simulación basada en agentes (de hecho, ocurre igual en cualquier estudio de simulación), es la posibilidad de emplear diversos marcos decisionales o escenarios alternativos, que sean fácilmente adaptables y sobre los cuales se puedan tomar juicios de valor informados para el estudio de los sistemas modelados. El propósito de los apartados que prosiguen es la descripción y análisis de los escenarios alternativos sugeridos en función de los mecanismos de coordinación estratégicos definidos (enfoques centralizado y tipo clúster), para determinar posteriormente cómo su implementación en el sistema (que inicialmente posee un enfoque descentralizado de las decisiones) influye sobre los indicadores de desempeño globales.

7.2.2 Escenario basado en la centralización del sistema

Como se expone en García y Van Veelen (2018), los problemas en la integración se presentan cuando los propósitos particulares no son concordantes con los objetivos comunes. En este sentido, resulta crucial que los agentes en los sistemas sociales concuerden en ciertas reglas de comportamiento, con la intención de reducir los conflictos y promover el comportamiento cooperativo de los individuos (Shoham y Leyton-Brown, 2008). De ello se desprende que una estructura organizacional del sistema, concreta y estratégica, sea necesaria para la planificación e integración de los actores involucrados en el contexto humanitario (Kaneberg, 2017).

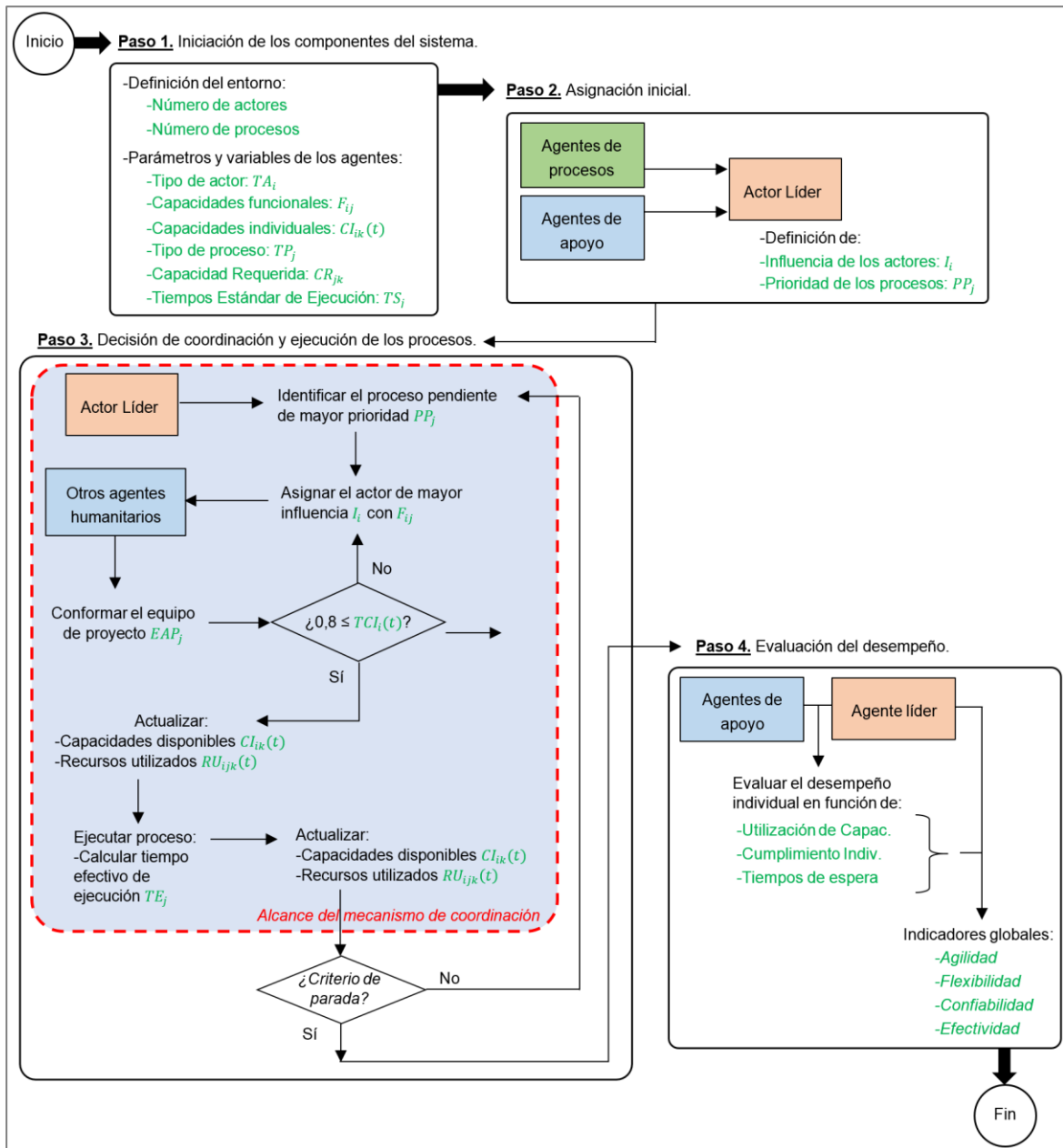
Ya anteriormente, Altay y Green (2006) advertían la pertinencia de abordar los problemas de gestión de desastres desde una perspectiva multi-agentes. Para los autores citados, los procesos de manejo de desastres son en naturaleza multi-organizacional, cuyo factor característico es que las organizaciones están pobremente conectadas, lo que conlleva a confusiones administrativas y ambigüedad en la autoridad del sistema. En Jahre y Jensen (2010) y Akhtar et al. (2012) se propone, como cuestión fundamental para desarrollar estrategias de coordinación, la determinación de la entidad que posee el control de los procesos (junto con sus características, competencias y capacidades), para que el esfuerzo de la coordinación tenga éxito, y consecuentemente, se beneficie el sistema en su conjunto. De acuerdo con los autores citados, la proposición de la centralización del sistema surge como mecanismo que busca la asignación inicial de un agente líder, para que los procesos por ejecutar posean unos responsables concretos.

El gobierno local, según se informó en los capítulos 2, 4 y 5, es un miembro de la cadena logística humanitaria, pero a la vez es un actor clave en el entorno humanitario de la gestión de desastres. El gobierno local actúa como regulador de los flujos de recursos en la cadena logística, pero también controla la participación de otras organizaciones y cumple el rol de facilitador de las relaciones e interacciones que se dan entre todos los agentes participantes del sistema (Van Wassenhove, 2006; Kunz y Gold, 2015; Yadav y Barve, 2015). En términos pragmáticos, el papel crítico de los gobiernos locales en la protección de sus comunidades y en cabeza de la acción humanitaria ha sido resaltado en instituciones reconocidas mundialmente, como el UNISDR (2004), y el FEMA (2010). En el contexto colombiano, la importancia y la responsabilidad de los gobiernos regionales y locales en la gestión del riesgo de desastres viene definida en el ámbito normativo, a través de la ley 1523 de 2012 (art. 9 a 14). Por tanto, y guardando coherencia con lo expresado en el capítulo 5, se asume el gobierno local como la principal autoridad en la gestión de desastres y el coordinador de los demás actores locales involucrados en el sistema.

De acuerdo con el diseño del modelo conceptual del MBA (capítulo 4), se tienen dos tipos de actores, a fin de distinguir el rol de autoridad del sistema. Se definió el actor líder, por un lado, representado por la Unidad de Gestión del Riesgo local, y los actores de apoyo que complementan la estructura del sistema de preparación, por otro lado (ver sección 4.3.1.). La distinción entre los tipos de actores viene a usufructuarse ahora, de tal suerte

que se asignará al actor líder (UGR), una facultad decisional adicional para que, en el momento que se requiera, asigne los actores necesarios para el cumplimiento de los procesos de preparación. Estas reglas de decisión han sido incorporadas en el MBA y en el modelo de simulación en software, de manera que ha obtenido un modelo con un escenario alternativo. En este, los agentes (y, en especial, el actor líder) siguen las reglas y secuencias de decisión adaptadas a un esquema decisional centralizado, representado en la zona sombreada en color azul del diagrama mostrado en la figura 7.1 que se describe seguidamente.

Figura 7.1. Esquema procedimental del modelo para el mecanismo de coordinación centralizado.



El mecanismo de centralización propuesto parte del supuesto de que es el agente líder del sistema (aquel que representa al gobierno local) quien posee el control y mandato sobre los demás actores locales para la asignación, participación conjunta y ejecución de los procesos dentro del marco de la fase particular de la preparación.

El modelo alternativo considera, igual que antes, factores relacionados con la influencia de los actores y las prioridades relativas de los procesos de preparación. Estos aspectos se preservan con el propósito de mantener una jerarquía para llevar las acciones de los agentes organizacionales respecto a los procesos. Así, la secuencia de ejecución de los procesos de preparación se basa en las prioridades calculadas en función de los requerimientos que cada proceso demande. Por tanto, las decisiones de asignación y ejecución se darán secuencialmente según los procesos que posean mayor prioridad.

Como se muestra en la figura 7.1, una vez identificado el proceso j de mayor prioridad ($\max(PP_j)$), el agente líder reúne a los actores del sistema, incluyéndose a sí mismo, que poseen capacidad funcional respecto del proceso abordado (es decir, con $F_{ij} = 1$) y entre estos, el agente líder asigna el actor de mayor influencia (I_i) al proceso. Para ello, el actor asignado debe cumplir estos requisitos: (i) que no esté en estado 'sin recursos disponibles', (ii) que posea capacidades y recursos disponibles para su utilización, y (iii) que los recursos que disponga el actor sean útiles para conducir al cumplimiento efectivo de los requerimientos que demanda el proceso j . Siempre que todos los requisitos se cumplan, el agente asignado se incorporará al equipo de actores (EAP_j), y el agente líder continúa analizando la posibilidad de asignar más actores al proceso j , en orden secuencial según la influencia de los actores (I_i). Esta asignación continúa hasta que el criterio de porcentaje mínimo de cumplimiento del proceso se satisfaga. Con esta condición se permite la ejecución del proceso j , mientras que el agente líder procede con una nueva asignación de actores al siguiente proceso de mayor prioridad que permanezca pendiente.

El escenario propuesto se ha planteado en función de los modos de asignación de los actores a los procesos de preparación bajo un esquema centralizado donde el agente líder se encarga de realizar, en cada momento específico, la asignación directa de los actores locales teniendo en cuenta sus influencias y capacidades individuales disponibles. Las reglas de decisión ajustadas para este escenario parten de suposiciones concretas para el modelo. Entre las cuales se asume que los actores comparten y comunican abiertamente estados e información confiable, al igual que todos los actores involucrados presentan abierta confianza y voluntad para coordinar con otros agentes en cualquier momento (ello presume una probabilidad de coordinación del 100% para todos los actores ($PC_i(t) = 1$)). Lo que ahora ocurre es que un actor se asigna a un proceso según lo indique el agente líder. Consolidado el planteamiento de este escenario, junto con sus procedimientos y reglas de decisión, se procede a realizar los ajustes de programación en el modelo de simulación, para su posterior análisis y de lo cual se hablará más adelante. Mientras tanto, se exponen las características y consideraciones para el planteamiento del segundo escenario alternativo propuesto para el estudio.

7.2.3 Escenario basado en el enfoque de clúster

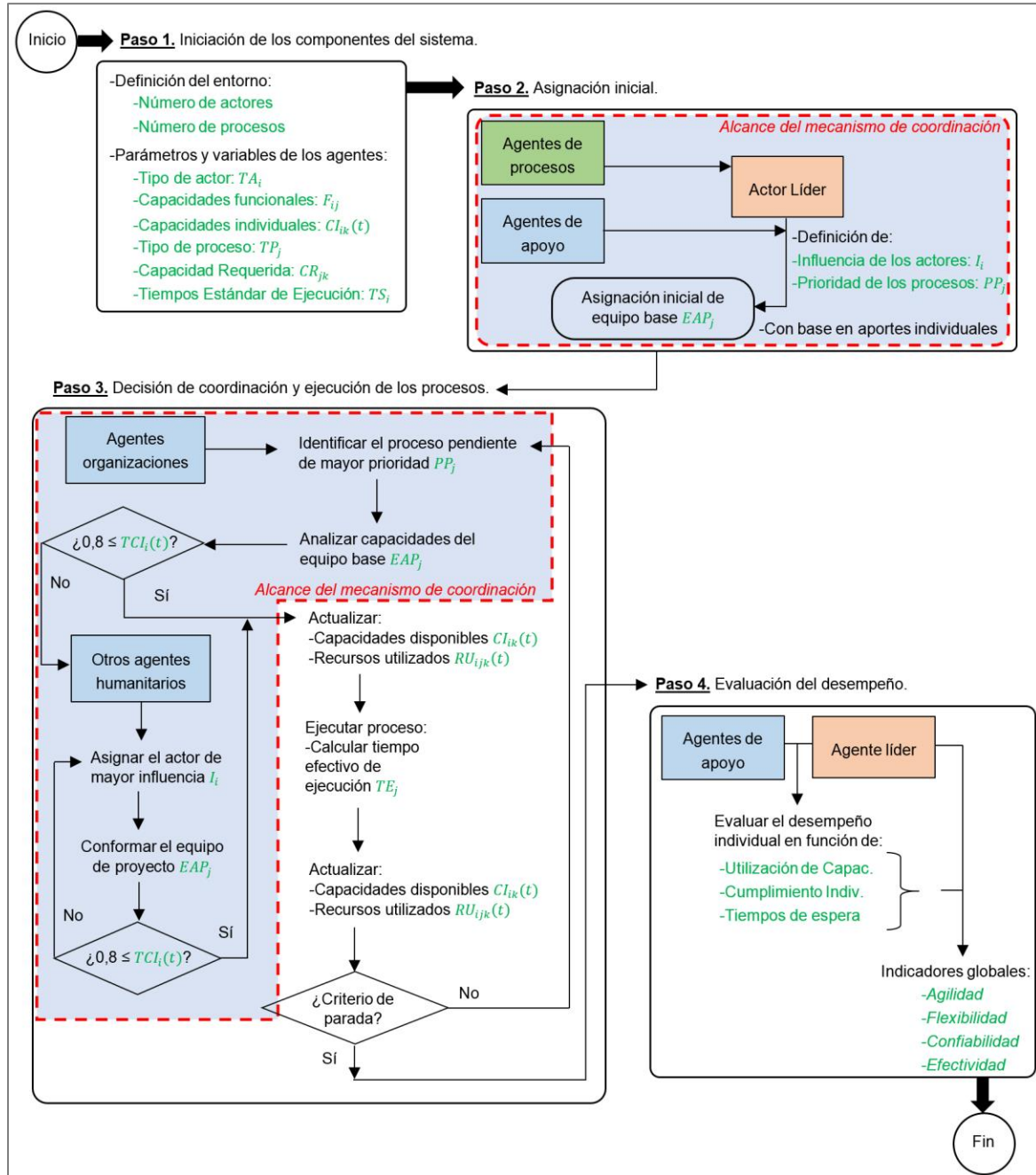
Como segundo escenario alternativo se ha definido el mecanismo de coordinación tipo clúster. De acuerdo con Ergun et al. (2014), este mecanismo ha surgido como medio de solución al problema de coordinación inter-organizacional en el contexto de la gestión de desastres. En un sistema organizado bajo el enfoque clúster, las distintas organizaciones involucradas se agrupan de acuerdo con los sectores, fortalezas o aspectos funcionales que tengan en común, lo cual propende por la mejor utilización de los recursos y facilita el esfuerzo de coordinación (Balcik et al., 2010; Jahre y Jensen, 2010; Cozzolino, 2012). La aceptación práctica de este mecanismo también ha sido resaltada en la literatura, ya que el enfoque de clúster potencia las capacidades individuales y colectivas para cubrir un amplio rango de actividades y requerimientos tanto en la preparación como en la respuesta a desastres (Tatham y Spens, 2016), a partir de la integración de distintos sectores para consolidar una efectiva coordinación inter-organizacional (Jahre y Jensen, 2010; Cozzolino, 2012). Estas razones se han tomado para sustentar la proposición del mecanismo de coordinación basado en clúster, cuya implicación estratégica conlleva a la superación del comportamiento intuitivo de actuar aisladamente, y para pasar a actuar con otros actores que comparten funciones similares (Altay y Pal, 2014). La estrategia de *clustering* potencia la experiencia, especialización y diferenciación de los distintos actores en pro del favorecimiento de la acción conjunta y el mejoramiento de los procesos de gestión de desastres (Kovács y Spens, 2009).

A conciencia de lo comentado, se justifica la implementación de un mecanismo de coordinación basado en los principios del enfoque de clúster con el fin de mejorar el nivel de utilización de los recursos disponibles y el aprovechamiento de especialidades de los actores locales en función de los procesos de preparación concebidos en el modelo de simulación basado en agentes. Con este propósito, se realizaron modificaciones en las reglas de decisión y actuación de los agentes involucrados en el MBA para buscar la implementación del mecanismo descrito. Ello condujo a la obtención de un modelo adicional, de un escenario alternativo, que incorpora el mecanismo de coordinación basado en clúster. Las adaptaciones hechas en el modelo se presentan en el esquema de la figura 7.2, en donde las implicaciones decisionales generadas por la implementación del enfoque de clúster aparecen sombreadas en color azul. Dado que el mecanismo de *clustering* busca garantizar que los actores que posean mayor *expertise* en función de los requerimientos de un proceso particular, quede efectivamente asignado a este, se plantea el siguiente procedimiento.

En la fase de inicialización de la simulación (una vez importadas las variables de entrada y calculadas las influencias de los actores y las prioridades de los procesos), cada actor procede a comparar individualmente sus propios recursos iniciales respecto de los requerimientos individuales de cada proceso de preparación. Cuando esta comparación de recursos y requerimientos se haya completado (para todos los actores y todos los procesos), los actores que demuestren mayor nivel de aportación individual sobre los recursos requeridos (CR_{jk}) de un proceso j , tendrán una responsabilidad directa sobre el

proceso y conformarán un equipo inicial de actores asignados (EAP_j). Este mecanismo de asignación inicial se repite para cada proceso de preparación. El esquema propuesto logra concebir y asignar un equipo base (EAP_j), fijo y responsable del cumplimiento de cada proceso de preparación. Cumplida esta asignación preliminar, se procede con el análisis de prioridades (PP_j) a fin de identificar la secuencia de ejecución de los procesos.

Figura 7.2. Esquema procedimental del modelo para el mecanismo de coordinación basado en el enfoque de clúster.



Posteriormente, se busca iniciar la ejecución del proceso de mayor prioridad ($\max (PP_j)$), para lo cual, los actores del equipo base –o clúster– asignados al proceso analizan si sus capacidades disponibles resultan suficientes para cumplir con el criterio del nivel de cumplimiento mínimo. En caso de que se cumpla con el criterio, se procede con el inicio de la ejecución del proceso. En caso contrario, el actor líder en el sistema se dirige a los demás actores que no hacen parte del clúster con la intención de incrementar las capacidades colectivas. Para ello, se toma al actor local con mayor índice de influencia (I_i) y se incorpora provisionalmente al equipo base (EAP_j) del proceso j . La asignación de actores adicionales al clúster (o equipo base) se adelanta siempre que un actor posea los siguiente: disponibilidad de actuación (es decir, estado diferente a ‘sin recursos disponibles’), capacidad funcional (esto es, con $F_{ij} = 1$), y recursos disponibles ($CI_{ik}(t)$) que aporten efectivamente a cumplir con los requerimientos del proceso j .

Al asegurar que un actor adicional cumple con los requerimientos para su actuación, se asigna provisionalmente al clúster (EAP_j) y se evalúa nuevamente si el clúster cumple con el criterio mínimo de cumplimiento para la ejecución del proceso. En caso positivo, los actores proceden a ejecutar el proceso con los recursos disponibles; en caso negativo, es decir, que el EAP_j persista en la insuficiencia de recursos, se repite el procedimiento de adicionar actores al clúster hasta que los recursos compartidos puedan ser utilizados para satisfacer los requerimientos del proceso.

Al término de la ejecución de un proceso, los actores que fueron asignados provisionalmente al clúster se desprenden del equipo base y de la responsabilidad del proceso particular. Ello garantiza que el equipo base de actores (o clúster) perdure y se mantenga como principal responsable del proceso específico en el tiempo. En este sentido, una distinción respecto del escenario inicial (mecanismo descentralizado) se manifiesta en la manera en que son asignados los actores a los procesos. Recuérdese que (bajo el mecanismo descentralizado descrito en el capítulo 4) los actores deciden su participación en la ejecución conjunta de un proceso a partir de una función de probabilidad de coordinación; mientras que, en el enfoque tipo clúster, se adelanta un proceso inicial de asignación con base en los aportes individuales de cada actor respecto a cada proceso, para conformar un equipo primario (o clúster) responsable de la ejecución de cada proceso de preparación considerado.

El enfoque de *clustering*, como mecanismo de coordinación inter-organizacional para el sistema de preparación para la atención de desastres, descrito en estos párrafos parte de los principios de una estrategia relacional basada en clúster para asignar unas responsabilidades específicas a un grupo de actores integrado en función de sus capacidades y *expertise* de acuerdo con unos procesos que poseen requerimientos específicos (de allí que se asuma el mecanismo como enfoque tipo clúster). La implementación de esta perspectiva involucra algunos supuestos para el modelo MBA. En primer lugar, se asume que los actores locales poseen conocimiento mutuo de sus habilidades y capacidades, además que esta información fluye abierta y confiablemente

en el tiempo. Se asume también que entre los actores se evidencia una completa disposición a participar colectivamente en los equipos asignados a los procesos en cualquier momento que se les requiera, siempre que lo permita el cumplimiento de las condiciones en el modelo –como que posea estado distinto a ‘sin recursos disponibles’, que posea capacidad funcional, así como la disponibilidad de recursos significativos para aportar al proceso de preparación–. Igualmente, una suposición adicional del modelo es que los actores pueden hacer parte de más de un clúster a la vez y, como consecuencia, participar simultáneamente en más de un proceso de preparación.

Nótese que los cambios realizados en el modelo, para la implementación de los dos mecanismos de coordinación propuestos, se han hecho únicamente sobre las acciones y decisiones de los agentes en torno a sus métodos de integración y conformación de equipos de actores para la ejecución de los procesos de preparación. Todos los demás procedimientos y reglas en el modelo se han mantenido, por tanto, sin alteración. Ello facilita la comparación de escenarios distintos con base en los mismos indicadores de desempeño que se han establecido desde el diseño del modelo conceptual (ver capítulos 4 y 6). Tales decisiones resultan coherentes con el objetivo principal del estudio de simulación, que es precisamente el análisis del impacto causado por la manera en que los actores se relacionan e involucran conjuntamente –esto es, respecto de los mecanismos de coordinación inter-organizacional–, que puedan ser utilizados en el sistema logístico de preparación para los desastres. Los mecanismos propuestos en este capítulo (tanto el de centralización como el de clúster) se han implementado en el modelo de simulación basado en agentes. El avance obtenido permite, consecuentemente, adelantar un análisis comparativo de los escenarios alternativos de acuerdo con el desempeño generado a nivel global sobre el sistema, y de lo cual se profundizará seguidamente.

7.3 Resultados y discusión

Con base en los escenarios propuestos, descritos en los apartados anteriores, se ha procedido con la modelación y codificación en el software de simulación, de modo que los tres escenarios objeto de estudio: (i) descentralizado (configurado según la figura 4.2), (ii) centralizado (figura 7.1), y (iii) basado en clúster (figura 7.2), puedan ser analizados entre sí de acuerdo con las corridas de simulación. El objeto de esta sección es presentar los resultados cuantitativos y la interpretación respectiva del estudio de simulación adelantado, en función también de los objetivos e hipótesis generales propuestos para esta investigación.

Como los escenarios alternativos fueron codificados y programados en el software de simulación Netlogo, cada uno de los escenarios se corrió en 50 ocasiones. Los datos particulares de las variables de salida obtenidos a través de las corridas, por cada escenario, se comparten en el anexo I. Teniendo en cuenta que el estudio se enfocó en el desempeño global del sistema, la base comparativa para el estudio de simulación fueron los indicadores utilizados en los capítulos precedentes, en términos de agilidad (como el

tiempo de culminación de todos los procesos, y el porcentaje de tiempo de los procesos en espera), flexibilidad del sistema (medido con el porcentaje de procesos asignados a cada actor en promedio, y número de alternativas de ejecución de los procesos en promedio), confiabilidad del sistema (tasa de cumplimiento global de los procesos, e incumplimiento de los procesos), junto con la utilización de recursos en el sistema (porcentaje de utilización de los recursos de todos los actores, y porcentaje de tiempo en desocupación por parte de los actores). La programación de los escenarios y las corridas efectuadas permitieron la obtención de los datos requeridos. Estos fueron agrupados de tal modo que permitiesen su presentación de forma tabular. Como resultado se han obtenido los elementos suficientes para la elaboración de la tabla 7.1, que se muestra y se describe a continuación.

Tabla 7.1. Resultados globales de 50 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados.

| Indicador de desempeño | | Escenario Descentr. | Escenario Centraliz. | Escenario Clúster | Indicador de desempeño | | Escenario Descentr. | Escenario Centraliz. | Escenario Clúster | | |
|--------------------------|---|---------------------|----------------------|-------------------|------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------|-------|-------|
| Agilidad del sistema | Tiempo de culminación de los procesos (ticks) | Min. | 132,00 | 101,00 | 109,00 | Confiabilidad del sistema | Tasa de cumplimiento global (%) | Max. | 87,28 | 84,76 | 85,71 |
| | | Media | 294,34 | 126,16 | 164,94 | | | Media | 77,07 | 83,74 | 84,30 |
| | | Desv. St | 240,67 | 15,08 | 33,06 | | | Desv. St | 6,53 | 0,44 | 0,62 |
| | | C. V. (%) | 81,77 | 11,95 | 20,04 | | | C. V. (%) | 8,47 | 0,52 | 0,73 |
| | % de espera de los procesos | Min. | 29,60 | 13,50 | 16,17 | Confiabilidad del sistema | Número de incumplimientos promedio | Min. | 0,85 | 0,23 | 0,46 |
| | | Media | 43,93 | 14,78 | 19,94 | | | Media | 1,92 | 0,72 | 0,85 |
| | | Desv. St | 6,11 | 0,68 | 1,56 | | | Desv. St | 0,63 | 0,19 | 0,19 |
| | | C. V. (%) | 13,90 | 4,58 | 7,83 | | | C. V. (%) | 32,87 | 26,61 | 22,06 |
| Flexibilidad del sistema | % de procesos por actor | Max. | 78,85 | 72,12 | 77,88 | Utilización de capacidades | % de utilización de los recursos | Max. | 51,77 | 37,40 | 35,49 |
| | | Media | 78,27 | 67,92 | 74,08 | | | Media | 47,24 | 33,41 | 33,19 |
| | | Desv. St | 0,70 | 2,25 | 2,04 | | | Desv. St | 1,77 | 1,24 | 1,06 |
| | | CV (%) | 0,90 | 3,31 | 2,75 | | | C. V. (%) | 3,74 | 3,72 | 3,19 |
| | Número de alternativas por proceso | Max. | 7,85 | 3,85 | 6,15 | Utilización de capacidades | % de tiempo en desocupación | Min. | 9,94 | 35,06 | 36,81 |
| | | Media | 6,80 | 3,02 | 5,25 | | | Media | 15,52 | 40,30 | 41,47 |
| | | Desv. St | 0,53 | 0,33 | 0,38 | | | Desv. St | 2,73 | 2,08 | 1,85 |
| | | C. V. (%) | 7,82 | 11,08 | 7,22 | | | C. V. (%) | 17,60 | 5,16 | 4,47 |

Como se observa en los resultados generales de la simulación, los indicadores concernientes a la agilidad del sistema en términos de los tiempos de culminación de todos los procesos, así como del tiempo de los procesos en estado de espera, son positivos para los mecanismos de coordinación implementados. Se hace evidente, que tanto la centralización del sistema como mediante el agrupamiento de actores bajo un esquema tipo clúster, se logra mejorar los indicadores de desempeño propuestos respecto del escenario descentralizado, en función de la agilidad del sistema. Igualmente, los escenarios alternativos modelados propenden por la obtención de datos más estables, en lo que a la agilidad se refiere, teniendo en cuenta la desviación estándar y los coeficientes de variación de las corridas realizadas.

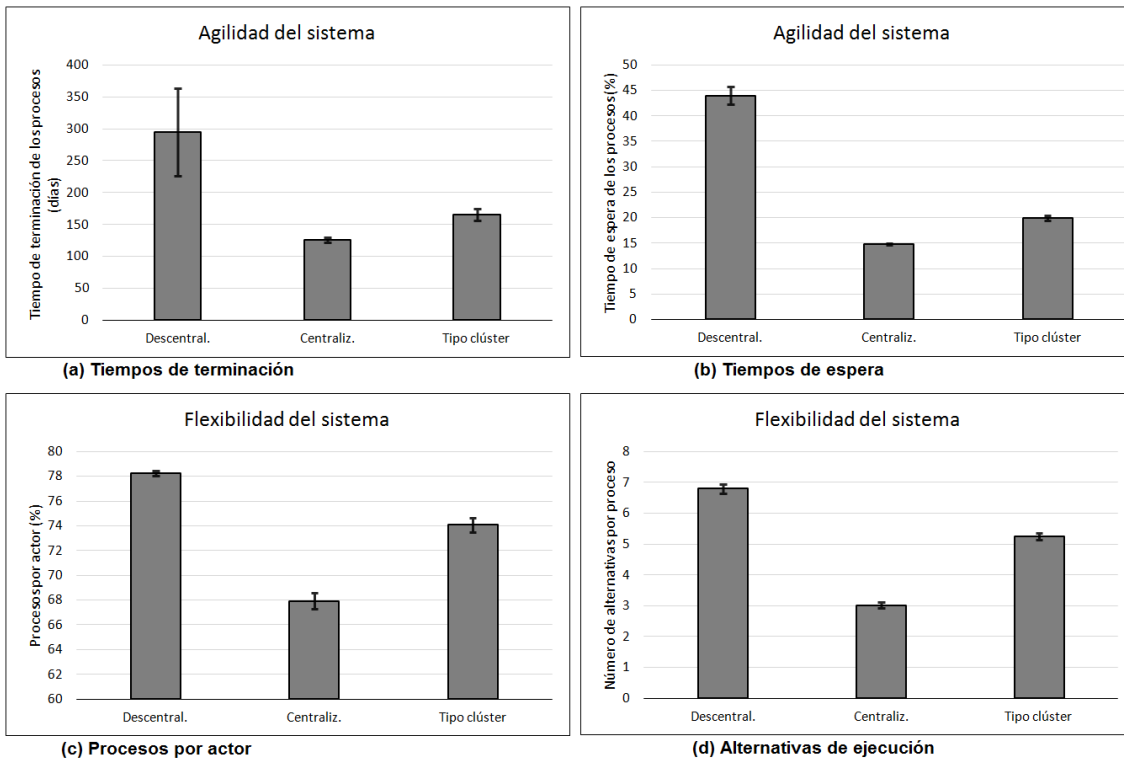
En lo que concierne a la flexibilidad del sistema, representada en el porcentaje de procesos en los que participa cada actor en promedio, y las alternativas de ejecución que poseen los procesos según la asignación de actores, se observa que ambos indicadores también

son favorables para los mecanismos de coordinación implementados (escenario centralizado y escenario basado en clúster). Este fenómeno positivo para los indicadores de desempeño de flexibilidad resulta intuitivo, puesto que la base conceptual y programática de los mecanismos sugeridos es que los actores locales se asignan al cumplimiento de los procesos de preparación de acuerdo con sus propias capacidades para aportar a los requerimientos pendientes, más que por su autonomía o perspectivas de actuación individuales. Ello desfavorece la posibilidad de actuación libre, espontánea e independiente en los términos propuestos, pero con un interés colectivo (basado en la confianza y la apertura amplia a la coordinación), se favorece la participación dirigida, concreta, estratégica, de los actores en los procesos en los que puedan tener una mejor participación y aportación según sus capacidades específicas.

Los fenómenos observados en la tabla 7.1 se complementan con la figura 7.3, la cual ha sido diseñada a partir de los datos obtenidos en el estudio de las alternativas para los indicadores concernientes a la agilidad y flexibilidad del sistema. Las barras de las figuras vienen acompañadas por su respectivo intervalo de confianza (IC), que se ha calculado según lo hecho en el trabajo de Basak y Gupta (2017), con un nivel de confianza del 95% (prueba de dos colas con $\alpha = 0,05$), según lo expresado en la ecuación (7.1).

$$IC = \bar{x} \pm t_{(1-\alpha/2;gl)} \times s/\sqrt{n}, \quad \text{con } gl = n - 1 \quad (7.1)$$

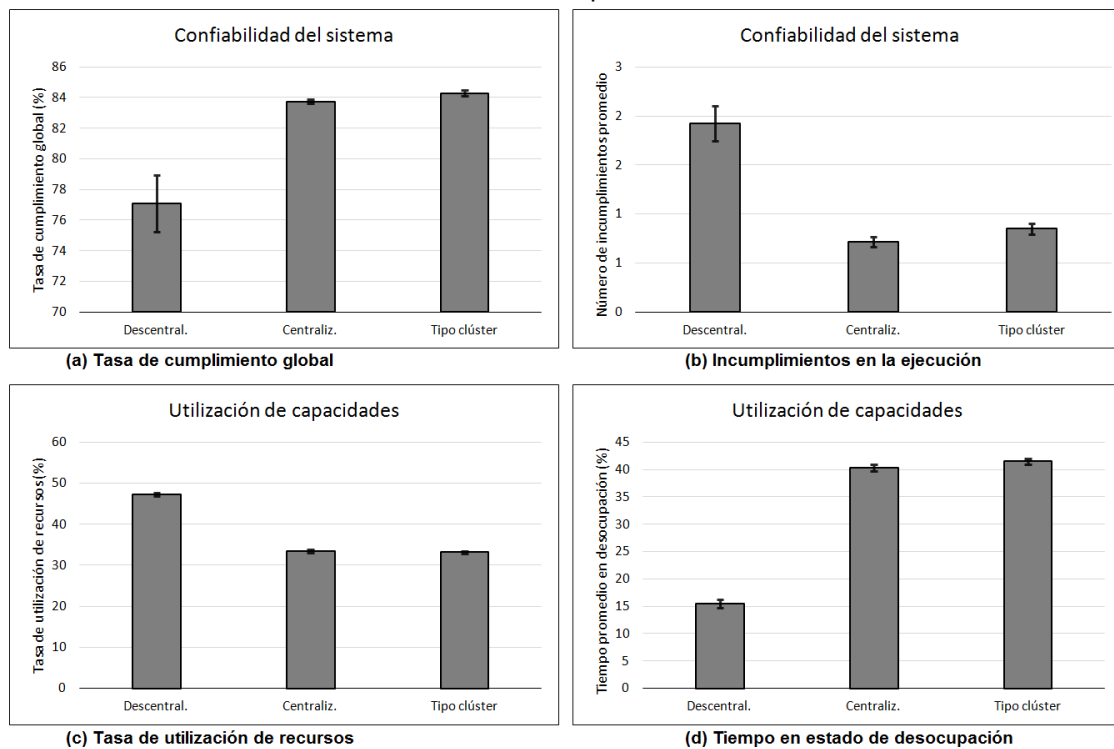
Figura 7.3. Indicadores de agilidad y flexibilidad del sistema según los escenarios modelados. Resultados para 50 corridas de simulación.



Como se evidencia en la figura 7.3a, la implementación de los mecanismos de coordinación reduce sustancialmente los tiempos de terminación de los procesos en el sistema, en casi el 50% en el escenario de clúster y en poco más del 60% en el escenario centralizado. La reducción también resulta palpable en el tiempo de espera en promedio que los procesos permanecen en estado pendiente de ejecución (figura 7.3b). En los indicadores de flexibilidad (figuras 7.3c y 7.3d) el comportamiento del sistema también se favorece con la implementación de los dos mecanismos de coordinación. El desempeño más competitivo de los escenarios alternativos respecto del escenario base (sistema descentralizado) no solo se observa gráficamente con la figura 7.3, sino que además estos escenarios poseen poca variabilidad (con base en los intervalos de confianza calculados), lo cual resulta en una ventaja adicional ofrecida por el modelo MBA consolidado.

De otra parte, los datos obtenidos de las corridas del modelo de simulación, concernientes a los indicadores de confiabilidad del sistema y utilización de capacidades, mostrados en la tabla 7.1, han sido tomados para elaborar la figura 7.4, que se muestra seguidamente, y tiene como fin complementar los resultados arrojados por el estudio de simulación.

Figura 7.4. Indicadores de confiabilidad y aprovechamiento de recursos de acuerdo con los escenarios modelados. Resultados para 50 corridas de simulación.



Como se observa en la tabla 7.1 y en la figura 7.4, en lo que respecta a la confiabilidad del sistema –tanto para el cumplimiento global como en los incumplimientos estimados de los procesos de preparación–, se han obtenido resultados que pueden considerarse favorables para la implementación de los mecanismos de coordinación, en tanto que estos escenarios muestran mejoras en el sistema respecto a los indicadores de confiabilidad. Es

patente el incremento del nivel de cumplimiento global de los procesos (figura 7.4a) en el escenario centralizado (con una media de 83,74%) y bajo el enfoque de clúster (con media 84,3%), respecto del escenario base descentralizado (media de 77,07%). Situación similar ocurre con la confiabilidad del sistema en función de los incumplimientos de los procesos. Se pone de manifiesto que, así como se incrementa el cumplimiento global, se ve reducido el número de incumplimientos promedio de los procesos de preparación (figura 7.4b), a partir de la implementación de los mecanismos de coordinación estudiados. Estas variables de salida muestran también menor volatilidad y desviación en las corridas ejecutadas en el modelo de simulación. Por su parte, el nivel de utilización de recursos por parte de los actores se ve reducido en los escenarios alternativos (ver figura 7.4c) y se evidencia un notorio incremento en el tiempo que permanecen los actores locales modelados en estado de desocupación (figura 7.4d). La causa de estos efectos del sistema se debe a que los mecanismos de coordinación implementados producen en los actores un interés por enfocar sus esfuerzos en los procesos particulares que requieren ciertas capacidades su cumplimiento. Este direccionamiento intencionado y estratégico de los actores propende no tanto por el desaprovechamiento de recursos sino por un usufructo más provechoso de las capacidades disponibles por parte de las organizaciones locales.

Como insumo adicional a los resultados presentados, el modelo ha sido programado de tal forma que exporta los indicadores de desempeño, el estado de los agentes y el comportamiento general del sistema en cada momento transcurrido (o *tick*) durante la corrida de simulación. Ello posibilita la consolidación de datos suficientes para construir series temporales para cada escenario modelado. Para esta elaboración se han escogido dos indicadores que reflejan el comportamiento individual de los actores locales. Asimismo, se ha considerado un indicador global del sistema, y otro concerniente a las condiciones particulares de los otros agentes modelados en el sistema, es decir, los procesos de preparación (que, desde el diseño del modelo conceptual, descrito en el capítulo 4, se resaltaba la intención de modelar a los procesos como agentes en el MBA). Luego se ha constituido la figura 7.5 que resume el comportamiento del sistema en un margen de 360 días (o *ticks* de simulación), lo cual busca representar el transcurso de un año real. Esto se realizó para cada uno de los escenarios analizados, que se identifican así:

- El escenario base, o centralizado, se muestra en las series temporales con la línea en color rojo.
- El escenario alternativo que implementa el mecanismo de coordinación centralizado aparece en las series temporales de la figura 7.5 en color verde.
- El escenario que implementa el mecanismo basado en clúster se identifica en color azul.

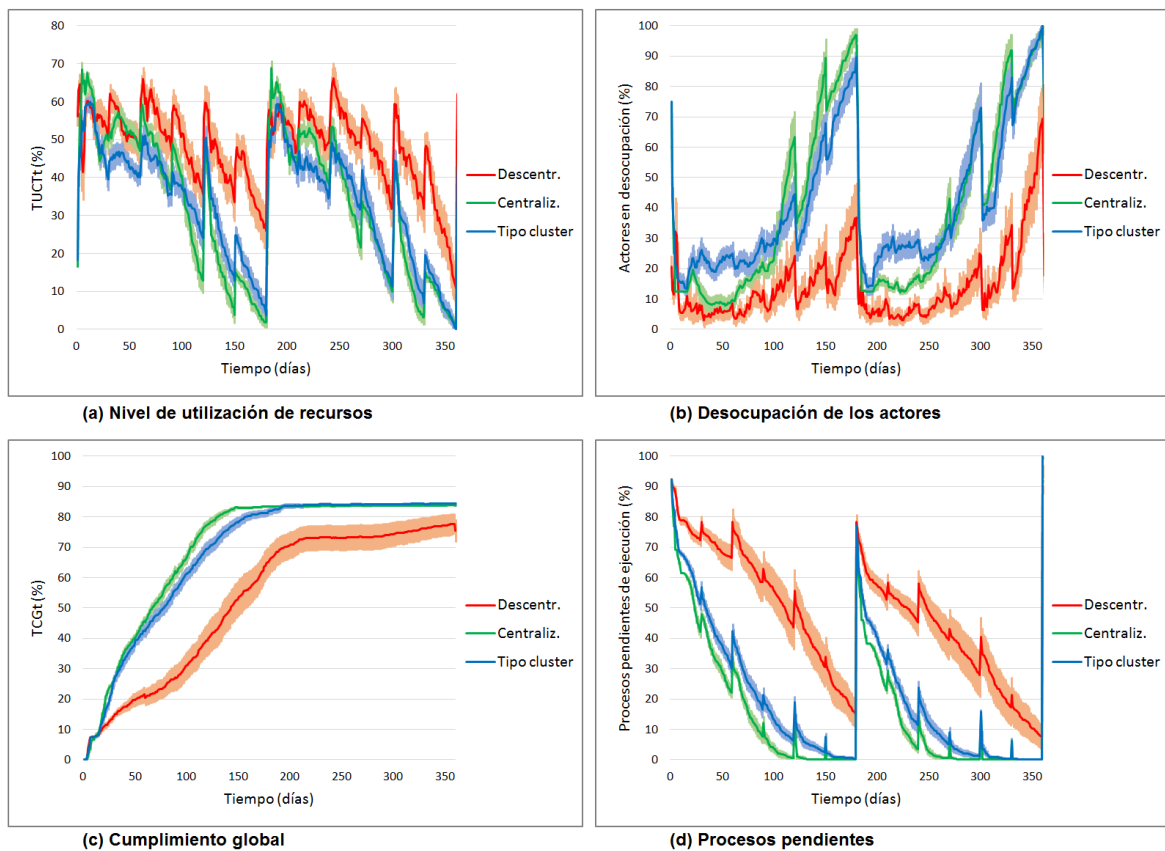
Los indicadores considerados en la elaboración de las series incluidas en los recuadros de la figura 7.5 son los siguientes:

- Nivel de utilización de los recursos de los actores locales (figura 7.5a).
- El porcentaje de actores en estado de desocupación (figura 7.5b).

- El nivel de cumplimiento global de los procesos abordados en el sistema de preparación (figura 7.5c).
- El porcentaje de los procesos de preparación que permanecen en estado pendiente de ejecución en el sistema (figura 7.5d).

Obsérvese también que cada serie de tiempo involucra los intervalos de confianza respectivos (calculados con base en la ecuación (7.1) en cada punto del tiempo), para las 50 corridas realizadas en cada escenario estudiado.

Figura 7.5. Series de tiempo para los escenarios alternativos propuestos. Resultados para 50 corridas de simulación.



En la figura 7.5a se observa cómo la utilización de recursos de los actores en los escenarios sugeridos (enfoques centralizado y clúster) resulta menor que en el escenario descentralizado. Las condiciones modeladas en la implementación de los mecanismos de coordinación generan una asignación directa y efectiva no solo respecto a los requerimientos de los procesos de preparación, sino también favorece un aprovechamiento en los recursos, las capacidades y las funciones que poseen los actores locales que componen el sistema de preparación. De allí que los actores participen en la ejecución de los procesos con una mejor utilización de recursos propios o, lo que es lo mismo, aumentar la eficiencia del sistema. En el tiempo, se observa un decrecimiento en el indicador de utilización por parte de los actores en los tres escenarios hasta el *tick* (o

día) 180. Este fenómeno se genera porque el sistema de preparación va abordando y cumpliendo los procesos de preparación según sus prioridades, lo cual reduce la demanda de recursos en el tiempo, y con ello, también se reduce la utilización de recursos por parte de los actores locales. No obstante, se observa que luego de los 180 *ticks* transcurridos, la utilización de recursos se incrementa casi a los niveles iniciales con que arrancó el modelo. Este incremento es resultante de los requerimientos y condiciones de los procesos de preparación, ya que buena parte de estos posee una frecuencia de ejecución semestral (de acuerdo con lo informado en la tabla 5.6 del capítulo quinto), por cuanto al transcurrir un semestre, algunos de los procesos de preparación que han sido ejecutados, vuelven a tener una condición pendiente de ejecución y así demandan nuevamente recursos para su cumplimiento. A partir de esta situación, los actores continúan abordando procesos según los índices de prioridad de los procesos, frente a lo cual, los mecanismos de coordinación implementados siguen mostrando mejor utilización de recursos respecto de los actores modelados, aunque como se observa en la figura 7.5a, no es evidente una diferencia clara o significativa entre los mecanismos centralizado y tipo clúster.

De otra parte, el nivel de desocupación de los actores locales se incrementa en los escenarios alternativos frente al escenario descentralizado (ver figura 7.5b). Ello sustenta la noción de que los mecanismos de coordinación propuestos favorecen la participación colectiva y estratégica de los actores locales modelados. En la medida que los actores conforman equipos de proyecto de acuerdo con el mandato del agente líder, o sea por sus mejores capacidades para cubrir cierto tipo de procesos, produce en el sistema una respuesta más ágil para atender los requerimientos que demandan los procesos modelados. Si la figura 7.5b muestra que la desocupación de actores bajo los mecanismos implementados se incrementa comparativamente al escenario descentralizado, no representa un fenómeno que implique el abandono de los procesos por parte de los actores, sino que, por el contrario, es un efecto producido en el sistema por la rápida ejecución de los procesos de preparación. Este efecto implica una posibilidad de mejorar la agilidad y rapidez del sistema local de preparación para atender los requerimientos que el sistema y los actores locales detecten en el tiempo. Igual que se comentaba antes, la frecuencia semestral de la mayoría de los procesos de preparación modelados hace que la desocupación de los actores se reduzca drásticamente una vez han transcurrido 180 *ticks* de simulación.

En lo que al cumplimiento global de los procesos de preparación se refiere (figura 7.5c), los escenarios alternativos muestran nuevamente mejor desempeño en el tiempo respecto de la estrategia de actuación descentralizada de los actores. Al inicio, los escenarios arrancan con el indicador global en cero, ya que, dentro de las suposiciones definidas para el modelo de simulación, es que el sistema de preparación arranca sin ningún tipo de ocupación de parte de los actores. En consecuencia, el indicador de cumplimiento global es creciente durante los primeros momentos de la simulación. Es este sentido, los escenarios que implementan mecanismos de coordinación tienen un crecimiento más pronunciado, su pendiente es notoriamente superior que el escenario descentralizado. Esto muestra, una vez más, la agilidad lograda en el sistema al implementar los

mecanismos propuestos. Una vez transcurridos 200 días (o *ticks* de simulación) el sistema logra un estado estable en lo que respecta al indicador de cumplimiento global. En adelante, el desempeño del sistema descentralizado no logra alcanzar los niveles de desempeño ofrecido por los escenarios alternativos. De hecho, si se acude a la tabla 7.1, la media de las 50 corridas del escenario descentralizado apenas llega al 77% de cumplimiento global del sistema, mientras que los escenarios alternativos superan el 83% del mismo indicador. Se observa igualmente en la figura 7.5c que no hay evidencia para una diferencia significativa entre el desempeño de los mecanismos de centralización y tipo clúster.

El porcentaje de procesos en estado pendiente se reduce significativamente con la implementación de los mecanismos de coordinación propuestos, respecto del escenario descentralizado (ver figura 7.5d). Como se ha mencionado, la agilidad potenciada del sistema cuando se aplican los mecanismos estratégicos de coordinación produce en los actores la disposición más organizada entre sí para abordar los procesos de mayor prioridad en el sistema, y esta agilidad potenciada produce que, en el tiempo, los procesos pendientes se aborden con mayor prontitud. Se observa que, alrededor de los días 150 y 300 de la figura 7.5d, que el sistema de preparación compuesto por los actores locales, bajo los mecanismos propuestos, logra dar cumplimiento a la totalidad de los procesos, puesto que el porcentaje de pendientes llega a cero. Lo cual no ocurre con el escenario descentralizado, pues al término de cada periodo semestral (días 180 y 360), permanecen procesos en estado 'pendiente de recursos' en el sistema. Este es otro hallazgo positivo que favorece el sustento de la implementación de mecanismos de coordinación estratégicos como los propuestos en los escenarios alternativos. También se evidencia gráficamente que los escenarios planteados poseen intervalos de confianza más pequeños (esto es, se evidencia mayor estabilidad en el sistema), aunque para este indicador particular, el escenario que implementa el mecanismo de centralización es aún mejor que el enfoque basado en clúster.

De los indicadores de desempeño discutidos hasta aquí, se puede concretar que, frente a la flexibilidad y confiabilidad del sistema, los mecanismos de coordinación propuestos ofrecen resultados positivos en términos globales del comportamiento del sistema. En el caso de la utilización de recursos y capacidades, donde se observa una aparente reducción en el desempeño individual de los actores, por sus menores niveles de utilización. Lo que se sustenta es que, colectivamente, el sistema sí mejora en términos globales; lo que sucede es que la coordinación debe propender por el mejor desempeño a nivel general, y ello implica que se pueda hacer y cumplir más, pero también hacer más con menos. El hecho de que la utilización y desocupación parezcan ser desfavorables en los mecanismos de coordinación propuestos, no quiere decir que sean estos escenarios improductivos. La clave de estas dinámicas está en un mecanismo de coordinación estratégicamente implementado, y en la posibilidad de que la coordinación de los actores en el sistema se adelante de forma organizada, no basta con utilizar más u ocuparse más. Basta con coordinar cuando se requiera: no es suficiente con manifestar voluntad de coordinación, sino buscar coordinar en los procesos y con los recursos que se requieren. Estos aspectos

que se relacionan positivamente, como los recursos organizacionales, sus niveles de utilización, los mecanismos de coordinación y el desempeño global del sistema, son factores y dinámicas consistentes con los ciclos de realimentación que se mostraron en la parte final del capítulo 4.

Las series de tiempo mostradas en la figura 7.5 permiten la constatación de la información mostrada en las figuras 7.3 y 7.4 y la tabla 7.1. No solo hay mejores resultados con los mecanismos de coordinación implementados, sino que estos ofrecen mayor estabilidad y consistencia en los datos consolidados del sistema. Como se indicó, el escenario descentralizado posee tanto menor desempeño como mayor dispersión en los datos obtenidos de la simulación. En resumen, se observa que los escenarios alternativos basados en los mecanismos de coordinación propuestos ofrecen mejor desempeño global y mayor estabilidad de los datos, incluso similares entre sí, pues no hay evidencia gráfica para determinar su diferencia.

Los efectos positivos de la coordinación en contextos de gestión de desastres y en los procesos enmarcados dentro de los sistemas logísticos de preparación y respuesta a emergencias ya han sido discutidos en la literatura especializada. Ya algunos autores han manifestado el impacto sistemático que se genera con tan solo tener un interés por coordinar y compartir recursos, pues el desempeño de los sistemas humanitarios puede mejorar significativamente (Gibbons y Samaddar, 2009; Altay y Pal, 2014; Wang y Zhang, 2019).

Con el fin de realizar un análisis comparativo de los hallazgos obtenidos en este trabajo frente a otros resultados publicados en la literatura en torno a los tópicos abordados en esta investigación, la revisión de autores seleccionados ha permitido identificar los siguientes aspectos:

- Ya se ha resaltado en la literatura, el papel que juega la preparación en el manejo de desastres y su impacto en la atención efectiva a poblaciones vulnerables (Van Wassenhove, 2006; Tomasini y Van Wassenhove, 2009; Charles y Lauras, 2011; Ozguven y Ozbay, 2015; Timperio et al., 2017). Además, otros autores (Barbarosoğlu y Arda, 2004; Rodríguez-Espíndola y Gaytán, 2015; Jahre et al., 2016; Jensen y Hertz, 2016) reconocen que estos campos específicos requieren de mayores esfuerzos investigativos. En este sentido, en el trabajo de Kunz et al. (2014) se estudia el efecto de algunas estrategias de preparación frente a los procesos de aduanas para el ingreso de recursos a un país. Estos autores diseñan un modelo de dinámica de sistemas para llevar la comparación de tres escenarios: sin preparación, con pre-posicionamiento de inventarios, y con inversión en capacidades de gestión de desastres. Los resultados de la simulación muestran que, sin preparación, se generan fuertes acumulaciones de inventario en proceso de aduana, lo cual, puede reducirse con inventario pre-posicionado o con capacidades de gestión de desastres. Con estas estrategias de preparación se alcanza una mayor cobertura y mejor nivel de servicio a las víctimas durante la fase de respuesta. Finalmente, los autores resaltan que, en términos de

costos, invertir en capacidades de gestión puede resultar mucho más económico para las organizaciones humanitarias frente a la inversión en recursos físicos de preparación, como el pre-posicionamiento de inventarios.

Los resultados obtenidos en esta tesis son consistentes con lo sugerido en la literatura, puesto que se agregan elementos de discusión y resultados que propenden por alimentar el cuerpo del conocimiento en temas relacionados con la preparación para la atención de desastres y la medición del desempeño organizacional y sistémico durante esta fase crítica dentro del proceso de gestión de desastres.

- Con fines comparativos, se han encontrado en la literatura otros trabajos enfocados en el estudio de la coordinación en la logística humanitaria. Particularmente, en los resultados de Hooshangi y Alesheikh (2018) se observa que la coordinación entre los agentes mejora el comportamiento del sistema durante la búsqueda y rescate de víctimas ante un terremoto. Por su parte, los resultados del estudio adelantado por Wang y Zhang (2019) muestran que, sin un mecanismo de coordinación, el suministro de combustible guiado por un solo actor no logra cubrir las zonas afectadas por un desastre. Estos autores infieren que un agente no puede, individualmente, cubrir toda la demanda; lo que implica que la coordinación entre los agentes es necesaria. De este modo, los autores demuestran que mecanismos de priorización de la demanda y la coordinación inter-organizacional pueden ser valiosos para el aprovisionamiento en las cadenas humanitarias y sirven como soporte a las decisiones para la distribución efectiva de ayuda humanitaria. En Zhu et al. (2018), los resultados indican que adelantar un plan de rescate cooperativo mejora el desempeño frente a planes no cooperativos. Los autores aducen un incremento en la probabilidad de supervivencia, en la tasa de supervivientes rescatados, y la reducción de los tiempos de llegada a los sitios de rescate. Estos resultados se exacerban y son más significativos cuando el número de equipos de rescate, en una zona de desastre, es pequeño. Otros autores, como Rodríguez-Espíndola et al. (2018a), muestran con sus resultados cómo la ausencia de colaboración conduce a un bajo nivel de servicio, aun cuando se tengan suficientes recursos para la atender la situación. Estos autores adelantan un estudio en México y concluyen que no hay agencia en ese país capaz de cubrir un desastre individualmente, por cuanto tener más recursos no garantiza mejores operaciones (tal como se evidenció en el análisis de sensibilidad del modelo basado en agentes presentado en el capítulo 6). Además, según afirman los autores, existe una necesidad por delegar y distribuir tareas entre distintas agencias, y ello repercute en mejoras potenciales en costo y servicio, siempre que se adopte un enfoque más sistémico.

Con base en lo expuesto, se encuentra que otros estudios ya demuestran esfuerzos académico-investigativos por estudiar el efecto de la coordinación en la logística humanitaria, aunque principalmente se ha dirigido hacia procesos concernientes a la fase de respuesta. Los resultados obtenidos del estudio de simulación son coherentes en mostrar las bondades de la coordinación en la gestión inter-organizacional. El énfasis en esta investigación es la fase *ex-ante* de la preparación, sin embargo, también se corrobora la importancia que tiene la coordinación durante las etapas previas a la ocurrencia de los desastres, así como los esfuerzos académicos por

abordar realidades y contextos poco comunes en la literatura especializada, como los latinoamericanos.

- En lo que concierne a mecanismos estratégicos de coordinación estudiados por otros autores, se encuentra que autores como Besiou et al. (2014) analizan, mediante un modelo de simulación con dinámica de sistemas, el efecto de la centralización y descentralización en programas humanitarios haciendo énfasis en el problema de la gestión de flotas y vehículos. Sus resultados indican que el mecanismo centralizado genera el menor costo total, aunque el escenario descentralizado representa la alternativa que posee mayor nivel de servicio. Aros y Gibbons (2018) analizan mecanismos de coordinación entre los actores humanitarios durante los procesos de respuesta, y encuentran que los medios de comunicación son claves para la efectividad de las operaciones. Estos autores resaltan que las reuniones inter-agencia diarias influyen significativamente en el tiempo de culminación de los procesos, así como lo hace el uso de correos electrónicos. No obstante, se halló que la dependencia a un sistema centralizado de información ralentiza la terminación de las tareas, y exigir a las organizaciones adherirse a un único mecanismo de comunicación no es eficiente, pues los escenarios simulados de este modo tuvieron mayores tiempos de respuesta. Trecarichi et al. (2010) estudian los mecanismos centralizado y descentralizado en el problema de distribución de ayuda humanitaria, pero encuentran en sus resultados que el desempeño en la distribución es similar en ambos escenarios, y que el tiempo requerido para llegar a una zona objetivo, en ambos casos, son demasiado cercanos. Como se evidencia, los mecanismos centralizado y descentralizado se han propuesto para procesos de atención de desastres, y a su vez, muestran resultados divergentes para cada caso trabajado. En lo particular, se ha encontrado en el modelo de simulación basado en agentes desarrollado en esta tesis que, en el escenario local de preparación, el mecanismo centralizado permite una mejor utilización y un desempeño global significativamente mejor que el sistema descentralizado, tal como se ha corroborado en los análisis presentados previamente.
- Respecto de los mecanismos basados en clúster, los resultados experimentales de Altay y Pal (2014) muestran que la calidad de la información compartida entre los agentes humanitarios es un factor importante en la utilización de recursos y, si el líder del clúster centraliza la información, esta se mueve más rápido y los recursos son mejor utilizados. Según los autores, tener un líder en el clúster mejora el tiempo total de los procesos en comparación con un escenario donde no lo hubiere. En el estudio de simulación de Krejci (2015) se observa una tendencia en la reducción de los costos de transporte humanitario cuando se incrementa el número de grupos coordinados en el sistema. Para la autora, cuantos más grupos en el sistema se logren conformar, más envíos agregados se realizarán y mayor eficiencia global en el sistema se alcanzará. Por su parte, Nadi y Edrisi (2017) muestran que la coordinación de las organizaciones es más productiva en ciudades pobladas y que, además, las agencias organizadas en clústeres se presentan con más frecuencia frente a escenarios no coordinados. Los autores argumentan que un sistema cooperativo es necesario para garantizar la

colaboración del equipo y con esto se incrementa la tasa de sobrevivientes en una situación de desastre. Hashemipour et al. (2018) estudian, mediante simulación, los procesos de búsqueda y rescate bajo un esquema de subasta de tareas. Sus resultados muestran que el número de clústeres conformados es un factor importante que tiene gran efecto en el desempeño. Otros hallazgos de los autores tienen que ver con el tamaño del equipo, pues cuanto mayor sea el clúster, mayor es su impacto en el desempeño. Asimismo, la capacidad de trabajar en equipo por parte de los agentes tiene un efecto positivo en los resultados. Los autores citados concluyen que la asignación de los agentes a las tareas debe hacerse en función de las habilidades y experiencias de los agentes.

En resumen, se encuentra que los autores citados en esta parte, en distintos problemas de investigación abordados, concuerdan con el efecto positivo en el desempeño de las funciones de respuesta y de rescate cuando se implementan esquemas de *clustering* para organizar las agencias involucradas. En términos particulares, en el modelo basado en agentes diseñado para esta tesis, el escenario basado en clúster logra un desempeño global mejor que el escenario descentralizado, pues se logra agrupar a las agencias humanitarias en función de sus capacidades individuales, y con ello, se incrementa la posibilidad de mejorar el nivel de utilización de recursos particulares. Se añade la posibilidad de ampliar temporalmente el tamaño del clúster, lo cual favorece la agilidad en la ejecución y el beneficio colectivo de lograr un desempeño incrementado a nivel de sistema.

- Se exponen adicionalmente algunos aportes de autores que resaltan la bondad de los modelos de simulación propuestos, en relación con la posibilidad de incrementar su implementación y utilización. En Besiou et al. (2011) se muestra cómo el modelo de dinámica de sistemas trabajado puede usarse para probar otros escenarios distintos a los allí considerados. Krejci (2015) resalta la utilidad de la simulación híbrida con modelación basada en agentes para capturar comportamientos complejos que emergen a nivel global a lo largo del tiempo de simulación. Mientras que Hooshangi y Alesheikh (2018) reconocen que la modelación basada en agentes puede simular efectivamente los comportamientos de los actores individuales, y así obtener resultados que desplieguen una tendencia general del fenómeno social, tal como acontece con la coordinación durante la gestión de emergencias.

Se encuentra, por tanto, que estos elementos de discusión son concordantes con lo logrado por el proceso de diseño y simulación del modelo basado en agentes desarrollado para este proyecto de investigación, dado que dentro de los avances alcanzados no solo está el aporte en aspectos identificados como vacíos de conocimiento (expuestos en la sección 2.3. del capítulo 2), sino también desde el producto que representa el modelo en sí mismo, direccionado hacia el sistema de preparación a nivel local para analizar la incorporación de mecanismos de coordinación inter-organizacional. Los resultados obtenidos permiten corroborar que los mecanismos examinados favorecen el desempeño global del sistema. Igualmente, el diseño del modelo permite su reconfiguración para su potencial aprovechamiento en otro tipo de estudios (desde una óptica prospectiva), sobre lo cual se discute en la

sección 8.3. del capítulo 8, en lo que respecta a futuras posibilidades de investigación generadas a partir de esta tesis.

Si bien no resulta posible hacer comparaciones numéricas entre resultados de trabajos publicados previamente frente a los resultados del MBA ofrecidos en este capítulo, en consideración de los aspectos novedosos abordados en este manuscrito, sí se logran algunas nociones consistentes, al menos en términos cualitativos, respecto de lo expuesto por los autores citados en los párrafos anteriores. Se expone así la correspondencia de los resultados obtenidos en este trabajo con otras publicaciones hechas en el ámbito de la preparación de emergencias y desastres, la coordinación inter-organizacional en la gestión de desastres, así como los mecanismos de coordinación implementados en el ámbito de la logística humanitaria.

7.3.1 Demostración de la hipótesis

Los resultados compartidos en los párrafos previos dan un indicio acerca de los indicadores de desempeño obtenidos a partir de la implementación de los mecanismos de coordinación propuestos en este estudio. Empero, resulta necesario mostrar la significancia estadística de tales diferencias, de modo que se demuestre que los escenarios alternativos ciertamente poseen mejor desempeño. Para este fin, se hace uso del método de prueba de hipótesis para la diferencia de medias, descrito en el texto de William Mendenhall. Esta prueba es válida cuando se cumple el supuesto de que las muestras analizadas provienen de distribuciones diferentes a la normal, además que las muestras son aleatorias e independientes entre sí, sus varianzas poblacionales son desconocidas, y el tamaño de cada muestra es igual o superior a 30 (Mendenhall et al., 2010).

Teniendo en cuenta las características del estudio de simulación adelantado con los escenarios propuestos (descentralizado, centralizado y basado en el enfoque clúster), se plantea el análisis estadístico de diferencia de muestras a partir de la prueba de una cola. Dado que son dos escenarios propuestos como alternativos y ocho indicadores de desempeño los comparados, el diseño de las pruebas de hipótesis por corroborar se ha planteado del modo que se resume en la tabla 7.2.

Tabla 7.2. Pruebas de hipótesis formuladas para el análisis de escenarios propuestos en el estudio de simulación.

| | Agilidad del sistema | | Flexibilidad del sistema | | Confiabilidad del sistema | | Utilización de recursos | |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | Tiempo de culminación de los procesos | % de espera de los procesos | % de procesos por actor | Número de alternativas por proceso | Tasa de cumplimiento global | Número de incumplimientos promedio | Utilización de los recursos | % de tiempo en desocupación |
| Escenario Centralizado | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 < \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 < \mu_2$ |
| Escenario tipo clúster | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 < \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 > \mu_2$ | $H_o: \mu_1 = \mu_2$ $H_a: \mu_1 < \mu_2$ |

El sentido de las hipótesis alternativas (H_a) de la tabla 7.2 se han propuesto a partir de los resultados obtenidos de la simulación y de los datos condensados de la tabla 7.1. Para determinar un parámetro de análisis, es necesario de un estadístico de prueba que reúna la información descriptiva de las muestras confrontadas. El estadístico Z se utiliza para este fin (Mendenhall et al., 2010) y se calcula mediante la ecuación (7.2):

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \tag{7.2}$$

Los parámetros \bar{x}_1 , s_1 y n_1 representan, en su orden, la media muestral, la desviación estándar y el tamaño de muestra de la simulación realizada para el escenario del sistema descentralizado. \bar{x}_2 , s_2 y n_2 representan los parámetros respectivos del segundo escenario considerado en cada prueba realizada (tanto el escenario centralizado como el escenario con el enfoque de clúster). Los valores de los parámetros muestrales, para cada uno de los indicadores de desempeño y cada escenario considerado, se toman de la tabla 7.1. A partir del procedimiento descrito, se procede a calcular cada valor de Z para las distintas pruebas contempladas en la tabla 7.2. Los cálculos obtenidos a partir de la aplicación de la ecuación (7.2) se muestran en la tabla 7.3.

Tabla 7.3. Significancia de las pruebas de hipótesis planteadas para los escenarios incluidos en el estudio de simulación.

| | Agilidad del sistema | | Flexibilidad del sistema | | Confiabilidad del sistema | | Utilización de recursos | |
|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Tiempo de culminación de los procesos | % de espera de los procesos | % de procesos por actor | Número de alternativas por proceso | Tasa de cumplimiento global | Número de incumplimientos promedio | Utilización de los recursos | % de tiempo en desocupación |
| Escenario Centralizado | 4,9315 | 33,5581 | 31,0730 | 42,6053 | -7,2083 | 12,9275 | 45,2942 | -51,0234 |
| Escenario tipo clúster | 3,7664 | 26,9260 | 13,7624 | 16,7430 | -7,7878 | 11,5217 | 48,3047 | -55,5738 |

*Significancia al 99% (teniendo un valor crítico $Z_{0,99} = 2,33$).

El valor calculado Z se debe confrontar con un valor crítico a fin de determinar la aceptación o rechazo de la hipótesis alternativa. La prueba de hipótesis para la diferencia de medias incluye un nivel de significancia, que para el caso se propone un 99% (ello implica asumir $\alpha = 0,01$). Dado que la aceptación de la hipótesis alternativa depende del valor calculado Z y del sentido en que se propone la relación entre las medias estudiadas, surgen dos criterios de aceptación que se muestran a continuación:

$$Si \begin{cases} Si H_a: \mu_1 > \mu_2, H_o \text{ se rechaza si } Z > Z_{1-\alpha} \\ Si H_a: \mu_1 < \mu_2, H_o \text{ se rechaza si } Z < -Z_{1-\alpha} \end{cases}$$

Bajo la consideración de las pruebas de hipótesis planteadas en la tabla 7.2 y de los valores Z para cada caso en la tabla 7.3, el análisis respecto del valor crítico de significancia ($Z_{1-\alpha} = Z_{0,99} = 2,33$) arroja que en cada hipótesis alternativa (para cada indicador de desempeño y para cada escenario alternativo), la diferencia encontrada es significativa. Esto es, luego de presentar y discutir los resultados de la simulación de los escenarios modelados de acuerdo con los mecanismos de coordinación implementados, las pruebas de hipótesis validan estadísticamente los análisis expuestos con anterioridad. En consecuencia, no se encuentra significancia estadística para rechazar las hipótesis sugeridas. Dicho de otro modo: existe evidencia suficiente para declarar una diferencia entre los escenarios simulados tal y como se pretendía.

El estudio de simulación desarrollado permite sustentar con significancia la hipótesis de investigación definida desde el primer capítulo de esta tesis: que los mecanismos de coordinación implementados para la integración de los actores favorecen el mejoramiento del desempeño en el sistema local de preparación para los desastres. No solo los mecanismos de coordinación inherentes al modelo propuesto (ya que se integraron métodos de compartir recursos, ejecución conjunta de tareas, información y conocimiento compartidos), sino más los mecanismos de coordinación modelados como escenarios alternativos, sugieren una estructuración organizativa distinta, a partir de una perspectiva estratégica que concentra las decisiones de los actores locales. Ello deberá estar direccionado al cumplimiento de los propósitos comunes, globales y generales, a través del trabajo colaborativo en los aspectos que mejor pueda aportar cada organización del sistema. La superación de las dificultades potenciales en la comprensión de estos principios colectivos para la efectiva implementación de los mecanismos de coordinación en los ámbitos prácticos, así como la resolución del dilema social en el contexto humanitario, serán asuntos por resolver en los entornos locales y regionales.

7.4 Conclusiones del capítulo

En los capítulos iniciales de esta tesis, y en apartados específicos como la sección 1.1. y la sección 2.2.3., se hace referencia a la problemática relevante de la coordinación inter-organizacional en el contexto de la logística humanitaria, y allí se comparten elementos que justifican su interés incremental no tanto en el sector académico como en el campo práctico. Los mecanismos de coordinación surgen como alternativas de soporte para la gestión de las relaciones e interacciones de los distintos sectores involucrados en el manejo de desastres y particularmente, también en el marco de la preparación de emergencias y desastres a nivel local. Como se observó al inicio de este capítulo, una diversidad importante de mecanismos de coordinación se ha sugerido desde los ámbitos teórico-académicos para apoyar la gestión inter-organizacional en el área humanitaria. No obstante, como se plantea en el capítulo 6, es menester la implementación de mecanismos estratégicos para abordar el sistema logístico de preparación mediante el modelo de simulación MBA desarrollado. Es así como dos alternativas de mecanismos de coordinación se definen para adelantar el estudio de simulación: uno que parte de un

escenario centralizado para las decisiones, y un segundo enfoque para la integración de los actores bajo una perspectiva de *clustering*.

La definición de escenarios alternativos ha conducido a la generación de modelos paralelos a fin de representar cada política o mecanismo de coordinación definido. Consolidados estos modelos en software, se procede con un diseño experimental con base en un número de corridas para cada uno de los escenarios. Los resultados del estudio son contundentes en el sentido que se pone de manifiesto que los escenarios propuestos con los mecanismos de coordinación logran mejorar los indicadores de desempeño del sistema logístico de preparación a nivel local, en los términos de agilidad, flexibilidad, confiabilidad y utilización de los recursos y capacidades disponibles del sistema. El reducido margen de variabilidad de los resultados arrojados por el modelo de simulación es preferible e indica que los datos obtenidos son apropiados para su análisis.

Los procesos de diseño, modelación y simulación desarrollados en el transcurso de los últimos capítulos de esta tesis, así como los resultados compartidos hasta este punto, ofrecen el sustento suficiente para indicar que se ha logrado la consecución de los objetivos general y específicos pactados para este proyecto investigativo, junto con la demostración de la hipótesis de investigación que se ha hecho con significancia, solvencia y contundencia. Puede expresarse, entonces, que los mecanismos de coordinación implementados, bajo un nivel de significancia del 99% y bajo una perspectiva estratégica con políticas definidas para la toma de decisiones y participación efectiva de los actores locales, logran mejorar el desempeño del sistema logístico de preparación. Las fortalezas de los mecanismos considerados en este estudio se basan en la posibilidad de actuación de un agente líder en el sistema, cuyo rol pragmático debe ser asumido por la entidad gubernamental local a fin de controlar y asignar la participación colectiva y coordinada de los actores inmersos en el sistema. Igualmente, se potencia el desempeño a nivel sistémico cuando los agentes se distribuyen en los procesos de acuerdo con sus capacidades individuales, esto es, se favorece la actuación especializada de los actores en función de los requerimientos y necesidades que surjan en cada ocasión. Así, la búsqueda para la implementación de estos mecanismos parte de un enfoque estratégico para la organización e inter-relación de los actores, de modo que el sistema se dirija de una manera ordenada, inteligente y estratégica respecto de los requerimientos que demandan los procesos de preparación de emergencias y desastres, con base en un esquema de actuación centralizado y especializado de parte de las organizaciones humanitarias.

Como se ha hecho patente en este estudio de simulación basado en agentes, se han obtenido resultados a partir de unos escenarios modelados y desarrollados informáticamente al integrar mecanismos de coordinación sugeridos desde el ámbito académico. Asimismo, se hizo mención acerca de la coherencia de los resultados e inferencias obtenidos a partir del estudio de simulación con otros trabajos publicados en torno a la gestión de desastres, aunque los resultados de esta tesis son novedosos dado que se enmarcan en la fase previa de preparación. La demostración de la hipótesis de investigación ha quedado resuelta, al menos desde lo conceptual y teórico. Análisis y

estudios complementarios serán por tanto necesarios para llevar estas nociones al campo de lo pragmático, de tal manera que se logre una comunicación asertiva y efectiva. Esto conduciría al inicio de proyectos estratégicos y alianzas colaborativas. A partir de lo anterior, el mejoramiento del desempeño de la región abordada en este proyecto podría vislumbrarse respecto de los procesos de preparación que localmente se llevan a cabo en el marco del manejo de emergencias y desastres causados por fenómenos hidrometeorológicos.

8. Capítulo octavo: Conclusiones

La perspectiva metodológica adelantada en los capítulos precedentes permite la obtención de resultados y aportes valiosos de cara a las preguntas, hipótesis y objetivos de investigación definidos para esta tesis doctoral. A partir de ello, es procedente expresar algunos elementos concluyentes en lo que al proyecto de investigación se refiere. Se comparten a continuación algunas conclusiones sobre las metodologías aplicadas y los resultados obtenidos en cada fase de la investigación, algunas perspectivas teóricas y prácticas en torno al campo de estudio abordado, así como la determinación de los factores de limitación del estudio y las perspectivas para posibles trabajos e investigaciones futuras.

8.1 Conclusiones generales y particulares de la investigación

El problema de investigación abordado reconoce algunos elementos característicos en la gestión de desastres. Particularmente, el contexto de los desastres viene marcado por diversos aspectos que conducen a un ambiente de alta complejidad, por ejemplo, por las condiciones de alta incertidumbre e impredecibilidad en la ocurrencia de los desastres, especialmente durante la fase de preparación. Se cuenta también con la participación de distintos sectores involucrados en los procesos de preparación y atención de desastres, lo cual genera una preocupación adicional: la gestión de las relaciones y la coordinación interorganizacional. Bajo el reconocimiento de estas problemáticas se ha propuesto la ejecución de un proyecto investigativo que aborde dichas consideraciones en un contexto local. Así, se propone como idea general de investigación, estudiar cómo los mecanismos de coordinación permiten mejorar el desempeño del sistema logístico local circunscrito en la fase de preparación. El reconocimiento de la problemática descrita ha conllevado un diseño de investigación (presentado en el capítulo 1) compuesto por la proposición de unas preguntas, hipótesis y objetivos particulares de investigación, de todo lo cual se desprendió un diseño metodológico de múltiples enfoques para la consecución de los objetivos definidos.

En concordancia con los aspectos soportados en Jahre et al. (2016), la fase de la preparación viene enmarcada en tres aspectos principales: los actores involucrados, los procesos de preparación, y los recursos disponibles para su cumplimiento. A partir de esta premisa, una primera aproximación a los actores y procesos inmersos en la preparación

de emergencias y desastres se logró con base en la revisión de literatura especializada, que también fue útil para la consolidación del marco teórico de la investigación (capítulo 2). La consolidación y selección de los actores locales clave, y los procesos críticos de preparación, así como la definición de las principales métricas de desempeño se realizó gracias al diseño de una encuesta dirigida a expertos académicos del campo teórico de interés (capítulo 3). Con base en estos hallazgos, se procede al diseño de un modelo de simulación basado en agentes (visto en los capítulos 4 y 6), que incluye los actores locales y procesos de preparación con sus respectivas capacidades y demandas para la consideración del sistema logístico local de preparación. Dicho modelo posee la ventaja de reunir datos y aspectos de un entorno práctico tomado de un caso real, que se ha estudiado a partir de entrevistas con funcionarios de las organizaciones locales responsables de la gestión de desastres (capítulo 5).

El desarrollo *in silico* del modelo de simulación ha sido verificado y validado con hallazgos de relevancia, cuyos resultados intuitivos y contraintuitivos muestran cómo el desempeño del sistema se incrementa si los individuos actúan colectivamente persiguiendo propósitos globales en lugar de perseguir intenciones particulares. En este sentido, no resulta preciso que los individuos que hagan parte de un sistema busquen la posesión incontrolada de todos los recursos disponibles o que busquen abarcar todas las operaciones con su presencia y acción. Ello no es sano para el sistema, y se mostró que, con tan solo coordinar en su participación, se logran resultados significativos a nivel global. Una vez el modelo MBA fue consolidado, se procedió a la generación de escenarios alternativos con base en mecanismos de coordinación estratégicos para indagar respecto de su impacto sobre el desempeño del sistema. Así, los mecanismos de centralización y basado en clúster se han implementado en el modelo para su experimentación. Y no se ha fallado al intentar buscar significancia (como se vio en el capítulo 7), pues los resultados arrojados en el proceso experimental ofrecen sustento para la hipótesis de investigación. Así, la experimentación, reconocida como una técnica basada en el método científico propuesto desde los tiempos de Galileo, es el medio utilizado para confirmar la hipótesis: la implementación de mecanismos de coordinación en el sistema conformado por los actores locales clave permite mejorar el desempeño de la cadena logística humanitaria durante los procesos logísticos de preparación de emergencias y desastres.

La investigación adelantada ha hecho uso y aplicación de los enfoques cualitativo y cuantitativo de las metodologías de investigación. Esta perspectiva de desarrollo mixto concuerda con otras publicaciones (Golicic et al., 2005; Hernández-Sampieri et al., 2014; Aros y Gibbons, 2018), donde se resalta la importancia de implementar enfoques diversos en propuestas versátiles, donde las preguntas de investigación no puedan ser resueltas bajo un solo enfoque, y a su vez, debe haber un ir y venir desde las dos ópticas investigativas. Esta investigación sustenta su rigor científico, en línea con lo argumentado por Eco (2001), en tanto que versa sobre un problema reconocible, suministra elementos de verificación de la hipótesis de investigación, al igual que busca ser útil a otras partes interesadas. Una de las principales fuentes de este estudio ha sido la teoría, y esta ha servido de faro a la acción investigativa desarrollada; asimismo, la metodología

desarrollada ha sido el medio utilizado para reforzar la teoría estudiada. Al respecto, Shoham y Leyton-Brown (2008) sostienen que la estructura de un sistema complejo de múltiples agentes debe considerar la manera en que deben actuar y comportarse sus individuos a través de reglas de acción, por lo que la solución al dilema social de un sistema se logra si los individuos resuelven sus conflictos particulares y se comportan de forma cooperativa y colaborativa para alcanzar los propósitos comunes y el bienestar colectivo.

El cumplimiento de los objetivos específicos ha sido satisfactorio de cara al logro del objetivo general de la investigación. El proceso de revisión y acompañamiento de expertos académicos permitieron consolidar los principales elementos que constituyen el sistema logístico de preparación para la atención de desastres a nivel local. Este resultado particular no resultaba posible encontrarlo explícitamente, por cuanto se convierte en un aporte relevante de la investigación. El diseño, desarrollo y validación de un modelo de simulación basado en agentes, implica un aporte novedoso de carácter teórico, ya que las condiciones que enmarca el MBA en términos de la fase de preparación, los actores locales y los datos tomados de un contexto real, son inéditos respecto de los numerosos estudios precedentes que se revisaron previamente. El diseño experimental realizado durante la simulación da cuenta del mejoramiento del desempeño global al implementar mecanismos de coordinación en la estrategia de integración entre los agentes inmersos en el sistema. Así, la hipótesis de la investigación ha sido corroborada y demostrada con significancia estadística.

Los aportes teóricos de la investigación se sustentan en la hipótesis planteada para ella. Con base en los resultados de simulación obtenidos, se manifiesta que la implementación de mecanismos de coordinación en el sistema conformado por los actores locales permite mejorar el desempeño de la cadena logística humanitaria durante los procesos de preparación de emergencias y desastres. Se evidencian también aportes de carácter teórico respecto de los vacíos de conocimiento descritos en el marco teórico de esta tesis –y particularmente los mostrados a través de la tabla 2.8–, pues el desarrollo de la investigación ha implicado estudiar diversas áreas de interés en el campo de la logística humanitaria. De este modo se han abordado tópicos sobre la preparación logística para la atención de desastres, la gestión del desempeño durante la fase de preparación, los actores locales y el aspecto de las decisiones a nivel local, la coordinación inter-organizacional, y los métodos de simulación de sistemas complejos en el contexto humanitario, sobre los cuales existe una necesidad manifiesta para avanzar en los esfuerzos académico-científicos. Lo que ha pretendido esta investigación es profundizar en el análisis de estos aspectos de interés investigativo e importancia práctica y real. El cumplimiento de los objetivos de la investigación ha permitido vislumbrar hallazgos y resultados que conducen a alimentar la perspectiva teórica de las diversas y amplias áreas de investigación que comprenden la logística humanitaria.

El modelo basado en agentes diseñado, descrito y estudiado a lo largo de esta tesis es un aporte y un producto significativo. Tanto el estudio de escenarios como el proceso de simulación se han hecho a partir del MBA diseñado. El modelo conceptual es el principal

instrumento diseñado a partir de los aportes teóricos y hallazgos prácticos para sustentar el método de comprobación de la hipótesis de investigación. Dado que son los ingenieros quienes hacen uso de modelos para descubrir, estudiar y comprender sistemas reales y complejos (Krick, 1979; Olaya, 2012b), el modelo MBA se presenta como un aporte sustancial de esta investigación, y junto con la discusión adelantada en este manuscrito, todo ello representa una contribución al campo de la Ingeniería.

El interés práctico de esta investigación debe estar dirigido a las entidades territoriales, organizaciones humanitarias, tomadores de decisión, y en general, a todos los actores y sectores involucrados en los sistemas de gestión de desastres. Los escenarios alternativos sugeridos resaltan el papel crítico y de liderazgo que debe cumplir el gobierno local en lo que al control y asignación de funciones especializadas de los demás actores se refiere. La coordinación estratégica sugerida para la actuación conjunta de las organizaciones involucradas en el sistema debe propender por la versatilidad y flexibilidad como principios esenciales del desempeño, pero además debe consolidarse una estructura organizada, estratégica y holística, de modo que se logre el mayor aprovechamiento de las capacidades y recursos organizacionales. Si los decisores en campo basan sus actuaciones en la experiencia y la intuición, debe alertarse que estos dos aspectos no son suficientes para la gestión estratégica de problemas dinámicos y complejos, según se arguye en Besiou et al. (2011). Al respecto, el acercamiento del sector académico debe ser impostergable. Se busca que las decisiones estratégicas en la preparación logística de emergencias y desastres se asuman bajo criterios técnicos y rigurosos soportados desde el campo de la Ingeniería. No se sugiere que la modelación y simulación basada en agentes sea el método de solución a todos los problemas humanitarios –o de la humanidad–, pero sí se sugiere que el involucramiento del sector académico y la voluntad de colaboración del sector práctico deben estar dirigidas a su acción conjunta a fin de identificar y solucionar problemas complejos en contextos reales (Galindo y Batta, 2013; Aros y Gibbons, 2018; Langellier et al., 2019). Se pretende, por tanto, imbuir a los sectores y reducir las brechas que todavía perduran entre los desarrollos teóricos e investigativos y las necesidades reales que deben suplirse en los contextos pragmáticos de la gestión pública y la protección de las comunidades.

En lo particular, esta investigación busca que la gestión de emergencias y desastres y la protección de las comunidades dejen de ser un asunto errante e itinerante en los entornos decisionales locales. En lo global, lo que quiere manifestarse es que la Ingeniería, y los ingenieros, deben aunar sus esfuerzos para concentrarse en la solución de los principales dramas en los que se debate la humanidad y todos los ecosistemas del planeta: los fenómenos de cambio climático, la destrucción vertiginosa del medio ambiente, la seguridad alimentaria, la pobreza extrema, el uso social de la tierra, la desigualdad en la humanidad, las acciones bélicas indiscriminadas, y en general, la violencia.

8.2 Limitaciones de la investigación

En torno a las limitaciones evidenciadas durante el desarrollo de este proyecto investigativo, estas se representan en los aspectos que han sido definidos para delimitar el alcance mismo de la investigación. Entre la más relevantes, se resalta el tipo de fenómenos considerados en el estudio. Como se argumentó en el capítulo 2, los desastres asumidos fueron aquellos que se causan a partir de fenómenos hidrometeorológicos (que involucra eventos como crecientes súbitas, lluvias torrenciales y deslizamientos). De otro lado, la investigación se centró en la fase de preparación en el marco de la gestión de desastres, lo cual implica que los procesos que conciernen a las demás fases del manejo de desastres (es decir, la respuesta y la recuperación) no fueron asumidos en este trabajo.

En lo que atañe a los niveles decisionales, el proyecto se limitó al nivel local de la gestión para el desarrollo metodológico de la tesis. Esto es, los actores que tienen influencia y participación en un nivel nacional e, inclusive, internacional, no fueron incluidos para la modelación y simulación. Al respecto, el sistema local solo asumió los actores de mayor relevancia para su análisis, como se expuso en el capítulo 3. El estudio de expertos favoreció la selección de los actores locales clave, pero por fuera del estudio quedaron sectores como los académicos, la empresa privada, y la participación otros agentes que representan comunidades locales. Por su parte, el tipo de modelo diseñado y desarrollado (MBA) no resulta la única opción como enfoque de simulación, por lo que alternativas como la simulación de eventos discretos, la dinámica de sistemas, y métodos matemáticos y de optimización fueron descartados como opción metodológica para la ejecución del proceso de modelación. Al respecto, el modelo de simulación aparece como medio para estudiar el sistema y analizar escenarios alternativos para la incorporación de políticas estratégicas que propendan por el mejoramiento de su desempeño global. Dicho esto, cabe mencionar que la experimentación y sus resultados son un aporte de este trabajo, pero el modelo también lo es; con el modelo se soporta la experimentación y mediante esta última se genera conocimiento y rigor científico.

Por último, es menester manifestar que el modelo diseñado, como cualquier otro modelo, posee limitaciones y abstracciones respecto del sistema real asumido en este estudio. En este sentido, el diseño del modelo cuenta con una serie de suposiciones para su elaboración, implementación y ejecución, los cuales también están relacionados con la información obtenida a partir del trabajo de campo hecho en el caso de estudio. Dichas presunciones han sido puestas de manifiesto a lo largo de los capítulos 4 y 5 de esta tesis.

8.3 Orientaciones para el trabajo posterior

Si bien el proyecto desarrollado en el transcurso de los capítulos que componen este manuscrito posee tanto limitaciones como alcances estrechos, esta condición supone para el proyecto una dirección y propósitos muy concretos que han sido cumplidos a satisfacción, con una hipótesis verificada desde lo estadístico con una alta significancia. Como consecuencia, las posibilidades de ampliar el alcance investigativo y proponer líneas

estratégicas de investigación, se basan principalmente en las limitaciones expuestas en el apartado inmediatamente anterior. Pueden establecerse dos corrientes principales como oportunidades para el trabajo futuro:

Desde la perspectiva teórica y académica

Se puede hacer uso del modelo para incrementar su potencial de aplicación en otros estudios de simulación. Como ejemplo, se pueden estudiar procesos de preparación para otros tipos de eventos de desastres distintos de los considerados en este trabajo, ya sean fenómenos naturales o antropogénicos. Igualmente, podría adaptarse el modelo MBA para ser utilizado en el estudio de otras fases del manejo de desastres, como la respuesta inmediata, o la fase de recuperación de desastres. Las características y ventajas del enfoque de simulación basado en agentes permitirían lograr este tipo de adaptaciones. Por otro lado, dadas las condiciones de complejidad inmersas en el ámbito humanitario y de la preparación para la atención de desastres, debe vislumbrarse la posibilidad de abordar los problemas logísticos de la gestión de desastres mediante otras perspectivas de simulación, como la dinámica de sistemas y el enfoque de los sistemas complejos. Estas alternativas metodológicas podrán ser de suma utilidad en investigaciones futuras.

Desde el ámbito práctico de los procesos investigativos

Debe reconocerse la oportunidad que conlleva la aplicación de este tipo de herramientas en entornos reales y locales de la gestión de desastres. La tarea radicará no tanto en el acercamiento efectivo como en la apropiación e interés de los principales actores interesados en estas problemáticas: el papel de los gobiernos locales será fundamental para el mejoramiento de los sistemas locales y regionales en la gestión del riesgo de desastres. Por supuesto, la participación de otros sectores incrementará las posibilidades de éxito, a través de una incorporación organizada y estratégica, sean estos actores de comunidades locales, empresas provenientes del sector privado, las facultades académicas, incluso actores con un nivel decisonal más amplio (quizás desde lo nacional o internacional). Lo anterior, no justificará su incursión solo por su interés *per se*. Como se manifestó, no basta solo con tener recursos o intención de coordinar, sino que se deben implementar estrategias de integración efectivas, mecanismos de coordinación apropiados para favorecer el aprovechamiento de recursos y el mejoramiento global de los sistemas logísticos locales. El ámbito de la logística humanitaria (más allá de la coordinación y la preparación para los desastres) es ciertamente complejo y está plagado de desafíos presentes y futuros. Es claro que su discusión continúa abierta y la consideración explícita de políticas integrales seguirá siendo una tarea pendiente, y en especial, en los países de la gran región de la América Latina.

9. Fuentes de referencia

- Abidi, H., & Scholten, K. (2015). Applicability of Performance Measurement Systems to Humanitarian Supply Chains. En Klumpp, M., de Leeuw, S., Regattieri, A., & de Souza, R. (Eds.), *Humanitarian Logistics and Sustainability*. Cham: Springer. pp. 235-260. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_13
- Acimovic, J., & Goentzel, J. (2016). Models and metrics to assess humanitarian response capacity. *Journal of Operations Management*, 45, 11-29. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2016.05.003>
- Afsar, H. M., Prins, C., & Santos, A. C. (2014). Exact and heuristic algorithms for solving the generalized vehicle routing problem with flexible fleet size. *International Transactions in Operational Research*, 21 (1), 153-175. Doi: <https://doi.org/10.1111/itor.12041>
- Afshar, A., & Haghani, A. (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46 (4), 327-338. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2011.12.003>
- Akhtar, P., Marr, N. E., & Garnevska, E. V. (2012). Coordination in humanitarian relief chains: chain coordinators. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2 (1), 85-103. Doi: <https://doi.org/10.1108/20426741211226019>
- Aksu, D. T., & Ozdamar, L. (2014). A mathematical model for post-disaster road restoration: Enabling accessibility and evacuation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 61, 56-67. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.10.009>
- Allen, T. T. (2011). *Introduction to Discrete Event Simulation and Agent-based Modeling: Voting Systems, Health Care, Military, and Manufacturing*. Londres: Springer.
- Altay, N., & Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175 (1), 475-493. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.016>
- Altay, N., & Pal, R. (2014). Information Diffusion among Agents: Implications for Humanitarian Operations. *Production and Operations Management*, 23 (6), 1015-1027. Doi: <https://doi.org/10.1111/poms.12102>
- Anaya-Arenas, A. M., Renaud, J., & Ruiz, A. (2014). Relief distribution networks: a systematic review. *Annals of Operations Research*, 223 (1), 53-79. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1581-y>
- Anjomshoae, A., Hassan, A., Kunz, N., Wong, K. Y., & de Leeuw, S. (2017). Toward a dynamic balanced scorecard model for humanitarian relief organizations' performance

- management. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 7 (2), 194-218. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-01-2017-0001>
- Arnette, A. N., & Zobel, C. W. (2019). A Risk-Based Approach to Improving Disaster Relief Asset Pre-Positioning. *Production and Operations Management*, 28 (2), 457-478. Doi: <https://doi.org/10.1111/poms.12934>
- Aros, S. K., & Gibbons, D. E. (2018). Exploring communication media options in an inter-organizational disaster response coordination network using agent-based simulation. *European Journal of Operational Research*, 269 (2), 451-465. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.013>
- Bae, J. W., Shin, K., Lee, H. R., Lee, H. J., Lee, T., Kim, C. H., Cha, W. C., Kim, G. W., & Moon, I. C. (2018). Evaluation of Disaster Response System Using Agent-Based Model With Geospatial and Medical Details. *IEEE Transactions on Systems Man Cybernetics-Systems*, 48 (9), 1454-1469. Doi: <https://doi.org/10.1109/TSMC.2017.2671340>
- Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 11 (2), 101-121. Doi: <https://doi.org/10.1080/13675560701561789>
- Balcik, B., Beamon, B. M., Krejci, C. C., Muramatsu, K. M., & Ramirez, M. (2010). Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. *International Journal of Production Economics*, 126 (1), 22-34. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.09.008>
- Baldini, G., Oliveri, F., Braun, M., Seuschek, H., & Hess, E. (2012). Securing disaster supply chains with cryptography enhanced RFID. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 21 (1), 51-70. Doi: <https://doi.org/10.1108/09653561211202700>
- Banco Mundial. (2012). Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Banco Mundial Colombia, Bogotá. Disponible en <http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf> Consultado: 30. Sep. 2020.
- Banomyong, R., & Julagasigorn, P. (2017). The potential role of philanthropy in humanitarian supply chains delivery: the case of Thailand. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 7 (3), 284-303. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-05-2017-0017>
- Barbarosoğlu, G. & Arda, Y. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*, 55 (1), 43-53. Doi: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601652>
- Basak, B. A., & Gupta, S. (2017). Developing an agent-based model for pilgrim evacuation using visual intelligence: A case study of Ratha Yatra at Puri. *Computers Environment and Urban Systems*, 64, 118-131. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.006>
- Beamon, B. M., & Balcik, B. (2008). Performance measurement in humanitarian relief chains. *International Journal of Public Sector Management*, 21 (1), 4-25. Doi: <https://doi.org/10.1108/09513550810846087>
- Besiou, M., Pedraza-Martinez, A. J., & Van Wassenhove, L. N. (2014). Vehicle Supply Chains in Humanitarian Operations: Decentralization, Operational Mix, and Earmarked

- Funding. *Production and Operations Management*, 23 (11), 1950-1965. Doi: <https://doi.org/10.1111/poms.12215>
- Besiou, M., Stapleton, O., & Van Wassenhove, L. N. (2011). System dynamics for humanitarian operations. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1 (1), 78-103. Doi: <https://doi.org/10.1108/20426741111122420>
- Bharandev, S., Mukul Ali, S. K., & Sindhu. (2016). Logistics Planning in Natural Disasters. En Sahay, B. S., Gupta, S., & Menon, V. C. (Eds.), *Managing humanitarian logistics*. Nueva Delhi: Springer. pp. 23-31. Doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2416-7_2
- BID. (2002). An improbable city. Inter-American Development Bank, Washington. Disponible en <https://www.iadb.org/en/news/webstories/2002-03-01/an-improbable-city%2C8310.html>. Consultado: 30. Sep. 2020.
- Blome, C., Tobias, S., & Dominik, E. (2014). The impact of knowledge transfer and complexity on supply chain flexibility: A knowledge-based view. *International Journal of Production Economics*, 147, 307-316. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.02.028>
- Bohtan, A., Vrat, P., & Vij, A. K. (2016). Peculiarities of Disaster Management in a High-Altitude Area. En Sahay, B. S., Gupta, S., & Menon, V. C. (Eds.), *Managing humanitarian logistics*. Nueva Delhi: Springer. pp. 273-296. Doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2416-7_19
- Borshchev, A., & Filippov, A. (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*. Oxford, Inglaterra, Julio 25-29 2004, pp. 1-23.
- Brito Jr., I., Rosis, C. H. V., Carneiro, P. V., Leiras, A., & Yoshizaki, H. T. Y. (2014). Proposal of a natural disaster training program by considering the previous victims' profile. *Ambiente & Sociedade*, 17 (4), 153-176. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1092V1742014>
- Burnard, K., & Bhamra, R. (2011). Organisational resilience: development of a conceptual framework for organisational responses. *International Journal of Production Research*, 49 (18), 5581-5599. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.563827>
- Campos, A., Mossbrucker, H., & Karremans, J. (2009). La gestión local del riesgo en una ciudad andina: Manizales, un caso integral, ilustrativo y evaluado. Lima, Perú: Editorial Secretaría General de La Comunidad Andina. Disponible en <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19760>. Consultado: 2. Oct. 2020.
- Cardona, O. D. (2006). A System of Indicators for Disaster Risk Management in the Americas. En Birkmann, J. (Ed.), *Measuring Vulnerability to Natural Hazards—Towards Disaster Resilient Societies*. Tokyo, Nueva York, París: UNUPress. pp. 189-209.
- Castrillón, O. D., Giraldo, J. A., & Sarache, W. (2009). Técnicas de programación de la producción: aplicación en ambientes job shop. Manizales: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Caunhye, A. M., Zhang, Y., Li, M., & Nie, X. (2016). A location-routing model for prepositioning and distributing emergency supplies. *Transportation Research Part E*:

- Logistics and Transportation Review*, 90, 161-176. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.10.011>
- Cepeda-Susatama, K. D., Durango-Ruiz, K. A., & Bohórquez-Arévalo, L. E. (2017). Modelación y simulación en agentes como alternativa para el estudio de las organizaciones empresariales. *Ingeniería Solidaria*, 13 (22), 103-119. Doi: <https://doi.org/10.16925/in.v13i22.1838>
- Chakravarty, A. K. (2014). Humanitarian relief chain: Rapid response under uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 151 (1), 146-157. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.10.007>
- Chan, H. K., & Chan, F. T. S. (2010). A review of coordination studies in the context of supply chain dynamics. *International Journal of Production Research*, 48 (10), 2793-2819. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207540902791843>
- Charbonneau, D., Dornhaus, A. (2015). When doing nothing is something. How task allocation strategies compromise between flexibility, efficiency, and inactive agents. *Journal of Bioeconomics*, 17, 217-242. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10818-015-9205-4>
- Charles, A. (2010). Improving the design and management of agile supply chains: feedback and application in the context of humanitarian aid. Tesis Doctoral. Université de Toulouse, Toulouse (Francia).
- Charles, A., & Lauras, M. (2011). An enterprise modelling approach for better optimisation modelling: application to the humanitarian relief chain coordination problem. *OR Spectrum*, 33 (3), 815-841. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0255-2>
- Charles, A., Lauras, M., Van Wassenhove, L. N., & Dupont, L. (2016). Designing an efficient humanitarian supply network. *Journal of Operations Management*, 47-48, 58-70. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2016.05.012>
- Chong, M., Lazo, J. G., Pereda, M. C., & Machuca, J. M. (2019). Goal programming optimization model under uncertainty and the critical areas characterization in humanitarian logistics management. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 9 (1), 82-107. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-04-2018-0027>
- Collins, A. J., & Frydenlund, E. (2016). Agent-based modeling and strategic group formation: a refugee case study. En *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*. Arlington, USA, 11-14 Diciembre 2016, pp. 1289-1300. Doi: <https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822184>
- Connelly, E. B., Lambert, J. H., & Thekdi, S. A. (2016). Robust Investments in Humanitarian Logistics and Supply Chains for Disaster Resilience and Sustainable Communities. *Natural Hazards Review*, 17 (1), Número de artículo: 04015017, 11 páginas. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000187](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000187)
- Córdova, C. A. (2007). Consideraciones sobre metodología de la investigación. Centro de Estudios sobre Cultura e Identidad, Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín, Cuba. Disponible en <https://studylib.es/doc/3172532/consideraciones-sobre-metodologia-de-la-investigacion>. Consultado: 16. Oct. 2018.
- Corpocaldas. (2013). Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chinchiná en el departamento de Caldas – POMCA Chinchiná. Corporación

- Autónoma Regional de Caldas, Manizales. Disponible en [http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1508/1-SintesisPOMCARioChinchina .pdf](http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1508/1-SintesisPOMCARioChinchina.pdf). Consultado: 9. Abr. 2017.
- Cotes, N., & Cantillo, V. (2019). Including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics. *Socio-Economic Planning Sciences*, 65, 89-100. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.03.002>
- Cozzolino, A. (2012). *Humanitarian Logistics: Cross-Sector Cooperation in Disaster Relief Management*. Nueva York: Springer.
- Cozzolino, A., Wankowicz, E., & Massaroni, E. (2017). Logistics service providers' engagement in disaster relief initiatives: An exploratory analysis. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 9 (3-4), 269-291. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJQSS-04-2017-0040>
- Crooks, A. T., & Wise, S. (2013). GIS and agent-based models for humanitarian assistance. *Computers Environment and Urban Systems*, 41, 100-111. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.05.003>
- Cruz, M., & Martínez, M. C. (2012). Perfeccionamiento de un instrumento para la selección de expertos en las investigaciones educativas. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 14 (2), 167–179.
- Cruz-Castro, O., Vertiz-Camaron, G., & Apolonio-Oro, S. (2019). Third and fourth-party logistics providers groups formation focused on humanitarian logistics in the face of coastal flooding. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 10 (1), 32-40.
- Dalkey, N. (1969). The Delphi method: An experimental study of group opinion. *Futures*, 1 (5), 408-426. Doi: [http://doi.org/10.1016/S0016-3287\(69\)80025-X](http://doi.org/10.1016/S0016-3287(69)80025-X)
- DANE. (2020). Colombia – Censo Nacional de Población y Vivienda – CNPV – 2018. Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Bogotá. Disponible en <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#/>. Consultado: 30. Oct. 2020.
- Das, R. (2018). Disaster preparedness for better response: Logistics perspectives. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 153-159. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.05.005>
- Das, R., & Hanaoka, S. (2014). An agent-based model for resource allocation during relief distribution. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 4 (2), 265-285. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2013-0023>
- Davis, L. B., Samanlioglu, F., Qu, X., & Root, S. (2013). Inventory planning and coordination in disaster relief efforts. *International Journal of Production Economics*, 141 (2), 561-573. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.09.012>
- Day, J. M. (2014). Fostering emergent resilience: the complex adaptive supply network of disaster relief. *International Journal of Production Research*, 52 (7), 1970-1988. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.787496>
- Day, J. M., Melnyk, S. A., Larson, P. D., Davis, E. W., & Whybark, D. C. (2012). Humanitarian and disaster relief supply chains: a matter of life and death. *Journal of Supply Chain Management*, 48 (2), 21-36. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2012.03267.x>

- De Leeuw, S., Vis, I. F. A., & Jonkman, S. N. (2012). Exploring Logistics Aspects of Flood Emergency Measures. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 20 (3), 166-179. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1468-5973.2012.00667.x>
- Díaz, A., & Olaya, C. (2017). An Engineering View for Social Systems: Agency as an Operational Principle for Designing Higher Education Access Policies. *Systemic Practice and Action Research*, 30 (6), 627-649. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11213-017-9412-0>
- Diaz, R., Kumar, S., & Behr, J. (2015). Housing recovery in the aftermath of a catastrophe: Material resources perspective. *Computers & Industrial Engineering*, 81, 130-139. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.12.036>
- Diedrichs, D. R., Phelps, K., & Ishihara, P. A. (2016). Quantifying communication effects in disaster response logistics: A multiple network system dynamics model. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 6 (1), 24-45. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-09-2014-0031>
- Domínguez-Machuca, J. A., García, G. S., Domínguez-Machuca, M. A., Ruiz, J. A., & Álvarez, G. M. J. (1995). Dirección de Operaciones: Aspectos estratégicos en la producción y los servicios. Madrid: McGraw-Hill.
- Drakaki, M., Gören, H. G., & Tzionas, P. (2018). An intelligent multi-agent based decision support system for refugee settlement siting. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 576-588. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.06.013>
- Dubey, R., & Gunasekaran, A. (2015). The sustainable humanitarian supply chain design: agility, adaptability and alignment. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 19 (1), 62-82. Doi: <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1015511>
- Eco, U. (2001). Cómo se hace una tesis: Técnicas y procedimientos de estudio, investigación y escritura. Barcelona: Gedisa Editorial.
- Eftekhar, M., Li, H. M., Van Wassenhove, L. N., & Webster, S. (2017). The Role of Media Exposure on Coordination in the Humanitarian Setting. *Production and Operations Management*, 26 (5), 802-816. Doi: <https://doi.org/10.1111/poms.12669>
- Eftekhar, M., Masini, A., Robotis, A., & Van Wassenhove, L. N. (2014). Vehicle Procurement Policy for Humanitarian Development Programs. *Production and Operations Management*, 23 (6), 951-964. Doi: <https://doi.org/10.1111/poms.12108>
- EM-DAT: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2018). The OFDA/CRED International Disaster Database. Université Catholique de Louvain, Bruselas, Bélgica. Disponible en <http://www.emdat.be/>. Consultado: 19. Dic. 2018.
- Ergun, Ö., Gui, L., Stamm, J. L. H., Keskinocak, P., & Swann, J. (2014). Improving Humanitarian Operations through Technology-Enabled Collaboration. *Production and Operations Management*, 23 (6), 1002-1014. Doi: <https://doi.org/10.1111/poms.12107>
- FEMA. (2010). The Four Phases Of Emergency Management. Federal Emergency Management Agency, Washington. Disponible en https://training.fema.gov/emiweb/downloads/is10_unit3.doc. Consultado: 26. Feb. 2016.
- Fernando, R. L. S., & Muthulingam, A. (2015). Effectiveness of Administrative Preparedness: A Case Study on Flooding Conditions in Ambagamuwa Korale Division of Nuwara Eliya District in Sri Lanka. En Ha, H., Fernando, R. L. S., & Mahmood, A.

- (Eds.), *Strategic Disaster Risk Management in Asia*. Nueva Delhi: Springer. pp. 87-98. Doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2373-3_7
- Ferrer, J. M., Ortuño, M. T., & Tirado, G. (2015). A GRASP metaheuristic for humanitarian aid distribution. *Journal of Heuristics*, 22 (1), 55-87. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10732-015-9302-5>
- Fikar, C., Gronalt, M., & Hirsch, P. (2016). A decision support system for coordinated disaster relief distribution. *Expert Systems with Applications*, 57, 104-116. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.03.039>
- Fikar, C., Hirsch, P., & Nolz, P. C. (2018). Agent-based simulation optimization for dynamic disaster relief distribution. *Central European Journal of Operations Research*, 26 (2), 423-442. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10100-017-0518-3>
- Fontainha, T. C., Leiras, A., Bandeira, R. A. D., Scavarda, L. F. (2017). Public-Private-People Relationship Stakeholder Model for disaster and humanitarian operations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22, 371-386. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.02.004>
- Galán, J. M. (2007). Evaluación integradora de políticas de agua: modelado y simulación con sociedades artificiales de agentes. Tesis Doctoral. Universidad de Burgos, Burgos (España).
- 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. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.039>
- Ganguly, K. K., & Rai, S. S. (2016). Managing the humanitarian relief chain: the Uttarakhand disaster issues. *Journal of Advances in Management Research*, 13 (1), 92-111. Doi: <https://doi.org/10.1108/JAMR-09-2014-0052>
- Ganguly, K. K., Padhy, R. K., & Rai, S. S. (2017). Managing the humanitarian supply chain: a fuzzy logic approach. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 8 (5), 521-536. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-07-2015-0038>
- García, J. (2011). The Moral Herd: Groups and the Evolution of Altruism and Cooperation. Tesis Doctoral. Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam (Países Bajos).
- García, J., & Van Veelen, M. (2018). No Strategy Can Win in the Repeated Prisoner's Dilemma: Linking Game Theory and Computer Simulations. *Frontiers in Robotics and AI*, 5, Número de artículo: 102, 14 páginas. Doi: <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00102>
- Garrido, R. A., Lamas, P., & Pino, F. J. (2015). A stochastic programming approach for floods emergency logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, 18-31. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.12.002>
- Gavidia, J. V. (2017). A model for enterprise resource planning in emergency humanitarian logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 7 (3), 246-265. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-02-2017-0004>
- Giachetti, R. E., Martinez, L. D., Saenz, O. A., & Chen, C. S. (2003). Analysis of the Structural Measures of Flexibility and Agility Using a Measurement Theoretical Framework. *International Journal of Production Economics*, 86 (1), 47-62. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00004-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00004-5)

- Gibbons, D. E., & Samaddar, S. (2009). Designing Referral Network Structures and Decision Rules to Streamline Provision of Urgent Health and Human Services. *Decision Sciences*, 40 (2), 351-371. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2009.00230.x>
- Goldman, S. L. (2017). Compromised Exactness and the Rationality of Engineering. En García-Díaz, C., & Olaya, C. (Eds.), *Social Systems Engineering: The Design of Complexity*. New York: John Wiley & Sons. pp. 11-30. Doi: <https://doi.org/10.1002/9781118974414.ch1>
- Golicic, S. L., Davis, D. F., & McCarthy, T. M. (2005). A Balanced Approach to Research in Supply Chain Management. En Kotzab, H., Seuring, S., Müller, M., & Reiner, G. (Eds.), *Research Methodologies in Supply Chain Management*. Heidelberg: Physica-Verlag. pp.15-29. Doi: https://doi.org/10.1007/3-7908-1636-1_2
- Gómez-Ramírez, D. M. (2017). Evaluación de las capacidades de logística humanitaria para la atención de desastres naturales en la red de ayuda humanitaria. El caso de Manizales. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Manizales (Colombia).
- Gösling, H., & Geldermann, J. (2014). A Framework to Compare OR Models for Humanitarian Logistics. *Procedia Engineering*, 78, 22-28. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.034>
- Granberg, T. A. (2013). Preparedness Measures for Emergency and Disaster Response. En Zeimpekis, V., Ichoua, S., & Minis, I. (Eds.), *Humanitarian and Relief Logistics: Research Issues, Case Studies and Future Trends*. Nueva York: Springer. pp. 59-75. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7007-6_4
- Guerrero, W. J. (2013). Models and Optimization Methods for the Inventory-Location-Routing Problem. Tesis Doctoral. Universidad de los Andes, Bogotá (Colombia).
- Guo, X. S., & Kapucu, N. (2020). Engaging Stakeholders for Collaborative Decision Making in Humanitarian Logistics Using System Dynamics. *Journal of Homeland Security And Emergency Management*, 17 (1), Número de artículo: 20180061, 13 páginas. Doi: <https://doi.org/10.1515/jhsem-2018-0061>
- Gutjahr, W. J., & Dzubur, N. (2016). Bi-objective bilevel optimization of distribution center locations considering user equilibria. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 85, 1-22. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.11.001>
- Gutjahr, W. J., & Nolz, P. C. (2016). Multicriteria optimization in humanitarian aid. *European Journal of Operational Research*, 252 (2), 351-366. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.035>
- Haavisto, I., & Goentzel, J. (2015). Measuring humanitarian supply chain performance in a multi-goal context. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5 (3), 300-324. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2015-0028>
- Habib, M. S., Lee, Y. H., & Memon, M. S. (2016). Mathematical Models in Humanitarian Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, Número de artículo: 3212095, 20 páginas. Doi: <https://doi.org/10.1155/2016/3212095>
- Hadiguna, R. A., Kamil, I., Delati, A., & Reed, R. (2014). Implementing a web-based decision support system for disaster logistics: A case study of an evacuation location

- assessment for Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 9, 38-47. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2014.02.004>
- Haghani, A., & Oh, S. C. (1996). Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 30 (3), 231-250. Doi: [https://doi.org/10.1016/0965-8564\(95\)00020-8](https://doi.org/10.1016/0965-8564(95)00020-8)
- Haghi, M., Ghomi, S. M. T. F., & Jolai, F. (2017). Developing a robust multi-objective model for pre/post disaster times under uncertainty in demand and resource. *Journal of Cleaner Production*, 154, 188-202. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.102>
- Hammond, R. A. (2015). Considerations and Best Practices in Agent-Based Modeling to Inform Policy. En Wallace, R., Geller, A., & Ogawa, V. A. (Eds.), *Assessing the Use of Agent-Based Models for Tobacco Regulation*. Washington, D.C.: The National Academies Press. pp. 161-193.
- Hardoy, J., & Velásquez, L. S. (2014). Re-thinking "Biomanizales": addressing climate change adaptation in Manizales, Colombia. *Environment and Urbanization*, 26 (1), 53-68. Doi: <https://doi.org/10.1177/0956247813518687>
- Hasanzadeh, H., & Bashiri, M. (2016). An efficient network for disaster management: Model and solution. *Applied Mathematical Modelling*, 40 (5-6), 3688-3702. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.09.113>
- Hashemipour, M., Stuban, S., & Dever, J. (2018). A disaster multiagent coordination simulation system to evaluate the design of a first-response team. *Systems Engineering*, 21 (4), 322-344. Doi: <https://doi.org/10.1002/sys.21437>
- Hawe, G. I., Coates, G., Wilson, D. T., & Crouch, R. S. (2015). Agent-based simulation of emergency response to plan the allocation of resources for a hypothetical two-site major incident. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 46, 336-345. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.06.023>
- He, F., & Zhuang, J. (2016). Balancing pre-disaster preparedness and post-disaster relief. *European Journal of Operational Research*, 252 (1), 246-256. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.048>
- Heaslip, G., Kovács, G., & Grant, D. B. (2018). Servitization as a competitive difference in humanitarian logistics. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8 (4), 497-517. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-08-2017-0042>
- Heaslip, G., Sharif, A. M., & Althonayan, A. (2012). Employing a systems-based perspective to the identification of inter-relationships within humanitarian logistics. *International Journal of Production Economics*, 139 (2), 377-392. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.022>
- Hellingrath, B., Babun, T. A., Smith, J. F., & Link, D. (2015). Disaster Management Capacity Building at Airports and Seaports. En Klumpp, M., de Leeuw, S., Regattieri, A., & de Souza, R. (Eds.), *Humanitarian Logistics and Sustainability*. Cham: Springer. pp. 87-112. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_6
- Herlin, H., & Pazirandeh, A. (2015). Avoiding the pitfalls of cooperative purchasing through control and coordination: Insights from a humanitarian context. *International Journal of Procurement Management*, 8 (3), 303-325. Doi: <https://doi.org/10.1504/IJPM.2015.069155>

- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. 6a. ed. México D.F.: McGraw-Hill.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., Pérez, N., & Wachtendorf, T. (2012). On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, 30 (7-8), 494-506. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.08.003>
- Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 31 (5), 262-280. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.06.002>
- Holguín-Veras, J., Taniguchi, E., Jaller, M., Aros-Vera, F., Ferreira, F., & Thompson, R. G. (2014). The Tohoku disasters: Chief lessons concerning the post disaster humanitarian logistics response and policy implications. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69, 86-104. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.08.003>
- Hong, X., Lejeune, M. A., & Noyan, N. (2015). Stochastic Network Design for Disaster Preparedness. *IIE Transactions*, 47 (4), 329-357. Doi: <https://doi.org/10.1080/0740817X.2014.919044>
- Hooshangi, N., & Alesheikh, A. A. (2018). Developing an Agent-Based Simulation System for Post-Earthquake Operations in Uncertainty Conditions: A Proposed Method for Collaboration among Agents. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7 (1), Número de artículo: 27, 22 páginas. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi7010027>
- 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*, 82, 183-197. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.11.025>
- Hu, S. L., & Dong, Z. S. (2019). Supplier selection and pre-positioning strategy in humanitarian relief. *Omega-International Journal of Management Science*, 83, 287-298. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.10.011>
- IFRC. (2012). The disaster relief emergency fund. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Ginebra. Disponible en <http://www.ifrc.org/dref>. Consultado: 28. Dic. 2018.
- IGAC. (2012). Mapa Oficial Físico-político de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá. Disponible en <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/mapas-nacionales>. Consultado: 1. Oct. 2020.
- IPCC. (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation - Summary for policymakers. The Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginebra. Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_FD_SPM_final-2.pdf. Consultado: 20. Dic. 2018.
- Iqbal, S., Sardar, M. U., Lodhi, F. K., & Hasan, O. (2018). Statistical model checking of relief supply location and distribution in natural disaster management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 1043-1053. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.04.010>
- Izquierdo, L. R., Galán, J. M., Santos, J. I., & Del Olmo, R. (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas.

- Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, 16, 85-112. Doi: <https://doi.org/10.5944/empiria.16.2008.1391>
- Jahre, M. (2017). Humanitarian supply chain strategies – a review of how actors mitigate supply chain risks. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 7 (2), 82-101. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-12-2016-0043>
- Jahre, M., & Jensen, L. M. (2010). Coordination in humanitarian logistics through clusters. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40 (8-9), 657-674. Doi: <https://doi.org/10.1108/09600031011079319>
- Jahre, M., Ergun, O., & Goentzel, J. (2015). One Size Fits All? Using Standard Global Tools in Humanitarian Logistics. *Procedia Engineering*, 107, 18-26. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.054>
- Jahre, M., Pazirandeh, A., & Van Wassenhove, L. N. (2016). Defining logistics preparedness: a framework and research agenda. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 6 (3), 372-398. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-04-2016-0012>
- Jensen, L. M., & Hertz, S. (2016). The coordination roles of relief organisations in humanitarian logistics. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19 (5), 465-485. Doi: <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1124845>
- John, L., & Ramesh, A. (2016). Modeling the barriers of humanitarian supply chain management in India. En Sahay, B. S., Gupta, S., & Menon, V. C. (Eds.), *Managing humanitarian logistics*. Nueva Delhi: Springer. pp. 61-82. Doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2416-7_5
- Kabra, G., & Ramesh, A. (2015). Segmenting critical factors for enhancing the use of IT in humanitarian supply chain management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 189, 144-152. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.03.208>
- Kabra, G., Ramesh, A., & Arshinder, K. (2015). Identification and prioritization of coordination barriers in humanitarian supply chain management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 13, 128-138. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.01.011>
- Kabra, G., Ramesh, A., Akhtar, P., & Dash, M. K. (2017). Understanding behavioural intention to use information technology: Insights from humanitarian practitioners. *Telematics and Informatics*, 34 (7), 1250-1261. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.05.010>
- Kaneberg, E. (2017). Managing military involvement in emergency preparedness in developed countries. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 7 (3), 350-374. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-04-2017-0014>
- Kimms, A., & Maiwald, M. (2018). Bi-objective safe and resilient urban evacuation planning. *European Journal of Operational Research*, 269 (3), 1122-1136. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.050>
- Kleijnen, J. P. C. (1995). Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research*, 82 (1), 145-162. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00016-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00016-6)
- Klumpp, M., de Leeuw, S., Regattieri, A., & de Souza, R. (2015). Sustainability in Humanitarian Logistics - Why and How? En Klumpp, M., de Leeuw, S., Regattieri, A.,

- & de Souza, R. (Eds.), *Humanitarian Logistics and Sustainability*. Cham: Springer. pp. 3-9. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_1
- Kovács, G., & Moshtari, M. (2019). A roadmap for higher research quality in humanitarian operations: A methodological perspective. *European Journal of Operational Research*, 276 (2), 395-408. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.052>
- Kovács, G., & Spens, K. M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37 (2), 99-114. Doi: <https://doi.org/10.1108/09600030710734820>
- Kovács, G., & Spens, K. M. (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39 (6), 506-528. Doi: <https://doi.org/10.1108/09600030910985848>
- Kovács, G., & Tatham, P. (2009). Responding to disruptions in the supply network - From dormant to action. *Journal of Business Logistics*, 30 (2), 215-229. Doi: <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2009.tb00121.x>
- Krejci, C. C. (2015). Hybrid simulation modeling for humanitarian relief chain coordination. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 5 (3), 325-347. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2015-0033>
- Krick, E. V. (1979). *Fundamentos de ingeniería: métodos, conceptos y resultados*. 1a. ed. México D.F.: Editorial Limusa.
- Krishnamurthy, A., Roy, D., & Bhat, S. (2013). Analytical Models for Estimating Waiting Times at a Disaster Relief Center. En Zeimpekis, V., Ichoua, S., & Minis, I. (Eds.), *Humanitarian and Relief Logistics: Research Issues, Case Studies and Future Trends*. Nueva York: Springer. pp. 21-41. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7007-6_2
- Kumar, R. (2011). *Research methodology: A step-by-step guide for beginners*. 3a. ed. Londres: SAGE Publications Ltd.
- Kumar, S., & Havey, T. (2013). Before and after disaster strikes: A relief supply chain decision support framework. *International Journal of Production Economics*, 145 (2), 613-629. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.016>
- Kunz, N., & Gold, S. (2015). Sustainable humanitarian supply chain management – exploring new theory. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20 (2), 85-104. Doi: <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1103845>
- Kunz, N., Reiner, G., & Gold, S. (2014). Investing in disaster management capabilities versus pre-positioning inventory: A new approach to disaster preparedness. *International Journal of Production Economics*, 157, 261-272. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.11.002>
- Kusumastuti, R. D., Wibowo, S. S., & Insanita, R. (2013). Modeling Facility Locations for Relief Logistics in Indonesia. En Zeimpekis, V., Ichoua, S., & Minis, I. (Eds.), *Humanitarian and Relief Logistics: Research Issues, Case Studies and Future Trends*. Nueva York: Springer. pp. 183-205. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7007-6_10
- Labarthe, O., Espinasse, B., Ferrarini, A., & Montreuil, B. (2007). Toward a methodological framework for agent-based modelling and simulation of supply chains in a mass customization context. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15 (2), 113-136. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2006.09.014>

- Landeta, J., Barrutia, J., & Lertxundi, A. (2011). Hybrid Delphi: A methodology to facilitate contribution from experts in professional contexts. *Technological Forecasting & Social Change*, 78 (9), 1629-1641. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.03.009>
- Langellier, B. A., Bilal, U., Montes, F., Meisel, J. D., Cardoso, L. O., & Hammond, R. (2019). Complex Systems Approaches to Diet: A Systematic Review. *American Journal of Preventive Medicine*, 57 (2), 273-281. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2019.03.017>
- Larson, P. D., & Foropon, C. (2018). Process improvement in humanitarian operations: an organisational theory perspective. *International Journal of Production Research*, 56 (21), 6828-6841. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1424374>
- Liberatore, F., Ortuño, M. T., Tirado, G., Vitoriano, B., & Scaparra, M. P. (2014). A hierarchical compromise model for the joint optimization of recovery operations and distribution of emergency goods in Humanitarian Logistics. *Computers & Operations Research*, 42, 3-13. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.03.019>
- Liu, Y., & Guo, B. (2014). A Lexicographic Approach to Postdisaster Relief Logistics Planning Considering Fill Rates and Costs under Uncertainty. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, Número de artículo: 939853, 17 páginas. Doi: <https://doi.org/10.1155/2014/939853>
- Lorca, Á., Çelik, M., Ergun, Ö., & Keskinocak, P. (2015). A decision-support tool for post-disaster debris operations. *Procedia Engineering*, 107, 154-167. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.069>
- Lu, Q., Goh, M., & de Souza, R. (2018). An empirical investigation of swift trust in humanitarian logistics operations. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8 (1), 70-86. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2017-0033>
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4 (3), 151-162. Doi: <https://doi.org/10.1057/jos.2010.3>
- Macal, C. M., & North, M. J. (2014). Introductory Tutorial: Agent-Based Modeling and Simulation. En *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*. Savannah, USA, 7-10 Diciembre 2014, pp. 6-20. Doi: <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7019874>
- Maghsoudi, A., & Pazirandeh, A. (2016). Visibility, resource sharing and performance in supply chain relationships: insights from humanitarian practitioners. *Supply Chain Management: An International Journal*, 21 (1), 125-139. Doi: <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2015-0102>
- Manopiniwes, W., & Irohara, T. (2017). Stochastic optimisation model for integrated decisions on relief supply chains: preparedness for disaster response. *International Journal of Production Research*, 55 (4), 979-996. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1211340>
- Marcelin, J. M., Horner, M. W., Ozguven, E. E., & Kocatepe, A. (2016). How does accessibility to post-disaster relief compare between the aging and the general population? A spatial network optimization analysis of hurricane relief facility locations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 15, 61-72. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.12.006>

- Marcinkowski, J.M. (2017). Japanese and American Approach to Humanitarian Logistics in Natural Disasters' Prevention. *Logforum*, 13 (2), 171-182. Doi: <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2017.2.5>
- Mejia-Argueta, C., Gaytán, J., Caballero, R., Molina, J., & Vitoriano, B. (2018). Multicriteria optimization approach to deploy humanitarian logistic operations integrally during floods. *International Transactions in Operational Research*, 25 (3), 1053-1079. Doi: <https://doi.org/10.1111/itor.12508>
- Mendenhall, W., & Reinmuth, J. (1981). Estadística para la administración y economía. 3a. ed. México D.F.: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. M. (2010). Introducción a la probabilidad y estadística. 13a. ed. México D.F.: Cengage Learning Editores.
- Menth, M. (2014). An Agent-Based Modeling Approach To Assess Coordination Among Humanitarian Relief Providers. Tesis de Maestría. Kansas State University, Manhattan (Estados Unidos).
- Meredith, J. (1993). Theory Building through Conceptual Methods. *International Journal of Operations & Production Management*, 13 (5), 3-11. Doi: <https://doi.org/10.1108/01443579310028120>
- Mohan, S., Gopalakrishnan, M., & Mizzi, P. J. (2013). Improving the efficiency of a non-profit supply chain for the food insecure. *International Journal of Production Economics*, 143 (2), 248-255. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.05.019>
- Mora-Ochomogo, E. I., Mora-Vargas, J., & Serrato, M. (2016). A Qualitative Analysis of Inventory Management Strategies in Humanitarian Logistics Operations. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 7 (1), 40-53. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265245553006>. Consultado: 18. Jul. 2016.
- Moreno, A., Alem, D., & Ferreira, D. (2016). Heuristic approaches for the multiperiod location-transportation problem with reuse of vehicles in emergency logistics. *Computers & Operations Research*, 69, 79-96. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.12.002>
- Moshtari, M. (2016). Inter-Organizational Fit, Relationship Management Capability, and Collaborative Performance within a Humanitarian Setting. *Production and Operations Management*, 25 (9), 1542-1557. Doi: <https://doi.org/10.1111/poms.12568>
- Moshtari, M., & Gonçalves, P. (2017). Factors Influencing Interorganizational Collaboration within a Disaster Relief Context. *Voluntas*, 28 (4), 1673-1694. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11266-016-9767-3>
- Muggy, L., & Stamm, J. L. H. (2017). Dynamic, robust models to quantify the impact of decentralization in post-disaster health care facility location decisions. *Operations Research for Health Care*, 12, 43-59. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.01.002>
- Muskat, M., Blackman, D., & Muskat, B. (2012). Mixed methods: Combining expert interviews, cross-impact analysis and scenario development. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 10 (1), 9-21.
- Nadi, A., & Edrisi, A. (2017). Adaptive multi-agent relief assessment and emergency response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 12-23. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.05.010>

- Ni, C., de Souza, R., Lu, Q., & Goh, M. (2015). Emergency Preparedness of Humanitarian Organizations: A System Dynamics Approach. En Klumpp, M., de Leeuw, S., Regattieri, A., & de Souza, R. (Eds.), *Humanitarian Logistics and Sustainability*. Cham: Springer. pp. 113-127. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_7
- Nikbakhsh, E. & Farahani, R. Z. (2011). Humanitarian Logistics Planning in Disaster Relief Operations. En Farahani, R. Z., Rezapour, S., & Kardar, L. (Eds.), *Logistics Operations and Management: Concepts and Models*. Amsterdam: Elsevier. pp. 291-332. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385202-1.00015-3>
- Noham, R., & Tzur, M. (2018). Designing humanitarian supply chains by incorporating actual post-disaster decisions. *European Journal of Operational Research*, 265 (3), 1064-1077. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.08.042>
- Nurmala, N., de Vries, J., & de Leeuw, S. (2018). Cross-sector humanitarian-business partnerships in managing humanitarian logistics: an empirical verification. *International Journal of Production Research*, 56 (21), 6842-6858. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1449977>
- OCHA. (2012). Coordination to Save Lives - History and Emerging Challenges. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, Nueva York y Ginebra. Disponible en <https://www.unocha.org/publication/policy-briefs-studies/coordination-save-lives-history-and-emerging-challenges>. Consultado: 20. Dic. 2017.
- Ochoa, A., Rudomin, I., Vargas-Solar, G., Espinosa-Oviedo, J. A., Perez, H., & Zechinelli-Martini, J. L. (2017). Humanitarian Logistics and Cultural Diversity within Crowd Simulation. *Computación y Sistemas*, 21 (1), 7-21. Doi: <https://doi.org/10.13053/CyS-21-1-2583>
- Olaya, C. (2012a). Models that include cows: the significance of operational thinking. En *Proceedings of the 30th International Conference of the System Dynamics Society*. St Gallen, Suiza, 22-26 Julio 2012, pp. 1-28.
- Olaya, C. (2012b). The Importance of Being Atheoretical: Management as Engineering. En Groesser, S. & Zeier, R. (Eds.), *Systemic Management for Intelligent Organizations: Concepts, Model-Based Approaches and Applications*. Heidelberg: Springer. pp. 21-46. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-29244-6_2
- Olaya, C. (2013). Más ingeniería y menos ciencia por favor. En *Proceedings of the 11th Latin American System Dynamics Conference*. México D.F., México, 6-8 Noviembre 2013, pp. 1-6.
- Oloruntoba, R., & Gray, R. (2006). Humanitarian aid: an agile supply chain? *Supply Chain Management-An International Journal*, 11 (2), 115-120. Doi: <https://doi.org/10.1108/13598540610652492>
- Oloruntoba, R., & Gray, R. (2009). Customer service in emergency relief chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39 (6), 486-505. Doi: <https://doi.org/10.1108/09600030910985839>
- Osorio-Ramírez, C. (2016). Mecanismos de coordinación para la optimización del desempeño de la cadena logística humanitaria mediante modelamiento estocástico. Caso colombiano. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

- Owusu-Kwateng, K., Hamid, M. A., & Debrah, B. (2017). Disaster relief logistics operation: an insight from Ghana. *International Journal of Emergency Services*, 6 (1), 4-13. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJES-10-2016-0022>
- Özdamar, L., & Ertem, M. A. (2015). Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research*, 244 (1), 55-65. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.11.030>
- Özdamar, L., Ekinci, E., & Küçükyazici, B. (2004). Emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of Operations Research*, 129 (1-4), 217-245. Doi: <https://doi.org/10.1023/B:ANOR.0000030690.27939.39>
- Ozguven, E. E., & Ozbay, K. (2015). An RFID-based inventory management framework for emergency relief operations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 57, 166-187. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.06.021>
- Paul, J. A., & MacDonald, L. (2016). Location and capacity allocations decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters. *European Journal of Operational Research*, 251 (1), 252-263. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.10.028>
- Paul, J. A., & Wang, X. F. (2019). Robust location-allocation network design for earthquake preparedness. *Transportation Research Part B: Methodological*, 119, 139-155. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.11.009>
- Peng, M., Chen, H., & Zhou, M. (2014b). Modelling and simulating the dynamic environmental factors in post-seismic relief operation. *Journal of Simulation*, 8 (2), 164-178. Doi: <https://doi.org/10.1057/jos.2013.27>
- Peng, M., Peng, Y., & Chen, H. (2014a). Post-seismic supply chain risk management: A system dynamics disruption analysis approach for inventory and logistics planning. *Computers & Operations Research*, 42, 14-24. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.03.003>
- Pettit, S., & Beresford, A. (2009). Critical success factors in the context of humanitarian aid supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39 (6), 450-468. Doi: <https://doi.org/10.1108/09600030910985811>
- PNUD. (2015). Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011 – 2100. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD Colombia, Bogotá. Disponible en <https://reliefweb.int/report/colombia/nuevos-escenarios-de-cambio-climatico-para-colombia-2011-2100-herramientas-cient-0>. Consultado: 1. Oct. 2020.
- Pomerol, J. C., & Barba-Romero, S. (2000). *Multicriterion Decision in Management: principles and practice*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Ponte, B., Costas, J., Puche, J., Pino, R., & De la Fuente, D. (2018). The value of lead time reduction and stabilization: A comparison between traditional and collaborative supply chains. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 111, 165-185. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.01.014>
- Powell, J. H., Mustafee, N., Chen, A. S., & Hammond, M. (2016). System-focused risk identification and assessment for disaster preparedness: Dynamic threat analysis. *European Journal of Operational Research*, 254 (2), 550-564. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.04.037>
- Pradhananga, R., Mutlu, F., Pokharel, S., Holguín-Veras, J., & Seth, D. (2016). An integrated resource allocation and distribution model for pre-disaster planning.

- Computers & Industrial Engineering*, 91, 229-238. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.11.010>
- Quezada, A., & Canessa, E. (2010). Modelado basado en agentes: una herramienta para complementar el análisis de fenómenos sociales. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 28 (2), 226-238.
- Rachaniotis, N. P., Dasaklis, T., Pappis, C. P., & Van Wassenhove, L. N. (2013). Multiple Location and Routing Models in Humanitarian Logistics. En Zeimpekis, V., Ichoua, S., & Minis, I. (Eds.), *Humanitarian and Relief Logistics: Research Issues, Case Studies and Future Trends*. Nueva York: Springer. pp. 43-57. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7007-6_3
- Raghukumar, B. R., Agarwal, A., & Sharma, M. K. (2016). An Agile and Flexible Supply Chain for Efficient Humanitarian Logistics in a Disaster Management System. En Sahay, B. S., Gupta, S., & Menon, V. C. (Eds.), *Managing humanitarian logistics*. Nueva Delhi: Springer. pp. 129-139. Doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2416-7_9
- Ransikarbum, K., & Mason, S. J. (2014). Multiple-objective analysis of integrated relief supply and network restoration in humanitarian logistics operations. *International Journal of Production Research*, 54 (1), 49-68. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.977458>
- Regis-Hernández, F., Mora-Vargas, J., & Ruiz, A. (2017). A Multi-Criteria Vertical Coordination Framework for a Reliable Aid Distribution. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 10 (4), 789-815. Doi: <https://doi.org/10.3926/jiem.2253>
- Rekik, M., Ruiz, A., Renaud, J., Berkoune, D., & Paquet, S. (2013). A Decision Support System for Humanitarian Network Design and Distribution Operations. En Zeimpekis, V., Ichoua, S., & Minis, I. (Eds.), *Humanitarian and Relief Logistics: Research Issues, Case Studies and Future Trends*. Nueva York: Springer. pp. 1-20. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7007-6_1
- Remida, A. (2015). A Systemic Approach to Sustainable Humanitarian Logistics. En Klumpp, M., de Leeuw, S., Regattieri, A., & de Souza, R. (Eds.), *Humanitarian Logistics and Sustainability*. Cham: Springer. pp. 11-29. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_2
- Rezaei-Malek, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Bozorgi-Amiri, A. (2016). An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities. *Computers & Industrial Engineering*, 94, 201-215. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.01.014>
- Richardson, D. A., De Leeuw, S., & Dullaert, W. (2016). Factors Affecting Global Inventory Prepositioning Locations in Humanitarian Operations – A Delphi Study. *Journal of Business Logistics*, 37 (1), 59-74. Doi: <https://doi.org/10.1111/jbl.12112>
- Rodon, J., Maria-Serrano, J. F., & Giménez, C. (2012). Managing cultural conflicts for effective humanitarian aid. *International Journal of Production Economics*, 139 (2), 366-376. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.08.029>
- Rodríguez, J. T., Vitoriano, B., & Montero, J. (2012). A general methodology for data-based rule building and its application to natural disaster management. *Computers & Operations Research*, 39 (4), 863-873. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.11.014>

- Rodríguez-Espíndola, O., & Gaytán, J. (2015). Scenario-based preparedness plan for floods. *Natural Hazards*, 76 (2), 1241-1262. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1544-2>
- Rodríguez-Espíndola, O., Albores, P., & Brewster, C. (2018a). Disaster preparedness in humanitarian logistics: A collaborative approach for resource management in floods. *European Journal of Operational Research*, 264 (3), 978-993. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.021>
- Rodríguez-Espíndola, O., Albores, P., & Brewster, C. (2018b). Dynamic formulation for humanitarian response operations incorporating multiple organisations. *International Journal of Production Economics*, 204, 83-98. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.023>
- Rodríguez-Zoya, L. G., & Roggero, P. (2015). Modelos basados en agentes: aportes epistemológicos y teóricos para la investigación social. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 60 (225), 227-262. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0185-1918\(15\)30025-8](https://doi.org/10.1016/S0185-1918(15)30025-8)
- Rottkemper, B., Fischer, K., Blecken, A., & Danne, C. (2011). Inventory relocation for overlapping disaster settings in humanitarian operations. *OR Spectrum*, 33, 721-749. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0260-5>
- Saharan, V. (2015). Disaster Management and Corruption: Issues, Interventions and Strategies. En Ha, H., Fernando, R. L. S., & Mahmood, A. (Eds.), *Strategic Disaster Risk Management in Asia*. Nueva Delhi: Springer. pp. 193-206. Doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2373-3_13
- Sahay, B. S., Menon, V. C., & Gupta, S. (2016). Humanitarian Logistics and Disaster Management: The Role of Different Stakeholders. En Sahay, B. S., Gupta, S., & Menon, V. C. (Eds.), *Managing humanitarian logistics*. Nueva Delhi: Springer. pp. 3-21. Doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2416-7_1
- Sahebi, I. G., Arab, A., & Moghadam, M. R. S. (2017). Analyzing the barriers to humanitarian supply chain management: A case study of the Tehran Red Crescent Societies. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 232-241. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.05.017>
- Sahin, H., Kara, B. Y., & Karasan, O. E. (2016). Debris removal during disaster response: A case for Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*, 53, 49-59. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2015.10.003>
- Santos, F. C., Pacheco, J. M., & Lenaerts, T. (2006). Evolutionary dynamics of social dilemmas in structured heterogeneous populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (9), 3490-3494. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0508201103>
- Sarache, W., & Morales, M. M. (2016). Localización, transporte e inventarios: tres decisiones estructurales en el diseño de cadenas de abastecimiento. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Sarache, W., Cárdenas-Aguirre, D. M., & Giraldo, J. A. (2005). Procedimiento para la definición y jerarquización de prioridades competitivas de fabricación. Aplicaciones en las pymes de la industria metalmeccánica. *Ingeniería y Competitividad*, 7 (2), 84-91.

- Sarache, W., Costa-Salas, Y. J., & Martínez-Giraldo, J. P. (2015). Environmental performance evaluation under a green supply chain approach. *DYNA*, 82 (189), 207-215. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n189.48550>
- Sausser, B., Baldwin, C., Pourreza, S., Randall, W., & Nowicki, D. (2018). Resilience of small- and medium-sized enterprises as a correlation to community impact: an agent-based modeling approach. *Natural Hazards*, 90 (1), 79-99. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3034-9>
- Schaffernicht, M. (2009). Indagación de situaciones dinámicas mediante la Dinámica de Sistemas. 1a. ed. Talca, Chile: Editorial Universidad de Talca.
- Scholten, K., Scott, P. S., & Fynes, B. (2014). Mitigation processes – antecedents for building supply chain resilience. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19 (2), 211-228. Doi: <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2013-0191>
- Schulz, S. F. (2009). Disaster Relief Logistics: Benefits of and Impediments to Horizontal Cooperation between Humanitarian Organizations. Tesis Doctoral. Technischen Universität Berlin, Berlin (Alemania).
- Schulz, S. F., & Blecken, A. (2010). Horizontal cooperation in disaster relief logistics: benefits and impediments. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40 (8-9), 636-656. Doi: <https://doi.org/10.1108/09600031011079300>
- Sebbah, S., Boukhtouta, A., Berger, J., & Ghanmi, A. (2013). Military Logistics Planning in Humanitarian Relief Operations. En Zeimpekis, V., Ichoua, S., & Minis, I. (Eds.), *Humanitarian and Relief Logistics: Research Issues, Case Studies and Future Trends*. Nueva York: Springer. pp. 77-110. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7007-6_5
- Seuring, S., Müller, M., Reiner, G., & Kotzab, H. (2005). Is There a Right Research Design for Your Supply Chain Study? En Kotzab, H., Seuring, S., Müller, M., & Reiner, G. (Eds.), *Research Methodologies in Supply Chain Management*. Heidelberg: Physica-Verlag. pp.1-12. Doi: https://doi.org/10.1007/3-7908-1636-1_1
- Shafiee, M. E., & Berglund, E. Z. (2016). Agent-based modeling and evolutionary computation for disseminating public advisories about hazardous material emergencies. *Computers, Environment and Urban Systems*, 57, 12-25. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.01.001>
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the Art and Science of Simulation. En *Proceedings of the 30th Conference on Winter Simulation*. Washington, D.C., USA, 13-16 Diciembre 1998, pp. 7-14. Doi: <https://doi.org/10.1109/WSC.1998.744892>
- Sharif, M. T., & Salari, M. (2015). A GRASP algorithm for a humanitarian relief transportation problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 41, 259-269. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.02.013>
- Sheffi, Y. (2015). *The Power of Resilience: How the Best Companies Manage the Unexpected*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Shendarkar, A., Vasudevan, K., Lee, S., & Son, Y. J. (2008). Crowd simulation for emergency response using BDI agents based on immersive virtual reality. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16 (9), 1415-1429. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2008.07.004>

- Sheppard, A., Tatham, P., Fisher, R., & Gapp, R. (2013). Humanitarian logistics: enhancing the engagement of local populations. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 3 (1), 22-36. Doi: <https://doi.org/10.1108/20426741311328493>
- Sheu, J. B. (2007). An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43 (6), 687-709. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.04.004>
- Sheu, J. B., & Pan, C. (2015). Relief supply collaboration for emergency logistics responses to large-scale disasters. *Transportmetrica A: Transport Science*, 11 (3), 210-242. Doi: <https://doi.org/10.1080/23249935.2014.951886>
- Shoham, Y., & Leyton-Brown, K. (2008). *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Siegel, S. (1978). *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*. 2a. ed. México D.F.: Ed. Trillas.
- Simões-Marques, M., & Nunes, I. L. (2013). A Fuzzy Multicriteria Methodology to Manage Priorities and Resource Assignment in Critical Situations. En Zeimpekis, V., Ichoua, S., & Minis, I. (Eds.), *Humanitarian and Relief Logistics: Research Issues, Case Studies and Future Trends*. Nueva York: Springer. pp. 129-153. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7007-6_7
- Singh, A. (2016). Supplier Selection and Multi-period Demand Allocation in a Humanitarian Supply Chain. En Sahay, B. S., Gupta, S., & Menon, V. C. (Eds.), *Managing humanitarian logistics*. Nueva Delhi: Springer. pp. 189-207. Doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2416-7_14
- Singh, R. K., Gupta, A., & Gunasekaran, A. (2018). Analysing the interaction of factors for resilient humanitarian supply chain. *International Journal of Production Research*, 56 (21), 6809-6827. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1424373>
- Smadi, H., Al Theeb, N., & Bawa'neh, H. (2018). Logistics system for drinking water distribution in post disaster humanitarian relief, Al-Za'atari camp. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8 (4), 477-496. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-12-2017-0072>
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: McGraw Hill.
- Suárez-Moreno, J. D., Osorio-Ramírez, C., & Adarme-Jaimes, W. (2016). Agent-based model for material convergence in humanitarian logistics. *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Antioquia*, 81, 24-34. Doi: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n81a03>
- Swanson, R. D., & Smith, R. J. (2013). A Path to a Public–Private Partnership: Commercial Logistics Concepts Applied to Disaster Response. *Journal of Business Logistics*, 34 (4), 335-346. Doi: <https://doi.org/10.1111/jbl.12031>
- Tang, C., & Tomlin, B. (2008). The power of flexibility for mitigating supply chain risks. *International Journal of Production Economics*, 116 (1), 12-27. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.07.008>
- Tang, J., Zhu, K. J., Guo, H. X., Gong, C. Z., Liao, C., & Zhang, S. W. (2018). Using auction-based task allocation scheme for simulation optimization of search and rescue in

- disaster relief. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 82, 132-146. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2017.12.014>
- Tang, J., Zhu, K., Guo, H., Liao, C., & Zhang, S. (2017). Simulation Optimization of Search and Rescue in Disaster Relief Based on Distributed Auction Mechanism. *Algorithms*, 10 (4), Número de artículo: 125, 17 páginas. Doi: <https://doi.org/10.3390/a10040125>
- Tatham, P., & Kovács, G. (2010). The application of "swift trust" to humanitarian logistics. *International Journal of Production Economics*, 126 (1), 35-45. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.006>
- Tatham, P., & Rietjens, S.B. (2016). Integrated disaster relief logistics: A stepping stone towards viable civil-military networks? *Disasters*, 40 (1), 7-25. Doi: <https://doi.org/10.1111/disa.12131>
- Tatham, P., & Spens, K. (2011). Towards a humanitarian logistics knowledge management system. *Disaster Prevention and Management*, 20 (1), 6-26. Doi: <https://doi.org/10.1108/09653561111111054>
- Tatham, P., & Spens, K. (2016). Cracking the humanitarian logistic coordination challenge: Lessons from the urban search and rescue community. *Disasters*, 40 (2), 246-261. Doi: <https://doi.org/10.1111/disa.12139>
- Tatham, P., Spens, K., & Kovács, G. (2017). The humanitarian common logistic operating picture: a solution to the inter-agency coordination challenge. *Disasters*, 41 (1), 77-100. Doi: <https://doi.org/10.1111/disa.12193>
- Tavana, M., Abtahi, A. R., Di Caprio, D., Hashemi, R., & Yousefi-Zenouz, R. (2018). An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre- and post-disaster management considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 64, 21-37. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.12.004>
- The Guardian. (2018). Quakes, mudslides, an active volcano: inside the world's riskiest city. Guardian Media Group, Londres. Disponible en <https://www.theguardian.com/cities/2018/nov/08/earthquakes-mudslides-active-volcano-worlds-riskiest-city-manizales-colombia>. Consultado: 30. Sep. 2020.
- Thomas, A., & Kopczak, L. (2005). From logistics to supply chain management: The path forward in the humanitarian sector, white paper, Fritz Institute, San Francisco, CA.
- Tian, Y., Zhou, T. S., Yao, Q., Zhang, M., & Li, J. S. (2014). Use of an Agent-Based Simulation Model to Evaluate a Mobile-Based System for Supporting Emergency Evacuation Decision Making. *Journal of Medical Systems*, 38 (12), Número de artículo: 149, 13 páginas. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10916-014-0149-3>
- Timperio, G., Panchal, G. B., Samvedi, A., Goh, M., & De Souza, R. (2017). Decision support framework for location selection and disaster relief network design. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 7 (3), 222-245. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-11-2016-0040>
- Tofighi, S., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2016). Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 250 (1), 239-250. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.059>
- Tomasini, R. M., & Van Wassenhove, L. N. (2009). Humanitarian Logistics. Londres: Palgrave Macmillan.

- Trecarichi, G., Rizzi, V., Marchese, M., Vaccari, L., & Besana, P. (2010). Enabling information gathering patterns for emergency response with the OpenKnowledge system. *Computing and Informatics*, 29 (4), 537-555.
- Tzeng, G. H., Cheng, H. J., & Huang, T. D. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43 (6), 673-686. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.10.012>
- UNESCO. (2010). Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development. Paris. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001897/189753e.pdf>. Consultado: 31. Mar. 2018.
- UNGRD. (2014). Documento de priorización de líneas estratégicas y zonas de intervención en gestión del riesgo de desastres en Colombia. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Bogotá. Disponible en http://cedir.gestiondelriesgo.gov.co/dvd/archivospdf/priorizaci%C3%B3n_ungrd.pdf. Consultado: 5. May. 2016.
- UNGRD. (2018). Colombia menos vulnerable: la gestión del riesgo de desastres en nuestra historia. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Bogotá. Disponible en <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/27176>. Consultado: 30. Sep. 2020.
- UNISDR. (2004). Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Ginebra. Disponible en http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm. Consultado: 26. Feb. 2016.
- UNISDR. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Ginebra. Disponible en <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/43291>. Consultado: 14. May. 2017.
- UNISDR. (2017). The secretariat of the international strategy for disaster reduction. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Ginebra. Disponible en <http://www.unisdr.org/we/inform/terminology>. Consultado: 23. Dic. 2017.
- Vaillancourt, A., & Haavisto, I. (2016). Country logistics performance and disaster impact. *Disasters*, 40 (2), 262-283. Doi: <https://doi.org/10.1111/disa.12146>
- Van der Laan, E. A., de Brito, M. P., Van Fenema, P. C., & Vermaesen, S. C. (2009). Managing information cycles for intra-organisational coordination of humanitarian logistics. *International Journal of Services, Technology and Management*, 12 (4), 362-390. Doi: <https://doi.org/10.1504/IJSTM.2009.025814>
- Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57 (5), 475-489. Doi: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602125>
- Vega, D., & Roussat, C. (2015). Humanitarian logistics: the role of logistics service providers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 45 (4), 352-375. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-12-2014-0309>
- Verma, A., & Gaukler, G. M. (2015). Pre-positioning disaster response facilities at safe locations: An evaluation of deterministic and stochastic modeling approaches. *Computers & Operations Research*, 62, 197-209. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.10.006>

- Vitoriano, B., Rodríguez, J. T., Tirado, G., Martín-Campo, J. M., Ortuño, M. T., & Montero, J. (2015). Intelligent Decision-Making Models for Disaster Management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21 (5), 1341-1360. Doi: <https://doi.org/10.1080/10807039.2014.957947>
- Von Bertalanffy, L. (1976). *Teoría General de los Sistemas*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Voyer, J., Dean, M. D., & Pickles, C. B. (2016). Hospital evacuation in disasters: uncovering the systemic leverage using system dynamics. *International Journal of Emergency Management*, 12 (2), 152-167.
- Wallace, R., Geller, A., & Ogawa, V. A. (2015). *Assessing the Use of Agent-Based Models for Tobacco Regulation*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- Wang, Z. L., & Zhang, J. H. (2019). Agent-based evaluation of humanitarian relief goods supply capability. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 36, Número de artículo: 101105, 11 páginas. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101105>
- Wei, X., Al-Refaie, A., Robles, M., & Noche, B. (2015). A Sustainable Humanitarian Relief Network Study for the Wenchuan Earthquake. En Klumpp, M., de Leeuw, S., Regattieri, A., & de Souza, R. (Eds.), *Humanitarian Logistics and Sustainability*. Cham: Springer. pp. 193-213. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-15455-8_11
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling: Modeling natural, social and engineered complex systems with NetLogo*. Cambridge: MIT Press.
- Wilson, M. M. J., Tatham, P., Payne, J., L'Hermitte, C., & Shapland, M. (2018). Best practice relief supply for emergency services in a developed economy: Evidence from Queensland Australia. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8 (1), 107-132. Doi: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-03-2017-0008>
- Xanthopoulos, A. S., & Koulouriotis, D. E. (2013). A Multi-agent Based Framework for Vehicle Routing in Relief Delivery Systems. En Zeimpekis, V., Ichoua, S., & Minis, I. (Eds.), *Humanitarian and Relief Logistics: Research Issues, Case Studies and Future Trends*. Nueva York: Springer. pp. 167-182. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7007-6_9
- Xu, J. P., Dai, J. Z., Rao, R. Q., & Xie, H. D. (2016). Critical Systems Thinking on the Inefficiency in Post-Earthquake Relief: A Practice in Longmen Shan Fault Area. *Systemic Practice and Action Research*, 29 (5), 425-448. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11213-016-9374-7>
- Xu, L., & Beamon, B. M. (2006). Supply chain coordination and cooperation mechanisms: An attribute-based approach. *Journal of Supply Chain Management*, 42 (1), 4-12. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2006.04201002.x>
- Yadav, D. K., & Barve, A. (2015). Analysis of critical success factors of humanitarian supply chain: An application of Interpretive Structural Modeling. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 12, 213-225. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.01.008>
- Yao, X., Huang, R. T., Song, M. L., & Mishra, N. (2018). Pre-positioning inventory and service outsourcing of relief material supply chain. *International Journal of Production Research*, 56 (21), 6859-6871. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1495853>

- Yi, W., & Özdamar, L. (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*, 179 (3), 1177-1193. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.077>
- Zagorecki, A., Ko, K., & Comfort, L. K. (2010). Interorganizational Information Exchange and Efficiency: Organizational Performance in Emergency Environments. *JASSS-The Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 13 (3), Número de artículo: 3, 6 páginas. Doi: <https://doi.org/10.18564/jasss.1589>
- Zhao, K., Yen, J., Ngamassi, L. M., Maitland, C., & Tapia, A. H. (2012). Simulating inter-organizational collaboration network: a multi-relational and event-based approach. *Simulation-Transactions of The Society for Modeling and Simulation International*, 88 (5), 617-633. Doi: <https://doi.org/10.1177/0037549711421942>
- Zhu, K. J., Tang, J., Guo, H. X., Gong, C. Z., & Li, J. L. (2018). Using a combinatorial auction-based approach for simulation of cooperative rescue operations in disaster relief. *International Journal of Modeling Simulation and Scientific Computing*, 9 (4), Número de artículo: 1850035, 21 páginas. Doi: <https://doi.org/10.1142/S1793962318500356>

A. Anexo A: Revisión de literatura

La revisión de literatura, que estuvo enfocada en artículos y publicaciones científicas que abordan asuntos relacionados con gestión de desastres y logística humanitaria, tuvo como principal intención facilitar la identificación de los elementos que constituyen, en términos generales, el sistema logístico de preparación para la atención de emergencias y desastres. En este sentido, la revisión se concentró en identificar tres aspectos: los procesos logísticos pertenecientes a la fase de preparación en el manejo de desastres; los actores involucrados en estos contextos particulares; y, por último, los indicadores utilizados y aplicados para medir el desempeño de la función humanitaria. A modo de síntesis, se ha elaborado, en primer término, la tabla A.1 (que se muestra en las páginas siguientes) para mostrar los procesos de preparación hallados de acuerdo con los autores consultados en el proceso de revisión.

En lo que concierne a los actores (o sectores) que se ven involucrados en los procesos de manejo de emergencias y desastres, la revisión de literatura permitió la identificación básica de los distintos sectores con base en lo discutido por parte de los autores en sus respectivas publicaciones. Así, una vez adelantada la revisión, han sido encontradas 26 referencias de autores que entregan un listado o enumeración de los actores que comprenden el sistema responsable de los procesos inmersos en la gestión de desastres. Al condensar la información obtenida de lo revisado, se ha estructurado la tabla A.2 que aparece en las páginas siguientes, con el propósito de presentar las distintas organizaciones o actores considerados por los autores consultados.

Tabla A.2. Actores y sectores involucrados en la acción humanitaria según lo hallado en la revisión de literatura.

| | Acimovic y Goentzel (2016) | Balcik y Beamon (2008) | Baldini et al. (2012) | Connelly et al. (2016) | Cozzolino (2012) | De Leeuw et al. (2012) | Dubey y Gunasekaran (2015) | Fontainha et al. (2017) | Ganguly et al. (2017) | Ganguly y Rai (2016) | Jahre y Jensen (2010) | Jensen y Hertz (2016) | Kabra et al. (2015) | Kovács y Spens (2007) | Lu et al. (2018) | Nadi y Edrissi (2017) | Osorio-Ramírez (2016) | Owusu-Kwateng et al. (2017) | Regis-Hernández et al. (2017) | Sahay et al. (2016) | Sahebi et al. (2017) | Schulz (2009) | Sheppard et al. (2013) | Tatham y Rieijens (2016) | Vitoriano et al. (2015) | Yadav y Barve (2015) | |
|--|----------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|---------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|---|
| Agencias de socorro locales | | x | x | | x | | x | | x | x | | | x | x | x | | | | | x | x | | | | x | | x |
| Agencias médicas (hospitales - cuerpos de salud) | | | x | | | x | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | |
| Bomberos | | | | x | | x | | | | | | | | | | x | x | | | | | | | | | | |
| Comunidades locales | | x | | | | | | x | x | x | | | x | x | x | | | x | | x | x | x | x | | | | |
| Cruz roja | | | | x | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | x | | | |
| Donantes | | x | x | | x | | x | x | | | x | | x | x | x | | | | x | | x | | | | | | |
| Gobierno local (administración local, departamentos locales) | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | | x |
| Logísticos (proveedores y servicios logísticos) | | | x | | x | | | x | x | x | x | | x | x | | | | | | | | x | | | | | |
| Medios de comunicación | | | | | | | | x | | | | | x | x | | | | | | | | | | | | | |
| Militares (fuerzas armadas) | x | | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | | | | | | | | x |
| ONG (organizaciones sociales locales, sociales, políticas, religiosas) | x | | x | | x | | x | x | x | x | x | x | | | | x | x | x | x | | | | | x | x | | |
| Policía | | | x | x | | x | | | | | | | | | | x | x | | | | | | | x | | x | |
| Protección civil - Defensa civil | | | | x | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | x |
| Sectores público y privado (organizaciones y empresas) | x | | x | | x | | x | x | | | | x | | x | x | | | x | x | x | | | x | x | | | x |
| Universidades (comunidad académica) | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | |

En tercer término, se han identificado también diversos indicadores que se han utilizado en procesos concernientes a los procesos concernientes a la acción humanitaria. Ello se intentó sintetizar según se muestra en la tabla A.3 que aparece más adelante, y que busca representar las distintas medidas de desempeño tratadas por los autores consultados en el proceso de revisión.

Los distintos procesos, actores e indicadores identificados en la literatura, han servido como base para la elaboración de un instrumento de investigación que ha sido utilizado en un estudio tipo encuesta, cuya aplicación y resultados son descritos en el capítulo 3.

B. Anexo B: Diseño del instrumento de encuesta

B.1 Diseño del instrumento de investigación

Como se postula en el texto de Ranjit Kumar, el proceso de planificación de la recolección de datos implica determinar si se construye un instrumento nuevo o utilizar uno ya creado; lo cual resulta, según el autor citado, en el primer paso práctico al llevar a cabo un estudio investigativo. Así, la construcción de un instrumento de investigación resulta un aspecto clave de cara a la calidad y naturaleza de la información a obtener, por lo que debe desarrollarse en concordancia y coherencia de los objetivos de la investigación (Kumar, 2011). Con base en ello, Hernández-Sampieri et al. (2014) mencionan los siguientes procedimientos para la elaboración, construcción de un instrumento:

- Consolidar (re) definiciones fundamentales a partir de la revisión de la literatura;
- Identificar las variables clave a estudiar;
- Construir y estructurar el instrumento;
- Llevar a cabo la prueba piloto;
- Consolidar la versión final del instrumento;
- Definir el procedimiento de aplicación del instrumento; e
- Interpretar, codificar y analizar los datos, información obtenidos.

Durante la planificación en el diseño del instrumento, se debe ofrecer claridad del instrumento a aplicar, definir a quién, cómo y dónde se aplicará, así como las instrucciones, y datos que serán sometidos a juicio o medición (Hernández-Sampieri et al., 2014). Con ello, lo que se pretende es diseñar, formular las preguntas realmente necesarias que ofrezca llegar a la información deseada (Hernández-Sampieri et al., 2014).

El proceso diseñado para obtener el cuestionario –o instrumento de investigación– concibió preguntas cerradas. De modo que contuviesen opciones de respuesta preestablecidas, a fin de propender la facilidad que presume codificar y analizar estos datos por parte de los investigadores, so pena de limitar las opciones de respuesta. Ello se justifica y sustenta en la revisión de literatura que se ha descrito en secciones anteriores.

En las preguntas cerradas (como se expone en Kumar (2011)) existe la posibilidad de agrupar las opciones de respuesta en categorías para facilitar la lectura y comprensión de

los respondientes. Esto, por supuesto, implica lograr una caracterización efectiva en el proceso de diseño de los elementos o variables a ser consultados. De lo anterior, ya se ha hecho un esfuerzo previo con el proceso de revisión cuyos resultados se han sintetizado en el anexo A, y a partir de los cuales se llega a clasificar los elementos mostrados en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3 del capítulo 3.

No se deja de reconocer la desventaja que supone aplicar preguntas cerradas en lo que respecta a la limitación de las respuestas y en anticipar posibles respuestas que habrán de reunirse (Hernández-Sampieri et al., 2014). Ante esta dificultad, se ha planteado agregar una pregunta abierta para las secciones que conformarán el instrumento. Igualmente, se espera que, mediante la prueba piloto del instrumento puedan ser identificadas posibles respuestas que no se hayan llegado a considerar durante el diseño primario del cuestionario.

Acogiendo las sugerencias ofrecidas en Hernández-Sampieri et al. (2014), el diseño del cuestionario busca la conjunción de los siguientes elementos: portada, introducción, objetivo, contenido del cuestionario, agradecimientos. En este sentido, Kumar (2011), en su acervo argumentativo, sostiene que el orden en que se formulan y presentan las preguntas en un cuestionario es un factor clave de diseño, ya que afecta la calidad de la información reunida, e incluso puede afectar el interés y voluntad del respondiente para participar del estudio. En consecuencia, el contenido del cuestionario planteado incluye las siguientes secciones para su diligenciamiento: (i) autoevaluación del experto encuestado; (ii) evaluación de los procesos logísticos de preparación; (iii) evaluación de los actores locales clave y; (iv) evaluación de los indicadores de desempeño.

La autoevaluación

Una primera aproximación que debe plantearse es determinar el nivel de competencia de un candidato para considerarlo experto, y de este modo incluirlo como potencial respondiente del estudio. Para ello, se ha tomado la metodología expuesta en los trabajos de Córdova (2007) y Cruz y Martínez (2012). Esta metodología se describe así:

El nivel de competencia de un candidato se define según el coeficiente k que se calcula a través de la siguiente expresión:

$$k = 1/2(k_c + k_a), \text{ con } 0 \leq k \leq 1 \quad (B.1)$$

Donde k_c equivale al coeficiente de conocimiento del experto acerca del tema o problema de investigación, mientras que k_a representa el coeficiente de argumentación (o fundamentación) de los criterios técnicos y empíricos que posee el experto.

Para determinar el coeficiente de conocimiento k_c se solicita a la persona asignarse una valoración propia en una escala ascendente de 0 a 10, como se muestra en la tabla B.1.

Aquí, el valor 0 indica un absoluto desconocimiento del problema que se evalúa, e incrementalmente se llega a un valor 10 que representa pleno conocimiento de la problemática referida.

Tabla B.1. Mecanismo de autoevaluación para el factor coeficiente de conocimiento k_c .

| Completo desconocimiento | Calificaciones intermedias | | | | | | | | Pleno conocimiento | |
|-----------------------------|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|-----------------------|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | | | | | | | | | | |

Con esto, el valor k_c se obtiene de dividir el valor seleccionado por 10. Por ejemplo, un experto que estime para sí un valor de 8 en la escala ascendente de la tabla B.1, tendrá un coeficiente de conocimiento igual a:

$$k_c = 8/10 = 0,8$$

De otro lado, el coeficiente de argumentación de los criterios del experto viene calculado a partir de la sumatoria de los puntos obtenidos de la tabla B.2, que ha sido tomada de Cruz y Martínez (2012).

Tabla B.2. Mecanismo de autoevaluación para el factor coeficiente de argumentación k_a .

| Fuentes de argumentación | Grado de influencia de las fuentes en sus criterios | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Capacidad de análisis | 0,00 | 0,04 | 0,07 | 0,11 | 0,14 | 0,18 |
| Comprensión del problema | 0,00 | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,12 |
| Amplitud de enfoques | 0,00 | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,12 |
| Conocimiento del estado actual del problema | 0,00 | 0,03 | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,13 |
| Nivel de motivación por resolver el problema | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,12 | 0,14 |
| Experiencia en el desarrollo de investigaciones teóricas | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,12 | 0,15 |
| Experiencia de orden empírico (práctica profesional) | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,10 | 0,13 | 0,16 |

El patrón de datos ofrecidos en la parte superior de la tabla B.2 considera una escala de evaluación de cero (0) a cinco (5), siendo este último valor, el máximo puntaje posible para cada una de las fuentes o criterios de argumentación. Por supuesto, al respondiente se le ofrecerá la tabla sin las cifras internas de la tabla. En su lugar, se le solicitará que marque la casilla según considere cómo las distintas fuentes han influido en su nivel de conocimiento, dominio, del tema de investigación planteado.

El valor k_a se obtiene a partir de la sumatoria de los valores obtenidos en cada fila de la tabla B.2, en la que cada valor interno constituye el peso asignado a cada fuente argumentativa autoevaluada de la persona respondiente del instrumento.

Una vez se tengan datos suficientes para obtener los valores k_c y k_a se procede a aplicar la ecuación (B.1). Luego, el criterio base para determinar si el nivel de competencia manifestado por un experto es suficiente para incluirlo en el estudio, se asume con un valor de $k \geq 0,75$, según lo propuesto en Cruz y Martínez (2012). En adición, este mecanismo permite la refrendación de expertos que no cumplan con el criterio mínimo, siguiendo la ecuación (B.2) de modo que, si el coeficiente de competencia promedio de todos los encuestados es alto ($\bar{K} > 0,8$), se puede optar por incluir a personas que no cumplieron con el umbral y así analizar sus aportes dentro del estudio (Córdova, 2007).

$$\bar{K} = \frac{\sum k_i}{n} \quad (B.2)$$

Donde \bar{K} es el promedio del nivel de competencia de los candidatos autoevaluados, k_i es el nivel de competencia de cada candidato, y n representa el número de candidatos que han aplicado el mecanismo de autoevaluación.

Los procesos logísticos de preparación

Teniendo en cuenta el propósito de la investigación, que se centra en el estudio del sistema logístico de preparación a nivel local (lo cual implica considerar los principales procesos de preparación y los actores locales clave), el instrumento se ha diseñado para lograr, precisamente, identificar cuáles son los elementos más importantes involucrados en el sistema local de preparación. Con esto en mente, el diseño del instrumento de investigación lleva a que el cuestionario posea un nivel de medición ordinal para los distintos elementos considerados.

En lo que respecta a los procesos de preparación, el diseño inicial del instrumento se planteó a partir de la tabla 3.1 de la sección 3.1.1. del capítulo 3. Así, se solicita evaluar en una escala de 1 a 10 (donde 1 representa la menor importancia, mientras 10 identifica la mayor relevancia) a los procesos logísticos de preparación que aparecen en la tabla B.3, de acuerdo con los criterios que autónomamente considere el respondiente.

Tabla B.3. Procesos logísticos consultados en la primera versión del instrumento.

| Procesos Logísticos | Ranking |
|--|---------|
| Adquisición de equipos y vehículos de transporte | |
| Desarrollo e implementación de planes de respuesta a emergencias | |

| Procesos Logísticos | Ranking |
|---|----------------|
| Desarrollo de acuerdos y relaciones inter-sectoriales | |
| Desarrollo de plataformas colaborativas | |
| Desarrollo de sistemas y plataformas de comunicación | |
| Desarrollo de modelos de pronósticos y herramientas de toma de decisiones | |
| Simulacros de emergencia | |
| Planeación de evacuación y reubicación | |
| Localización y construcción de centros logísticos | |
| Localización de refugios y centros de operaciones de emergencias | |
| Diseño de la red logística | |
| Mantenimiento y control de suministros e inventario | |
| Obtención y preparación de recursos financieros | |
| Educación pública a las comunidades | |
| Compra y pre-posicionamiento de inventarios y suministros de ayuda | |
| Especificación de rutas de evacuación | |
| Estructuración y planificación de la red de distribución | |
| Entrenamiento para el personal de respuesta y ciudadanos | |
| <i>Otro, especifique por favor:</i> | |

Los actores locales clave

En lo concerniente a los actores locales involucrados en la fase de preparación, el instrumento diseñado se basó en lo expuesto en el apartado 3.1.2. y la tabla 3.2, de lo cual se estructuró la tabla B.4 para evaluar este ítem por parte de los expertos consultados. Para esta sección del instrumento, se aplica nuevamente el mecanismo de ponderación, de modo que en la tabla se evalúen los actores más relevantes de 1 a 10, siendo 10 aquel de mayor nivel de importancia.

Tabla B.4. Actores locales consultados en la primera versión del instrumento.

| Actores Locales | Ranking |
|--|----------------|
| Defensa civil | |
| Donantes | |
| Cuerpos de bomberos | |
| Gobierno local | |
| ONG locales | |
| Medios de comunicación local | |
| Agencias de Socorro locales | |
| Proveedores de servicios logísticos | |
| Agencias médicas y hospitales | |
| Fuerzas militares | |
| Personas de la comunidad local | |
| Policía | |
| Compañías del sector público y privado | |
| Cruz Roja | |
| Universidades y comunidad académica | |
| <i>Otro, especifique por favor:</i> | |

Indicadores de desempeño

De la misma manera que se consulta acerca de procesos logísticos y actores locales, el último componente del instrumento se centra en los indicadores de desempeño de relevancia en el marco de la preparación logística para la atención de emergencias y desastres a nivel local. En este sentido, la tabla B.5 se ha estructurado a partir de la sección 3.1.3. con el fin de registrar en ella las opiniones de los expertos a consultar bajo el mismo esquema de evaluación.

Tabla B.5. Indicadores de desempeño consultados en la primera versión del instrumento.

| Indicadores de Desempeño | Ranking |
|--|----------------|
| Agilidad del sistema logístico | |
| Alineación del sistema logístico | |
| Cantidad de donaciones recibidas | |
| Efectividad de la planeación –porcentaje de cumplimiento | |
| Flexibilidad del Sistema logístico | |
| Nivel de utilización de los recursos y capacidades | |
| Costos de localización | |
| Número de instalaciones y centros logísticos localizados | |
| Costos operacionales | |
| Costos de pre-posicionamiento y manejo de inventarios | |
| Calidad de los procesos, productos, servicios, infraestructura, etc. | |
| Confiabilidad del Sistema logístico | |
| Resiliencia del sistema logístico | |
| Tiempos de alistamiento y preparación | |
| Sostenibilidad del sistema | |
| <i>Otro, especifique por favor:</i> | |

Lo que se ha descrito a lo largo de este apartado se ha centrado en la definición de los elementos que conforman el instrumento de investigación diseñado, que estriba en un proceso de revisión de literatura enfocado en tres perspectivas: procesos logísticos de preparación para la atención de desastres, actores locales clave involucrados en la fase de preparación, y los indicadores de desempeño más relevantes en esta etapa. Tales aspectos son elementos fundamentales que conforman el sistema logístico de preparación a nivel local. En este orden de ideas, Hernández-Sampieri et al. (2014) sostienen que todo instrumento de medición y, en especial, todo instrumento de recolección de datos debe cumplir tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad. Según la fuente citada, estos conceptos se convierten en requisitos fundamentales para lograr resultados de investigación que demuestren solidez y rigor científicos. En las líneas que continúan, se describen los procedimientos adelantados para sustentar la confiabilidad, validez y objetividad en el instrumento de investigación diseñado.

B.2 Validación del instrumento de investigación

En el propósito de aplicar un instrumento de investigación, resulta requerido demostrar que este es confiable y válido, ya que, de no ser así, los resultados de su aplicación carecerán de rigor (Hernández-Sampieri et al., 2014). En la búsqueda de constatar rigurosidad del instrumento, en Hernández-Sampieri et al. (2014) se arguye que todo instrumento de

recolección de datos se deben considerar tres criterios fundamentales: la confiabilidad, la validez y la objetividad del instrumento.

En este sentido, y a partir de lo sugerido en Hernández-Sampieri et al. (2014), los ítems que se han seleccionado para configurar el instrumento aseguran representatividad en los aspectos teóricos del tema de investigación; esto es, se busca rigor desde lo teórico-conceptual. Seguidamente, se presentarán algunos aspectos básicos de los términos confiabilidad, validez y objetividad. Los cuales estarán dirigidos particularmente a este proyecto de investigación. Y, seguidamente, se presentará el proceso ejecutado de prueba *test – retest* como estrategia para determinar los criterios de validación descritos en este apéndice.

La confiabilidad

Conceptualmente, Kumar (2011) y Hernández-Sampieri et al. (2014) definen la confiabilidad de un instrumento como el grado en que su aplicación reiterada hacia un individuo u objeto produce los mismos resultados, o al menos, ofrece resultados consistentes o coherentes.

Cuando se busca determinar la confiabilidad de un instrumento, se deben identificar si algunos elementos de su contenido son problemáticos (sea porque no son coherentes, no miden lo que debe medir, etc.) para eliminarlos o corregirlos en su redacción (Hernández-Sampieri et al., 2014). Todo lo cual, debe estar debidamente documentado y justificado, ya que, como proponen los autores, cuanta más información se proporcione de todo el proceso, el lector tendrá una idea más clara de cómo se ha diseñado y consolidado el instrumento, y de cómo se establecieron los elementos, cómo se midieron estos, y cómo se aplicó a la muestra seleccionada.

En el ámbito práctico, Kumar (2011) menciona algunos de los factores que pueden llegar a perjudicar la confiabilidad de un instrumento de investigación. Entre estos se encuentran: la redacción de las preguntas que configuran el cuestionario, la voluntad y el estado de ánimo de los respondientes, y el efecto de regresión del instrumento. Por estos motivos, se hace prudente adelantar un proceso de mejoramiento del instrumento inicialmente diseñado para mitigar tales riesgos. Estos principios serán considerados en la parte final de esta sección, donde se describirá cómo se llevó a cabo la consolidación de la versión final del instrumento.

La validez

La validez de un instrumento, en términos generales, se refiere al grado en que este logra medir realmente lo que se propone medir, por lo cual, es un aspecto que debe alcanzarse en todo instrumento de investigación (Hernández-Sampieri et al., 2014).

En palabras de Hernández-Sampieri et al. (2014), el diseño de un instrumento de recolección de datos necesita tener representados todos (o la mayoría) de los componentes del dominio de las variables objeto de estudio. Lo cual, según los autores citados, aparece en los términos establecidos por la literatura, la teoría o en trabajos antecedentes, y ello implica realizar un proceso de revisión previo de cómo han sido consideradas las variables de interés. Una vez se cumple lo anterior, se puede sustentar la evidencia de los hallazgos a través de opiniones de expertos, voces calificadas, para asegurar que el contenido del instrumento es representativo del universo de las variables de interés. Este proceso no implica que la validez se sustente estadísticamente; pero quiere significar sí, que la representatividad se asegura de manera conceptual (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Igualmente, resulta conveniente compartir lo expuesto por Kumar (2011) quien resalta la validez de un instrumento al sustentar que cada pregunta (o ítem) incluido en el cuestionario debe tener una conexión lógica con los propósitos de la investigación. En otras palabras, el principio establece que la validez del instrumento se soporta desde unos objetivos investigativos –así como hipótesis y preguntas de investigación– claros, de modo que las preguntas del instrumento surjan precisamente de estos elementos (Kumar, 2011).

La objetividad

El tercer modo de sustentar el rigor es el concepto de objetividad. Este se comprende como el grado en que el instrumento es volátil a la influencia de sesgos por parte de los investigadores que lo diseñan, aplican y analizan (Hernández-Sampieri et al., 2014). Con base en ello, se sugiere evitar tendencias ideológicas, políticas y sociales; e, igualmente, la objetividad del instrumento se fortalece a través de la estandarización en: la aplicación del instrumento, las instrucciones que se ofrecen, así como en la evaluación de los resultados obtenidos (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Teniendo en mente que un instrumento de investigación puede llegar a ser confiable, pero al mismo tiempo no ser necesariamente válido, los tres conceptos (validez, confiabilidad y objetividad) no deben ser tratados de forma aislada; ya que, sin alguno de los tres, el instrumento sencillamente puede ser considerado como no útil o pertinente para llevar a cabo el estudio necesario (Hernández-Sampieri et al., 2014).

La prueba piloto (test – retest) realizada para el instrumento de investigación

Como ha quedado dicho, la elaboración de un instrumento de investigación requiere de un dominio de los factores a medir junto con su sustento teórico, argumentativo y conceptual. Al respecto, Hernández-Sampieri et al. (2014) formulan diversas condiciones que afectan tanto la confiabilidad, como la validez y la objetividad de un instrumento. Entre otros, mencionan: la improvisación en el diseño y aplicación del instrumento, el lenguaje utilizado, la extensión del instrumento, la falta de

estandarización en la aplicación del instrumento. En aras de evitar estas dificultades en el estudio de expertos propuesto, y en la información que se ofrezca de parte de las personas a consultar, durante el proceso de diseño del instrumento se decidió aplicar una prueba piloto del instrumento inicialmente elaborado.

Una prueba piloto para un instrumento de investigación consiste en un paso integral en el proceso de diseño. En la prueba piloto se aplica el cuestionario a una muestra distinta a la población de estudio a fin de identificar posibles problemas con la redacción o comprensión de las preguntas del cuestionario y así mejorarlo para su aplicación más apropiada a los expertos que serán incluidos en el estudio (Kumar, 2011). En este sentido, Hernández-Sampieri et al. (2014) proponen como medida de estabilidad, la aplicación del instrumento en más de una ocasión a un mismo grupo de personas a fin de correlacionar estos resultados y, con ello, demostrar su confiabilidad.

Así, un primer piloto se adelantó con el diseño inicial del cuestionario. Tres personas fueron consultadas para que, por un lado, diligenciaran el instrumento y, por otro lado (y no menos importante), compartieran además sus apreciaciones respecto al contenido y forma de las preguntas que se les otorgaron según el orden que se proponía en un principio (recuérdese: autoevaluación, procesos logísticos de preparación, actores locales clave, e indicadores de desempeño). Las personas consultadas fueron las siguientes: (i) una ingeniera industrial con título de maestría y experiencia académica en logística humanitaria; (ii) un ingeniero industrial candidato a doctor con tesis enfocada en el campo de la logística humanitaria; y (iii) un docente titular con conocimientos teóricos y publicaciones en el mismo ámbito académico que los mencionados. El mecanismo de aplicación del instrumento se hizo a través de correo electrónico, por lo que el cuestionario se envió en medio digital.

Las autoevaluaciones de las tres personas consultados fueron respectivamente (i) 0.75, (ii) 0.86, y (iii) 0.83. De lo cual, se obtiene una media de 0.813 en el nivel de experiencia en el campo de estudio. Dado que la media supera el valor crítico de aceptación del grupo de consultados (puesto que $\bar{K} > 0.8$), se considera que los conceptos ofrecidos por ellos tendrán soporte y valor para el estudio. Considerando las observaciones recibidas, se observa que, en términos generales el instrumento es comprensible y conceptualmente coherente con la terminología usada en la literatura. Además, y de acuerdo con los listados ofrecidos en los tres ámbitos consultados (procesos, actores e indicadores), no se llegó a sugerir elementos adicionales a considerar, a excepción del experto (iii) quien sugiere incluir al sector religioso (iglesias locales) como actor importante en la atención de desastres. No obstante, dado que el énfasis de este trabajo está centrado en los procesos de preparación previos al desastre, las iglesias pueden asumirse como organizaciones basadas en la comunidad y entrar en la opción ofrecida como *personas de la comunidad local*.

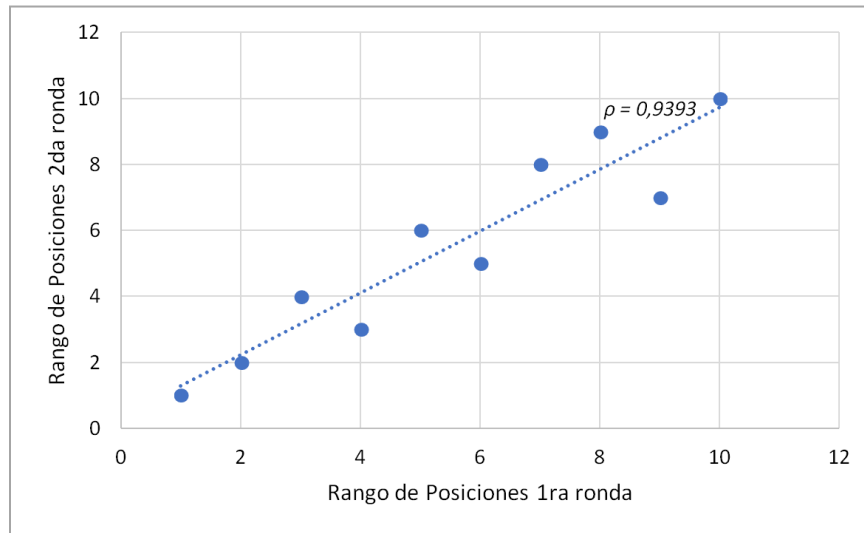
Otro aspecto relevante en las respuestas recibidas tiene que ver con la aparente reiteración o redundancia en los elementos consultados, en los tres aspectos

consultados. De hecho, esto fue manifestado por todos los encuestados. El experto (ii) manifiesta, por ejemplo, “*varios procesos de listados pueden entenderse como redundantes o repetidos*”. A conciencia de este importante hallazgo, fue imprescindible llevar a cabo un rediseño del instrumento, a fin de concretar los elementos a consultar de manera que se reduzca la posibilidad de redundancia de los planteamientos incluidos en el cuestionario. Dicha decisión implicó un nuevo análisis. Esto condujo a la obtención de un documento más concreto y sintetizado. Con lo cual, el segundo diseño del instrumento considera un total de diez procesos logísticos, diez actores y diez indicadores de desempeño. Esto, además de evadir posibles redundancias en los elementos cuestionados –como se viene mencionando– facilita la labor de diligenciamiento por parte de los encuestados al tener que ordenar jerárquicamente, con valores de 1 a 10 y según su criterio, diez elementos distintos de cada una de las secciones consideradas en el instrumento.

Frente a los cambios establecidos en el cuestionario se optó por aplicar por segunda vez el cuestionario al grupo inicial de consultados referenciado en párrafos anteriores, y mediante el mismo medio de comunicación. Al recibir por segunda vez la opinión de estas personas, se pudo realizar un proceso de confrontación –de estabilidad– entre los resultados obtenidos durante la primera y segunda ronda, que configuró la prueba piloto del instrumento de investigación.

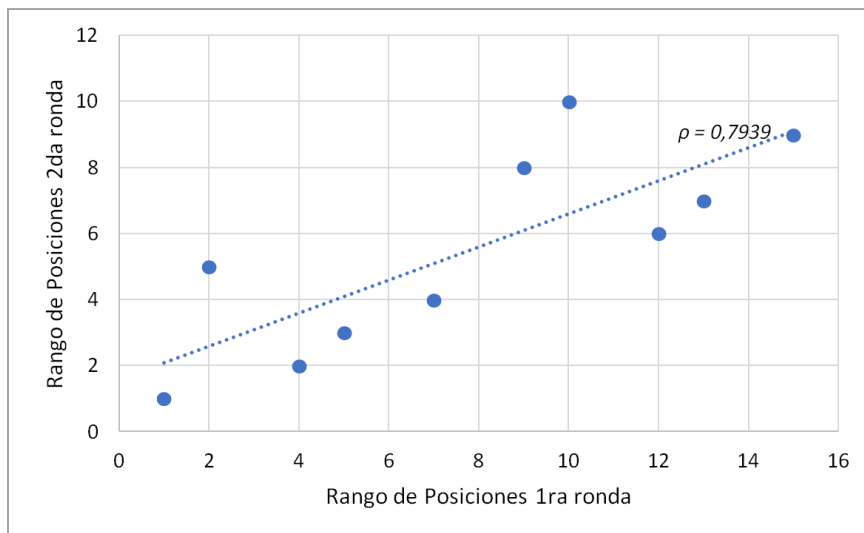
Con base en lo anterior, se busca correlacionar los resultados de las dos rondas de la prueba piloto, para lo cual, se muestra inicialmente la figura B.1, con los resultados obtenidos en función de los procesos logísticos de preparación. Para este caso se observa que se han ubicado en el gráfico los diez procesos considerados en la segunda versión del instrumento de investigación y se compara cómo ha sido la evaluación de estos elementos por parte de los encuestados durante la prueba piloto, respecto a su ordenamiento jerárquico según las posiciones rankeadas obtenidas. El hecho de que el índice de correlación Spearman (ρ) tiene un valor superior a 0,9, ofrece una concordancia alta entre los resultados de ambos momentos de aplicación del cuestionario. Esta conclusión se sustenta teniendo que el valor crítico, considerando una muestra de tamaño 10 elementos y un $\alpha = 0,05$, es de $\rho_0 = 0,564$ (según el texto de William Mendenhall y James Reinmuth (1981)). Esto se presenta así para el caso de los procesos de preparación analizados.

Figura B.1. Concordancia de las dos rondas realizadas en función de los procesos logísticos de preparación.



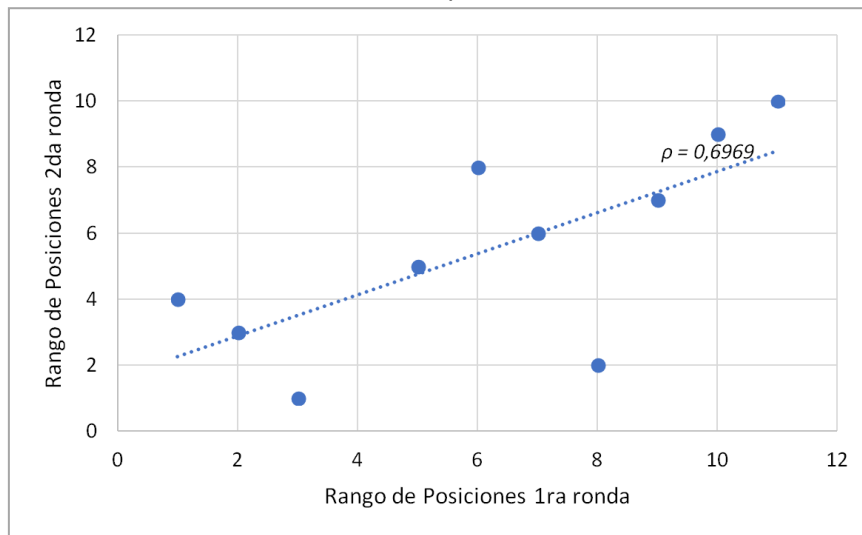
Continuando con este método comparativo, se han elaborado las figuras B.2 y B.3, que aparecen seguidamente. En ellas se muestran los resultados obtenidos de las dos rondas piloto, en lo que respecta a los actores locales clave, y los indicadores de desempeño, respectivamente.

Figura B.2. Concordancia de las dos rondas realizadas en función de los actores locales.



Como se observa de la figura B.2, las posiciones que ocuparon los diez actores locales en las dos rondas durante la prueba piloto poseen un alto nivel de concordancia (prueba de Spearman, $\rho = 0,79$). Ello es una indicación de la estabilidad en las respuestas obtenidas en los dos momentos, aun cuando se dieron cambios importantes (pero necesarios) en el contenido y forma del instrumento de investigación propuesto.

Figura B.3. Concordancia de las dos rondas realizadas en función de los indicadores de desempeño.



Para el caso de la concordancia evaluada en los indicadores de desempeño consultados (figura B.3), se observa una correlación de Spearman de 0,6969. Comparativamente es una correlación inferior frente a los casos anteriores, pero no deja de ser una relación estadísticamente significativa entre las dos instancias (o rondas) ejecutadas (puesto que $\rho > \rho_0$, al nivel de significancia de 0,05). Ello sustenta la idea de concordancia y estabilidad en la aplicación del instrumento en este último aspecto.

Con lo expuesto aquí se ha ofrecido evidencia que sustenta los tres requisitos del cuestionario de recolección de datos: confiabilidad, validez, objetividad. La prueba *test-retest* aplicada en dos rondas demostró que el diseño del instrumento tuvo buena aceptación y comprensión, al igual que consistencia y significancia en las respuestas recibidas durante el piloto. Ello ofrece confianza en la posterior aplicación que tendrá el instrumento. De otro lado, el rigor en el proceso de revisión de literatura, selección de conceptos y modificaciones realizadas en el planteamiento del discurso y elementos consultados desde la prueba piloto, refuerzan el rigor y validez del instrumento desarrollado. En consonancia con lo anterior, la neutralidad lograda en la redacción del cuestionario y la estandarización en los procesos de envío y recepción del instrumento, así como la forma en que se maneja la información recibida, respaldan la objetividad esperada en el estudio propuesto. Esto con el propósito de reducir las posibilidades de sesgo tanto de parte de los respondientes, como de los responsables del estudio. En efecto, y en línea con lo expuesto por Hernández-Sampieri et al. (2014), dentro de los aspectos clave que mitigan el perjuicio en el diseño del instrumento, su validez y confiabilidad, se exhortan los siguientes: el tiempo destinado a su elaboración y consolidación, el uso del instrumento en dos idiomas (como se justifica en la sección 3.4.2. del capítulo 3), y el uso estándar del cuestionario –en términos de instrucciones, secuencia de las preguntas y equivalencia de los idiomas–, así como las condiciones en que se deberá aplicar el instrumento.

Al recapitular las observaciones recibidas a lo largo de la prueba piloto, más allá de los análisis estadísticos presentados antes, se ha podido consolidar los ítems relacionados con procesos, actores e indicadores a incluir en el contenido del cuestionario. En vista de lo anterior, se ha logrado concretar el instrumento de investigación que fue enviado a los expertos académicos en el campo de interés. El cuestionario, que se tradujo al inglés para los investigadores extranjeros, estuvo acompañado de una carta de presentación en la que se exponen los miembros del equipo de investigación, el proyecto y los propósitos del estudio. En las páginas sucesivas, se deja documentada la carta de presentación enviada a los expertos consultados y posterior a esta, la versión final del instrumento diseñado.



PROYECTO: “COORDINACIÓN INTER-ORGANIZACIONAL DE LOS ACTORES LOCALES CLAVE PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LOS PROCESOS LOGÍSTICOS DURANTE LA PREPARACIÓN DE DESASTRES”.

Cordial saludo.

Somos Juan Camilo López y Diana María Cárdenas Aguirre, investigadores adscritos a la Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, y José David Meisel Donoso, investigador de la Universidad de Ibagué. Le escribimos con el propósito de invitarla a participar en una encuesta que anexamos a esta carta, teniendo en cuenta su conocimiento, experticia y prestigio en los campos académicos y científicos de la logística humanitaria.

El objetivo de nuestro estudio es identificar los principales procesos logísticos que se llevan a cabo durante la *fase de preparación de desastres*, los actores locales que están involucrados en estos procesos, así como los principales indicadores de desempeño correspondientes a la etapa de preparación. Este estudio busca proveer nuevos hallazgos investigativos en el campo de la logística humanitaria, particularmente en la coordinación inter-organizacional de actores locales clave durante la preparación logística para la respuesta a desastres. Estos aspectos han generado un interés creciente en los sectores académicos y prácticos durante los últimos tiempos, especialmente en países de bajo y mediano nivel de ingresos.

Para nuestro propósito, solicitamos su colaboración en el diligenciamiento de este cuestionario. Queremos hacer claridad en que su participación en este estudio es voluntaria. Además, queremos garantizarle que toda la información que nos brinde será utilizada para propósitos estrictamente académicos y será procesada con total privacidad. Le pedimos, por favor, diligenciar la información solicitada con la mayor precisión y objetividad posible.

Le solicitamos enviar el cuestionario diligenciado al correo jclopezva@unal.edu.co. Además, le pedimos contactarnos al mismo correo electrónico si requiere alguna información adicional respecto a nuestro estudio, o si considera la necesidad de apoyarle en el diligenciamiento de la encuesta.

Finalmente, queremos agradecerle su colaboración y participación en esta encuesta, pues su opinión es de suma importancia para nosotros.

Atentamente.

DIANA MARÍA CÁRDENAS AGUIRRE, PhD
Profesora Asociada
Universidad Nacional de Colombia

JOSÉ DAVID MEISEL DONOSO, PhD
Profesor Asociado
Universidad de Ibagué

JUAN CAMILO LÓPEZ VARGAS, PhD (c)
Universidad Nacional de Colombia



Estudio de expertos:
 Coordinación inter-organizacional de los actores locales clave para mejorar el desempeño de los procesos logísticos durante la preparación de desastres.



INFORMACIÓN GENERAL

- Fecha de diligenciamiento:
- Nombre de la persona encuestada:
- Cargo actual:
- Institución:
- País:

PARTE I. Introducción

Cordial saludo:

Le estamos escribiendo con el fin de presentarle nuestro proyecto investigativo “Coordinación inter-organizacional de los actores locales clave para mejorar el desempeño de los procesos logísticos durante la preparación de desastres”, que busca identificar los procesos logísticos más relevantes en *la fase de preparación de desastres*, así como *los actores locales clave* involucrados en estos procesos, junto con sus principales *indicadores de desempeño*. En esta investigación, esperamos estructurar un modelo que demuestre cómo, a través de una mejor integración y coordinación inter-organizacional, los actores locales clave mejoran su desempeño durante la preparación de desastres.

Los elementos relacionados con los procesos logísticos, así como los actores locales e indicadores de desempeño, que presentamos más adelante, han sido seleccionados previamente a través de una revisión de literatura, y un proceso adicional de depuración, sistematización y clasificación de la información obtenida de la revisión.

El proyecto investigativo está basado en el reconocimiento de la preparación como una de las etapas más importantes en el proceso de gestión de desastres. Durante la preparación, las organizaciones involucradas son las responsables de varias actividades, como el desarrollo de planes de emergencia, el diseño e implementación de mecanismos de comunicación y sistemas de alerta temprana, la localización estratégica de centros logísticos y humanitarios, así como el pre-posicionamiento de inventarios y suministros humanitarios.

Además, es esencial que las organizaciones humanitarias coordinen y controlen sus procesos, sumado al manejo de escasos recursos disponibles. En este sentido, el uso de indicadores de desempeño permite mejorar la gestión de procesos y recursos mediante la medición de la eficiencia (el uso económico de los recursos) y la efectividad (relacionada con el cumplimiento del servicio).

PARTE II. Objetivo

A partir de lo anterior, acudimos a usted con el propósito de identificar: (i) los procesos logísticos más relevantes que se llevan a cabo durante la preparación de desastres, (ii) los actores locales clave que son responsables de estos procesos, y (iii) las medidas de desempeño más importantes que pueden gestionarse durante la etapa de preparación en el marco de la logística humanitaria.

Para obtener la información requerida hemos diseñado el siguiente instrumento de investigación para la recolección de datos. Le solicitamos completar este cuestionario lo más objetivamente posible. Adicionalmente, le manifestamos que la información que aporte será confidencial y será utilizada exclusivamente con fines estadísticos y académicos. Finalmente, queremos expresarle que será un placer compartir con usted los resultados del estudio, una vez haya finalizado. Agradecemos mucho sus contribuciones.

PARTE III. Mecanismo de autoevaluación

En la siguiente tabla, le pedimos evaluar su nivel de conocimiento en el tema abordado en esta encuesta, es decir, la logística humanitaria. Por favor, marque con una (X) de acuerdo a una escala de 0 a 10.

| Completo desconocimiento | Calificaciones intermedias | | | | | | | | | Pleno conocimiento | |
|--------------------------|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------------|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | 9 |
| | | | | | | | | | | | |

Igualmente, le invitamos a completar la siguiente tabla. Marque con una (X) de acuerdo a los distintos criterios que han influenciado su conocimiento, dominio y experticia en el campo de la logística humanitaria, evaluando cada criterio de 0 a 5 (siendo 5 el nivel más alto).

| Fuentes de argumentación | Grado de influencia de las fuentes en su criterio y dominio del tema de investigación | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Capacidad de análisis | | | | | | |
| Comprensión del problema | | | | | | |
| Amplitud de enfoques | | | | | | |
| Conocimiento del estado actual del problema | | | | | | |
| Nivel de motivación para resolver el problema | | | | | | |
| Experiencia en el desarrollo de investigación teórica | | | | | | |
| Experiencia empírica (práctica profesional) | | | | | | |

PARTE IV. Evaluación: procesos logísticos en la *preparación de desastres*

A partir de los procesos logísticos relacionados con la etapa de *preparación* que se muestran en la siguiente tabla, le solicitamos identificar los procesos logísticos que usted considere más relevantes. Para ello, ordénelos jerárquicamente de 1 a 10 así: asigne 1 al proceso logístico más importante (en la columna *Ranking*) de acuerdo a su criterio, luego asigne 2 al segundo proceso más importante, y continúe de esta manera hasta otorgar 10 al proceso que usted considere de menor relevancia.

| Procesos Logísticos en la <i>preparación</i> de desastres | Ranking |
|---|----------------|
| Adquisición de equipos y vehículos de transporte | |
| Desarrollo de acuerdos y relaciones inter-sectoriales | |
| Desarrollo de plataformas de comunicación y sistemas de alerta temprana | |
| Desarrollo e implementación de planes de respuesta a emergencias | |
| Entrenamiento del personal de respuesta y comunidades | |
| Estructuración, diseño y planificación de la red logística | |
| Gestión y pre-posicionamiento de inventarios y suministros de ayuda | |
| Localización y construcción de centros logísticos y albergues | |
| Obtención y preparación de recursos financieros | |
| Planeación de evacuación y reubicación | |
| <i>Otro, especifique por favor:</i> | |

Comentario abierto (opcional):

Si usted quiere hacer un comentario respecto a los procesos logísticos de preparación considerados en esta sección (relevancia, semántica, procesos faltantes, hay demasiados procesos, se pueden agrupar, etc.), por favor escríbalo a continuación:

PARTE V. Evaluación: Actores locales clave en la *preparación* de desastres

Esta sección se enfoca en los actores locales involucrados en el marco de la logística humanitaria. Con base en la siguiente tabla, le solicitamos identificar los actores locales que usted considere como los más relevantes en el cumplimiento de los procesos logísticos en la fase de *preparación* de desastres. Le pedimos ordenarlos jerárquicamente de 1 a 10, siendo 1 el actor más importante, y 10 el actor de menor importancia.

| Actores Locales en la <i>preparación</i> de desastres | Ranking |
|--|----------------|
| Agencias médicas y hospitales | |
| Cuerpos de bomberos | |
| Cruz Roja | |
| Defensa civil | |
| Gobierno local | |
| ONG locales y organizaciones basadas en la comunidad | |
| Policía | |
| Proveedores de servicios logísticos | |
| Unidades de Socorro locales | |
| Universidades y comunidad académica | |
| <i>Otro, especifique por favor:</i> | |

Comentario abierto (opcional):

Si usted desea realizar algún comentario sobre los actores locales considerados en esta parte (relevancia, semántica, hay muchos actores, faltan actores, se pueden reagrupar, etc.), por favor escríbalo a continuación:

PARTE VI. Evaluación: Indicadores de desempeño

En esta sección, abordamos los indicadores de desempeño que pueden ser medidos y gestionados durante la fase de *preparación*, previo a la ocurrencia de los desastres, en el marco de los procesos logísticos y el sistema de logística humanitaria. Basados en la siguiente tabla, nuevamente le pedimos priorizar los indicadores que usted considere como los más relevantes en el contexto de la *preparación* de desastres, y ordenarlos jerárquicamente de 1 a 10.

| Indicadores de Desempeño en la <i>preparación</i> de desastres | Ranking |
|---|----------------|
| Agilidad del sistema logístico | |
| Alineamiento del sistema logístico | |
| Calidad de los procesos, productos, servicios, infraestructura, etc. | |
| Confiabilidad del sistema logístico | |
| Costos de los procesos logísticos | |
| Efectividad de la planeación –porcentaje de cumplimiento | |
| Nivel de utilización de los recursos y capacidades | |
| Resiliencia del sistema logístico | |
| Sostenibilidad del sistema logístico | |
| Tiempos de alistamiento y preparación | |
| <i>Otro, especifique por favor:</i> | |

Comentario abierto (opcional):

Si usted desea hacer algún comentario respecto a las medidas de desempeño consideradas en esta sección (relevancia, semántica, hay demasiados indicadores, faltan indicadores, se pueden reagrupar, etc.), por favor escríbalo a continuación:

Finalmente, queremos reiterar que sus conceptos y contribuciones serán de mucho valor para nuestra investigación y, de nuevo, apreciamos su colaboración y participación en este estudio.

Atentamente:

DIANA MARÍA CÁRDENAS AGUIRRE, PhD
Profesora Asociada
Universidad Nacional de Colombia

JOSÉ DAVID MEISEL DONOSO, PhD
Profesor Asociado
Universidad de Ibagué, Colombia

JUAN CAMILO LÓPEZ VARGAS. PhD (c)
Universidad Nacional de Colombia

C. Anexo C: Aplicación de la encuesta a expertos

Como se menciona en el capítulo 3 y en el anexo B, los procesos de revisión de literatura y prueba piloto del instrumento de investigación se desarrollaron con el propósito de obtener los insumos fundamentales para consolidar el instrumento que permitiese, a través del estudio de expertos, identificar los principales procesos, actores e indicadores de desempeño que se ven circunscritos durante la fase de preparación en el marco de la gestión de desastres a nivel local. En este sentido, las pretensiones de un estudio de este tipo se relacionan con obtener la perspectiva y opinión de ciertos especialistas de un tema particular, para lo cual se ha de seleccionar la muestra de expertos.

C.1 Selección de la muestra para el estudio

En términos conceptuales, la muestra corresponde al número de personas sobre las cuales se hará la recolección de datos, sin que, necesariamente, representen estadísticamente la población que se estudie (Hernández-Sampieri et al., 2014). En consideración del tipo de investigación y de los objetivos específicos de esta tesis, se opta por un muestreo no probabilístico, particularmente, el muestreo de expertos. La razón: la finalidad del estudio no consiste en generalizar en términos probabilísticos ni lograr representatividad; en su lugar, se intenta obtener información rica, valiosa, de parte de los respondientes que sean pertinentes y expertos en el campo de investigación (Kumar, 2011; Hernández-Sampieri et al., 2014). Por tanto, aparte de las ventajas que los diseños no probabilísticos puedan otorgar (en aspectos económicos, temporales, etc.), lo que importa es que se garantice la inclusión de personas expertas, que ciertamente se necesiten en cumplimiento de los objetivos del estudio (Kumar, 2011).

En línea con lo planteado por Heaslip et al. (2012), no se encuentran criterios predeterminados en las investigaciones cualitativas, o en los muestreos no probabilísticos, para determinar el tamaño de muestra. Al respecto, se han identificado varias proposiciones en la literatura. Landeta et al., (2011) sugieren que para estudios cualitativos (como como los *focus group*, estudios de expertos, etc.), el número de consultados deseable puede oscilar entre 5 y 10 expertos. Por su parte, Muskat et al. (2012) sostienen que se debe asegurar un mínimo de 7 expertos que contribuyan al tema de interés. En

Sarache et al. (2015) se habla de un rango de 7 a 50, en lo que respecta al número de expertos para que un estudio se considere riguroso. Mientras que en Sarache et al. (2005), se propone la siguiente expresión para el cálculo del número de expertos:

$$n = \frac{P(1 - P)K}{i^2} \quad (C.1)$$

En esta ecuación, el número de expertos n se calcula con base en un porcentaje de error P , un nivel de precisión deseado i , y una constante asociada al nivel de confianza K . Así, con ciertos valores, y según sus autores: $P = 0,03$; $i = 0,11$; y $K = 3,8416$, puede tenerse que $n = 9,23$. Esto es, en aproximación, que diez expertos resultan una cantidad aceptable (Sarache et al., 2005). Por otra parte, se puede considerar que acudir a un rango de 7 a 17 expertos resulta un criterio aceptable, lo que se sustenta en lo propuesto por Norman Dalkey (1969), quien gráficamente demostró que el error medio calculado para un grupo de expertos se reduce exponencialmente hasta una muestra de 17 personas.

Una vez se tiene el sustento teórico, se procede a hacer la identificación de los expertos académicos a consultar en el marco del caso particular. Dado que se busca ratificar lo hallado en la revisión de literatura, diversos investigadores académicos de relevancia y renombre a nivel global se han encontrado, a fin de conformar un grupo inicial de personas potenciales a consultar en el estudio propuesto. La tabla C.1 contiene los autores considerados teniendo en cuenta su trayectoria académica-científica demostrada en el campo de la logística humanitaria.

Tabla C.1. Potenciales expertos por consultar en el estudio.

| | Nombre del investigador | Índice H | Número de citaciones | | Nombre del investigador | Índice H | Número de citaciones |
|----|------------------------------|----------|----------------------|----|--------------------------|----------|----------------------|
| 1 | Acimovic, Jason* | 8 | 600 | 20 | Gómez, Camilo* | 5 | 138 |
| 2 | Adarme Jaimes, Wilson* | 15 | 784 | 21 | Gonçalves, Mirian Buss** | 4 | 84 |
| 3 | Akbari, Vahid* | 3 | 79 | 22 | Gonçalves, Paulo* | 17 | 1406 |
| 4 | Akhtar, Pervaiz** | 14 | 624 | 23 | Gupta, Sushil K.* | 57 | 24042 |
| 5 | Altay, Nezhir* | 23 | 3609 | 24 | Haavisto, Ira* | 9 | 290 |
| 6 | Amaya, Johanna* | 11 | 311 | 25 | Heaslip, Graham** | 9 | 307 |
| 7 | Balcik, Burcu* | 14 | 4227 | 26 | Hellingrath, Bernd** | 11 | 336 |
| 8 | Batta, Rajan* | 48 | 8238 | 27 | Holguín-Veras, José* | 47 | 7430 |
| 9 | Besiou, Maria* | 16 | 1300 | 28 | Jahre, Marianne* | 29 | 4510 |
| 10 | Blecken, Alexander* | 15 | 941 | 29 | Jaller, Miguel* | 21 | 2367 |
| 11 | Charles, Aurelie* | 7 | 166 | 30 | Kabra, Gaurav* | 11 | 696 |
| 12 | Chong, Mario* | 5 | 89 | 31 | Kovács, Gyöngyi* | 32 | 5946 |
| 13 | Cozzolino, Alessandra* | 10 | 763 | 32 | Krejci, Caroline C.* | 10 | 1198 |
| 14 | De Leeuw, Sander* | 23 | 1582 | 33 | Kumar, Sameer* | 56 | 11489 |
| 15 | Ertem, Mustafa Alp* | 8 | 590 | 34 | Lauras, Matthieu* | 20 | 1928 |
| 16 | Farahani, Reza Zanjirani** | 32 | 3671 | 35 | Leiras, Adriana* | 14 | 779 |
| 17 | Fontainha, Tharcisio Cotta** | 3 | 24 | 36 | Liu, Nan** | 12 | 382 |
| 18 | Gavidia, Jose V.* | 6 | 826 | 37 | Oloruntoba, Richard* | 18 | 2062 |
| 19 | Goentzel, Jarrod* | 16 | 857 | 38 | Ortuño, Maria T.* | 20 | 2075 |

Tabla C.1. Continuación.

| | Nombre del investigador | Índice H | Número de citaciones | | Nombre del investigador | Índice H | Número de citaciones |
|----|-------------------------------|----------|----------------------|----|-------------------------|----------|----------------------|
| 39 | Osorio-Ramírez, Carlos** | 2 | 12 | 46 | Spens, Karen M.* | 35 | 6565 |
| 40 | Özdamar, Linet* | 35 | 6646 | 47 | Tatham, Peter* | 25 | 2288 |
| 41 | Pedraza-Martínez, Alfonso J.* | 17 | 1162 | 48 | Van Wassenhove, Luk N.* | 101 | 49424 |
| 42 | Ramesh, Anbanandam* | 19 | 1242 | 49 | Vargas-Florez, Jorge* | 4 | 74 |
| 43 | Rodríguez-Espíndola, Oscar* | 6 | 238 | 50 | Vitoriano, Begoña* | 19 | 1454 |
| 44 | Salman, Fatma Sibel* | 26 | 2435 | 51 | Yücel, Eda* | 5 | 324 |
| 45 | Sánchez Gil, Juan Camilo** | 1 | 6 | | | | |

* Cifras de *Google Scholar*.

** Cifras de *Scopus*.

***Información actualizada a enero de 2021.

Como se observa en la tabla, alrededor de medio centenar de investigadores han sido identificados. De estos, se encuentran personajes importantes en el campo específico de la logística humanitaria, investigadores pioneros y vigentes que han apoyado la consolidación de esta área como campo de investigación. Se tiene también autores recientes que, a nivel global, avanzan en el campo y se mantienen en la frontera del conocimiento. E, igualmente, se han encontrado investigadores que, aun cuando poseen un índice de impacto bajo, avanzan en sus estudios enfocándose en los contextos latinoamericanos. Así, se consolida un grupo de interés importante al cual plantear su inclusión y participación en el estudio.

C.2 Envío y recolección de datos

Al considerar que el grupo de expertos identificados tiene una distribución geográfica de nivel mundial, lo más pertinente para hacer llegar el cuestionario diseñado resultó el medio digital del correo electrónico. Kumar (2011) afirma que este el medio más común para recolectar información en la actualidad, y agrega, que para una mejor aceptación del instrumento es necesario enviar además una carta de presentación (que comprenda una breve presentación de los investigadores, el propósito y la importancia del estudio, así como los agradecimientos por la participación de él, como la documentada al final del anexo B), pese a que el medio digital represente un riesgo para obtener una aceptable tasa de respuesta. Por el contrario, Hernández-Sampieri et al. (2014) sostienen que a través del correo electrónico se puede lograr mayor grado de respuesta, pero siempre y cuando el instrumento sea fácil de contestar y pueda diligenciarse en poco tiempo.

Se decide adoptar el método autoadministrado, el cual considera que son los participantes, los expertos encuestados, quienes diligencian directamente el instrumento, sin intermediarios, y hacen el retorno respectivo del cuestionario diligenciado (Hernández-Sampieri et al., 2014). De esto se desprende que el diseño del contenido y la forma del instrumento de investigación sean fundamentales. Tal como se expone en Kumar (2011), los factores que afectan la aceptación del instrumento pueden ser: la claridad en la redacción, la estructura interna del cuestionario, la secuencia de preguntas, el estilo

agradable e interactivo para el lector, incluso el uso de diversos estilos y fuentes en el texto.

A partir de lo anterior, y con base en la muestra objetivo de expertos, se tiene que una gran proporción de estos no tiene como lengua nativa el español. Fue menester diseñar un instrumento alternativo en idioma inglés. El cual, y de modo simultáneo, también siguió los mismos planteamientos de elaboración, análisis, re-escritura, corroboración, validez en el contenido y redacción, y elementos de objetividad (como el uso de palabras e instrucciones estandarizadas, elaboración de una carta de presentación, opciones de respuesta ordenadas en orden alfabético, etc.), que se hizo con el instrumento de investigación elaborado en español.

Precisamente, estas fueron las intenciones de las pruebas piloto y del proceso de validación del instrumento, que son descritos en el anexo B de esta tesis. Estos aspectos, que en apariencia pueden resultar de poca monta, son los que llegan potencialmente a mejorar la tasa de respuesta final por parte de los encuestados. Ya que, según Kumar (2011), la tasa de respuesta depende de aspectos como el interés del tema de investigación, el orden y extensión del cuestionario, la calidad de redacción en las preguntas y la carta de presentación, así como los mecanismos de entrega del cuestionario. Este autor también sostiene que, respecto a la tasa de respuesta, en ocasiones se puede obtener una tasa tan baja como del 20 por ciento.

Considerando los datos de la tabla C.1, se envió un total de 51 correos electrónicos a los expertos identificados. Esto ocurrió en los días 22 de marzo a 25 de marzo de 2019. En dichos correos se enviaron tanto los cuestionarios, como las cartas de presentación respectivas, a fin de socializar los propósitos concretos del estudio. En los días sucesivos, se lograron recolectar nueve cuestionarios diligenciados.

En vista del nivel de respuesta obtenido hasta un mes después del primer envío realizado (es decir, para el día 22 de abril de 2019), se decidió hacer un segundo llamado a los expertos que estaban pendientes de respuesta. Por tanto, aquel día de abril se enviaron 42 nuevos correos a modo de recordatorio. A partir de este segundo envío, se recibieron cinco respuestas más. Con fecha 14 de mayo de 2019 se dio por cerrada la recepción de instrumentos diligenciados con el último experto que acogió la invitación hecha. Casi dos meses transcurrieron desde el envío del primer correo electrónico invitando a participar en el estudio, hasta la fecha de cierre de respuestas. En total, catorce cuestionarios diligenciados se recibieron durante este lapso. A modo de resumen, se comparte la tabla C.2, que contiene una información básica relacionada con la cantidad y origen de los cuestionarios que se recibieron diligenciados.

Tabla C.2. Cuestionarios diligenciados recibidos durante el estudio de expertos.

| País de origen | Envíos realizados | Respuestas recibidas |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Alemania | 3 | - |
| España | 2 | 1 |
| Finlandia | 3 | - |
| Francia | 3 | 1 |
| Inglaterra | 4 | 1 |
| Irlanda | 1 | 1 |
| Italia | 1 | - |
| Países Bajos | 1 | - |
| Suiza | 1 | - |
| Turquía | 5 | 1 |
| Brasil | 3 | 1 |
| Colombia | 4 | 3 |
| Estados Unidos | 13 | 2 |
| Perú | 2 | 2 |
| China | 1 | - |
| India | 2 | - |
| Australia | 2 | 1 |
| Total | 51 | 14 |
| Tasa de respuesta | 27.5 % | |

Lo mostrado en la tabla C.2, ofrece evidencia del origen en las respuestas que se lograron reunir. En consecuencia, se observa que el mayor nivel de participación, comparativamente, se obtiene del continente americano y, en gran medida de la América Latina. Asimismo, se obtuvieron respuestas provenientes de investigadores, expertos, radicados en países europeos y en Australia. Ello permite una observación, o un panorama amplio, en términos geográficos, de lo que fue el nivel de participación y acogida, que a nivel global tuvo el estudio. La tasa de respuesta superior al 27% imprime confianza si se tiene en cuenta lo comentado en párrafos anteriores. Este indicador es valioso, considerando que estudios de relevancia han sido publicados con tasas de respuesta comparables a la lograda aquí, en el campo de la logística humanitaria (por ejemplo, se puede consultar los trabajos de Menth, 2014; Haavisto y Goentzel, 2015; y Maghsoudi y Pazirandeh, 2016).

Seguidamente, se presentará cómo se realizó el manejo de la información recolectada durante el estudio que fue ofrecida por parte de los expertos, su utilidad y valor estadístico y, finalmente, cuál fue la decisión final de selección de los procesos, actores e indicadores de desempeño más relevantes a considerar en el diseño de un modelo para los contextos locales de gestión para la preparación de la atención y respuesta a emergencias y desastres.

C.3 Procesamiento y análisis de la información reunida

En busca de una caracterización de los respondientes que compartieron sus apreciaciones respecto a los elementos que se consultaban en el cuestionario, se comienza con la parte

inicial de este, es decir, la sección de autoevaluación de los expertos. En consonancia, se elaboró la tabla C.3, donde se presenta los puntajes resumidos a partir de las respuestas recibidas.

De acuerdo con lo observado, los catorce respondientes, que hicieron llegar sus respuestas desde diez países, en tres continentes, poseen un coeficiente de competencia aceptable para avanzar con el estudio planteado (puesto que $\bar{K} > 0,8$, según se explica en el anexo B). El análisis de los datos se realizará, por tanto, bajo esta consideración.

Tabla C.3. Datos generales sobre los coeficientes de competencia de los expertos.

| Estadístico | k | k_c | k_a |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Media | 0,83 | 0,83 | 0,83 |
| Mínimo | 0,64 | 0,60 | 0,67 |
| Máximo | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Desviación estándar | 0,13 | 0,14 | 0,13 |
| Coficiente de variación | 0,15 | 0,17 | 0,15 |

En vista de lo siguiente: el tipo de estudio desarrollado, el proceso de muestreo, y la naturaleza de los datos recolectados, se decide realizar el manejo de la información a través de estadística no paramétrica. En palabras de Sidney Siegel (1978), las pruebas estadísticas no paramétricas son útiles para datos clasificatorios medidos en escala nominal u ordinal, y también cuando no se especifica o no son claros los parámetros (o distribución) de la población de la que se tomó la muestra. En términos específicos, se ha usado el coeficiente W de Kendall, con base en el cual se puede probar el nivel de acuerdo, concordancia, entre los expertos (Siegel, 1978; Gómez-Ramírez, 2017).

Conceptualmente, el coeficiente de concordancia de Kendall es una medida de la relación o asociación de varias ordenaciones k (independientes entre sí), respecto a cierto número de objetos N . Por lo cual, se considera un mecanismo útil en estudios que pretenden demostrar la confiabilidad entre distintos jueces, o expertos. Interpretativamente, el coeficiente refleja un índice de divergencia del acuerdo mostrado por los datos obtenidos, respecto al máximo nivel de acuerdo posible (Siegel, 1978).

Seguidamente, se presentará el método por el cual se calcula el coeficiente de concordancia Kendall, al igual que su prueba de significancia respectiva. Este procedimiento es tomado del texto elaborado por Siegel (1978).

Con el objeto de calcular el coeficiente de concordancia Kendall (W) es necesario obtener la sumatoria de los puntajes (R_j), para cada fila de la matriz de observaciones de tamaño $N \times k$ (donde N representa el número de los elementos a ordenar y k el número de ordenaciones realizadas, es decir, de expertos). Luego, se suman los valores R_j y se divide por N para calcular el valor medio de las R_j . Y, a su vez, se calcula la desviación de cada valor R_j respecto a la media calculada. Una vez completados estos pasos, se halla el valor s , entendido como la suma de los cuadrados de las desviaciones (ecuación (C.2)).

$$s = \sum_{i=1}^j \left(R_j - \frac{\sum R_j}{N} \right)^2 \quad (C.2)$$

Una vez cumplimentados estos pasos, se puede calcular el valor W , a partir de la siguiente expresión:

$$W = \frac{s}{\frac{1}{12} k^2 (N^3 - N)}, \text{ con } 0 \leq W \leq 1 \quad (C.3)$$

En caso de obtener observaciones ligadas, es decir, puntuaciones empatadas por parte del criterio experto, se asigna el promedio de los rangos a las observaciones empatadas. Esto implica una reducción en el valor de W . Por lo que se introduce un factor de ajuste (T) que se calcula así:

$$T = \frac{\sum(t^3 - t)}{12} \quad (C.4)$$

En la ecuación (C.4), t es el número de observaciones empatadas en la ordenación hecha por un experto, y el símbolo Σ indica que se deben sumar todos los distintos empates, en caso de haberlos. Una vez hecho el ajuste correspondiente, el coeficiente de concordancia se calculará con la ecuación (C.5).

$$W = \frac{s}{\frac{1}{12} k^2 (N^3 - N) - k \Sigma T} \quad (C.5)$$

Donde el factor ΣT implica sumar todos los valores de T en todas las ordenaciones realizadas (k). En otras palabras, implica sumar los valores T en caso de que más de un experto haya tenido ordenaciones con elementos empatados.

Al tener concretados estos cálculos se procede con un aspecto fundamental en el proceso: realizar la prueba de significancia. Según Siegel (1978), cuando se tienen muestras grandes y un valor N mayor a 7, la siguiente expresión se distribuye como chi cuadrado χ^2 , con $N - 1$ grados de libertad:

$$\chi^2 = k(N - 1)W \quad (C.6)$$

Una vez calculado el valor de χ^2 se compara con el valor crítico según el nivel de significancia particular. Con $N - 1$ grados de libertad, si χ^2 iguala o excede el valor crítico, la hipótesis de nulidad de que las k ordenaciones de los expertos no están relacionadas puede rechazarse con ese nivel de significancia. Dicho de otro modo: al rechazar la hipótesis de nulidad, se estima que las observaciones de los expertos están relacionadas,

son concordantes entre sí; es decir, el coeficiente de concordancia de Kendall es significativamente diferente de cero.

Centrándose en el estudio de expertos realizado, y considerando que fueron tres estudios que comprendió internamente el instrumento aplicado (haciendo referencia a los procesos, actores locales e indicadores), a continuación, se describirá la significancia de los resultados obtenidos a través del manejo de los datos recolectados.

Respecto de los procesos de preparación

Bajo la consideración que se recibieron 14 respuestas válidas por parte de los expertos consultados (para el caso de los procesos logísticos de preparación), se tiene $k = 14$. Además, como se consultó respecto a diez procesos, entonces $N = 10$. La jerarquización solicitada a los encuestados se hizo para que se otorgara un valor de 1 al proceso más importante y así sucesivamente hasta otorgar 10 al proceso de menor importancia según el criterio cada encuestado. Los puntajes ofrecidos y reunidos a través de la aplicación del cuestionario se muestran en la tabla C.4.

Tabla C.4. Ordenaciones recibidas para los procesos de preparación por parte de los expertos.

| Procesos logísticos de preparación | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 | E11 | E12 | E13 | E14 | R_j |
|---|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Adquisición de equipos y vehículos de transporte | 10 | 9,5 | 8 | 10 | 10 | 10 | 8 | 10 | 8 | 9 | 10 | 6 | 3 | 7 | 118,5 |
| Desarrollo de acuerdos y relaciones inter-sectoriales | 4 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 5 | 4 | 1 | 8 | 7 | 9 | 8 | 58 |
| Desarrollo de plataformas de comunicación y sistemas de alerta temprana | 4 | 3,5 | 9 | 2 | 7 | 8 | 6 | 4 | 9 | 8 | 5 | 4 | 10 | 9 | 88,5 |
| Desarrollo e implementación de planes de respuesta a emergencias | 4 | 3,5 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 4 | 6 | 1 | 1 | 10 | 42,5 |
| Entrenamiento del personal de respuesta y comunidades | 4 | 3,5 | 5 | 5 | 3 | 7 | 7 | 8 | 5 | 3 | 1 | 10 | 5 | 6 | 72,5 |
| Estructuración, diseño y planificación de la red logística | 4 | 7 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 8 | 7 | 1 | 48 |
| Gestión y pre-posicionamiento de inventarios y suministros de ayuda | 9 | 7 | 6 | 7 | 9 | 9 | 5 | 6 | 6 | 7 | 3 | 3 | 4 | 2 | 83 |
| Localización y construcción de centros logísticos y albergues | 4 | 7 | 7 | 8 | 5 | 5 | 9 | 7 | 7 | 6 | 7 | 2 | 6 | 3 | 83 |
| Obtención y preparación de recursos financieros | 8 | 9,5 | 10 | 9 | 8 | 3 | 4 | 3 | 3 | 5 | 4 | 9 | 8 | 4 | 87,5 |
| Planeación de evacuación y reubicación | 4 | 3,5 | 3 | 6 | 6 | 6 | 10 | 9 | 10 | 10 | 9 | 5 | 2 | 5 | 88,5 |

Al tomar las observaciones y puntajes ofrecidos por los expertos, se procede a aplicar la ecuación (C.2), tal que:

$$s = \sum_{i=1}^j \left(R_j - \frac{\sum R_j}{N} \right)^2 = 4581,5$$

Dado se presentaron observaciones ligadas en dos de los respondientes (ver E1 y E2 en la tabla C.4), se procede a utilizar la ecuación (C.5), teniendo que $T = 35,5$.

$$W = \frac{s}{\frac{1}{12}k^2(N^3 - N) - k \sum T} = \frac{4581,5}{\frac{1}{12}14^2(10^3 - 10) - 14(35,5)} = 0,2923$$

Así, se obtiene una concordancia de 0,2923 entre los expertos considerados en esta parte. Para valorar la significancia de este indicador, se aplica la ecuación (C.6). A partir de esta se obtiene:

$$\chi^2 = k(N - 1)W = 14(10 - 1)0,2923 = 36,83$$

En la tabla de valores críticos de chi cuadrado presentada en el texto de Siegel (1978), se muestra que con $N - 1$ grados de libertad, es decir $gl = 9$, y una significancia de 0,05, el valor crítico de correspondencia es de 16,92. Para este caso, dado que $\chi^2 \geq 16,92$, se encuentra que, significativamente, $W \neq 0$. Es decir, no hay evidencia suficiente para indicar que los expertos estuvieron completamente discrepantes en sus opiniones. Esto es un hallazgo que permite tomar en cuenta los resultados del estudio y, con lo cual, puede realizarse la jerarquización de los procesos logísticos de preparación a partir de los puntajes totalizados otorgados por parte de los expertos. La tabla C.5 contiene la ordenación final de los elementos considerados en el instrumento de investigación respecto a los procesos de preparación.

Tabla C.5. Datos obtenidos del estudio de expertos para los procesos de preparación.

| Posición | Procesos logísticos de preparación | R_j |
|----------|---|-------|
| 1 | Desarrollo e implementación de planes de respuesta a emergencias | 42,5 |
| 2 | Estructuración, diseño y planificación de la red logística | 48 |
| 3 | Desarrollo de acuerdos y relaciones inter-sectoriales | 58 |
| 4 | Entrenamiento del personal de respuesta y comunidades | 72,5 |
| 5 | Gestión y pre-posicionamiento de inventarios y suministros de ayuda | 83 |
| 6 | Localización y construcción de centros logísticos y albergues | 83 |
| 7 | Obtención y preparación de recursos financieros | 87,5 |
| 8 | Desarrollo de plataformas de comunicación y sistemas de alerta temprana | 88,5 |
| 9 | Planeación de evacuación y reubicación | 88,5 |
| 10 | Adquisición de equipos y vehículos de transporte | 118,5 |

Asumiendo los cálculos llevados a cabo, se tiene que los procesos que ocupan los primeros lugares, con base en la opinión de los expertos consultados, son los relacionados con: el desarrollo y planes de respuesta, el diseño de la red logística, el desarrollo de acuerdos inter-sectoriales, el entrenamiento de personal de socorro y comunidades, el pre-posicionamiento de materiales, y las decisiones de localización. De acuerdo con los procedimientos estadísticos, se encuentra, además, que existe un acuerdo en la ordenación ofrecida a través del instrumento aplicado, con el fin de elegir

procesos logísticos relevantes en el contexto de la preparación de emergencias y desastres.

Respecto de los actores locales

Teniendo en cuenta los cuestionarios recibidos, se obtuvieron once respuestas completas en lo concerniente a los actores locales involucrados en el contexto de la preparación para los desastres. Luego, $k = 11$. Como se consultó acerca de diez actores distintos, $N = 10$. La información que resume las respuestas recolectadas se presenta en la tabla C.6.

Tabla C.6. Ordenaciones recibidas de los actores locales por parte de los expertos.

| Actores locales | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 | E11 | R_j |
|--|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|-------|
| Agencias médicas y hospitales | 4 | 4 | 7 | 4 | 7 | 9 | 7 | 8 | 5 | 3,5 | 6 | 64,5 |
| Cuerpos de bomberos | 6 | 8 | 4 | 3 | 3 | 7 | 5 | 3,5 | 6 | 3,5 | 8,5 | 57,5 |
| Cruz Roja | 9 | 5 | 1 | 2 | 5 | 2 | 8 | 7 | 4 | 7 | 4 | 54 |
| Defensa civil | 2 | 1 | 5 | 1 | 4 | 3 | 4 | 2 | 9 | 3,5 | 8,5 | 43 |
| Gobierno local | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 9 | 1 | 29 |
| ONG locales y organizaciones basadas en la comunidad | 7 | 3 | 2 | 8 | 2 | 1 | 2 | 5 | 2 | 1 | 2 | 35 |
| Policía | 5 | 9 | 10 | 6 | 6 | 6 | 3 | 3,5 | 8 | 7 | 8,5 | 72 |
| Proveedores de servicios logísticos | 8 | 6 | 8 | 9 | 8 | 8 | 6 | 9 | 7 | 7 | 5 | 81 |
| Unidades de Socorro locales | 3 | 7 | 6 | 7 | 9 | 5 | 9 | 6 | 3 | 3,5 | 3 | 61,5 |
| Universidades y comunidad académica | 10 | 10 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 8,5 | 107,5 |

Cuando se logró consolidar la información de esta tabla, se pasó a aplicar de nuevo el procedimiento estadístico descrito antes. Así se utiliza la ecuación (C.2) para este caso:

$$s = \sum_{i=1}^j \left(R_j - \frac{\sum R_j}{N} \right)^2 = 4778,5$$

Como varios expertos otorgaron calificaciones ligadas –o empatadas– en algunos de los ítems consultados (E8, E10 y E11 en la tabla C.6), el cálculo del coeficiente de correlación W se realizó con base en la ecuación (C.5), a partir de un valor $T = 12,5$.

$$W = \frac{s}{\frac{1}{12} k^2 (N^3 - N) - k \sum T} = \frac{4778,5}{\frac{1}{12} 11^2 (10^3 - 10) - 11(12,5)} = 0,4854$$

Este indicador, muestra un nivel de concordancia de 0,4854 entre los expertos que respondieron este aspecto del instrumento de investigación. Ante lo cual, se procede a definir su significancia estadística. Según la ecuación (C.6):

$$\chi^2 = k(N - 1)W = 11 (10 - 1) 0,4854 = 48,052$$

Tal como se expresaba anteriormente, teniendo $gl = 9$ y una significancia de 0,05, el valor crítico para chi cuadrado es de 16,92. Por tanto, al ser $\chi^2 \geq 16,92$, significativamente se encuentra que el coeficiente de concordancia de Kendall es distinto de cero, es decir, que los expertos consultados poseen un cierto grado de alineación en su criterio para realizar la ordenación de los actores locales. Con base en esto, se ha elaborado la tabla C.7 para mostrar el ordenamiento realizado a partir de los puntajes otorgados por parte de los respondientes del cuestionario.

Tabla C.7. Datos obtenidos del estudio de expertos para los actores locales.

| Posición | Actores locales | R_j |
|----------|--|-------|
| 1 | Gobierno local | 29 |
| 2 | ONG locales y organizaciones basadas en la comunidad | 35 |
| 3 | Defensa civil | 43 |
| 4 | Cruz Roja | 54 |
| 5 | Cuerpos de bomberos | 57,5 |
| 6 | Unidades de Socorro locales | 61,5 |
| 7 | Agencias médicas y hospitales | 64,5 |
| 8 | Policía | 72 |
| 9 | Proveedores de servicios logísticos | 81 |
| 10 | Universidades y comunidad académica | 107,5 |

En esta tabla se observa que los principales actores a nivel local, para la fase de preparación, y de acuerdo con la opinión de los expertos, son: el gobierno local, las organizaciones basadas en la comunidad, la defensa civil, la cruz roja, los cuerpos de bomberos, así como las agencias de socorro locales. En este sentido, se ha logrado jerarquizar estos elementos según se esperaba al través del desarrollo de este estudio.

Respecto de los indicadores de desempeño

Para el último de los aspectos consultados en el cuestionario, se obtuvieron en total trece respuestas completas frente a los indicadores de desempeño. Por lo que aquí se tiene un valor $k = 13$. Siendo que diez indicadores fueron los consultados, $N = 10$. Con base en los datos recolectados en el estudio, se presenta a continuación la tabla C.8.

Tabla C.8. Ordenaciones recibidas de los indicadores de desempeño por parte de los expertos.

| Indicadores de desempeño | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 | E11 | E12 | E13 | R _j |
|--|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|----------------|
| Agilidad del sistema logístico | 5 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 4 | 1 | 3 | 7,5 | 2 | 7 | 10 | 49,5 |
| Alineamiento del sistema logístico | 10 | 7 | 9 | 10 | 2 | 6 | 7 | 2 | 2 | 7,5 | 1 | 8 | 8 | 79,5 |
| Calidad de los procesos, productos, servicios, infraestructura, etc. | 7 | 5 | 7 | 6 | 6 | 8 | 3 | 5 | 8 | 7,5 | 7 | 3 | 9 | 81,5 |
| Confiabilidad del Sistema logístico | 2,5 | 4 | 8 | 5 | 4 | 3 | 1 | 7 | 5 | 7,5 | 8 | 4 | 5 | 64 |
| Costos de los procesos logísticos | 1 | 9 | 5 | 8 | 8 | 7 | 10 | 4 | 9 | 7,5 | 4 | 5 | 2 | 79,5 |
| Efectividad de la planeación – porcentaje de cumplimiento | 5 | 10 | 10 | 1 | 9 | 9 | 6 | 3 | 1 | 3 | 6 | 1 | 1 | 65 |
| Nivel de utilización de los recursos y capacidades | 9 | 8 | 6 | 7 | 7 | 4 | 9 | 9 | 4 | 1,5 | 3 | 6 | 3 | 76,5 |
| Resiliencia del sistema logístico | 2,5 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 6 | 6 | 4 | 9 | 9 | 4 | 51,5 |
| Sostenibilidad del sistema logístico | 8 | 2 | 3 | 9 | 10 | 10 | 8 | 10 | 7 | 7,5 | 10 | 10 | 6 | 100,5 |
| Tiempos de alistamiento y preparación | 5 | 6 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 8 | 10 | 1,5 | 5 | 2 | 7 | 67,5 |

Consecuentemente con el procedimiento de análisis, y con base en los datos de la tabla C.8, se procede a calcular el coeficiente de concordancia de Kendall. Se tiene en primer término:

$$s = \sum_{i=1}^j \left(R_j - \frac{\sum R_j}{N} \right)^2 = 2092,5$$

Nuevamente, como en los casos anteriores, esta parte del estudio tuvo también ciertas clasificaciones con puntajes empatados (ver E1 y E10 en la tabla C.8). Por lo que el cálculo del *W* de Kendall se aplicó con el factor de ajuste, con *T* = 20,5. De modo que:

$$W = \frac{s}{\frac{1}{12} k^2 (N^3 - N) - k \sum T} = \frac{2092,5}{\frac{1}{12} 13^2 (10^3 - 10) - 13(20,5)} = 0,153$$

Ante el valor obtenido del coeficiente de concordancia *W* = 0,153, se procede al análisis de significancia: el valor chi cuadrado para este caso es:

$$\chi^2 = k(N - 1)W = 13(10 - 1)0,153 = 17,902$$

Nuevamente, con *gl* = 9 y una significancia de 0,05, el valor crítico para chi cuadrado es de 16,92. Por lo tanto, y dado que $\chi^2 \geq 16,92$, la hipótesis de nulidad de que las opiniones de los expertos no están relacionadas puede rechazarse al nivel de significancia de 0,05. En consonancia, se adopta la ordenación acumulada por parte de los expertos, la cual se muestra seguidamente en la tabla C.9.

Tabla C. 9. Datos obtenidos del estudio de expertos para los indicadores de desempeño.

| Posición | Indicadores de desempeño | R_j |
|-----------------|--|-------------------------|
| 1 | Agilidad del sistema logístico | 49,5 |
| 2 | Resiliencia del sistema logístico | 51,5 |
| 3 | Confiabilidad del Sistema logístico | 64 |
| 4 | Efectividad de la planeación –porcentaje de cumplimiento | 65 |
| 5 | Tiempos de alistamiento y preparación | 67,5 |
| 6 | Nivel de utilización de los recursos y capacidades | 76,5 |
| 7 | Alineamiento del sistema logístico | 79,5 |
| 8 | Costos de los procesos logísticos | 79,5 |
| 9 | Calidad de los procesos, productos, servicios, infraestructura, etc. | 81,5 |
| 10 | Sostenibilidad del sistema logístico | 100,5 |

Los resultados del estudio arrojan que indicadores de desempeño de mayor relevancia para la fase de preparación –según los expertos consultados–, tienen que ver con: la agilidad, resiliencia y confiabilidad del sistema logístico; también están el nivel de cumplimiento de los procesos de preparación, los tiempos de ejecución, y el nivel de utilización de recursos y capacidades.

Los resultados obtenidos mediante el estudio de expertos mostrado en este apéndice resultan claves para la definición de los elementos clave y estructuración del sistema local de preparación para la atención de desastres que se modela en los capítulos 4 y 6 de esta tesis.

D. Anexo D: Diseño del instrumento de entrevista

D.1 Proceso de estructuración del instrumento

Teniendo en cuenta las necesidades de información sugeridas en los capítulos 4 y 5 de esta tesis, respecto a los datos necesarios para alimentar el modelo de simulación MBA, junto con el tipo de estudio de campo basado en entrevistas, el proceso de diseño del instrumento de recolección de datos inició con una estructura propuesta para el cuestionario, que se configuró de los elementos siguientes.

Parte inicial

- Encabezado. Espacio destinado a diligenciar información técnica de la entrevista, incluyendo aspectos de fecha del encuentro, nombre del entrevistador, nombre de la organización entrevistada, nombre de la persona entrevistada, cargo que ocupa en la organización, teléfono de contacto y correo electrónico.
- Introducción. Allí se presenta el proyecto y sus propósitos investigativos; se justifica la realización de la serie de entrevistas en las organizaciones humanitarias del municipio.
- Objetivo. Se describe el propósito del estudio y particularmente de la entrevista.

Caracterización de los procesos de preparación

El propósito de esta sección es identificar en qué procesos de preparación para la atención de emergencias relacionadas con fenómenos hidrometeorológicos ha participado la organización, de qué manera se ejecutan y con qué recursos cuenta para participar en ellos. Cada pregunta se estructuró con el apoyo de tablas para su diligenciamiento según las intenciones específicas de cada ítem del cuestionario.

- La primera pregunta se enfoca en identificar la relación entre la organización y los procesos de preparación. Para ello se propuso el formato que se muestra en la tabla D.1.

Tabla D.1. Formato propuesto para diligenciar la primera pregunta del instrumento.

| Tipo | Procesos | Sí ha participado | No ha participado | | Observaciones |
|-------------------------------|---|-------------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| | | | Es su función | Posee las capacidades | |
| Planificación de la respuesta | Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres (PMGRD y EMRE) | | | | |
| Diseño de la red logística | Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | | | | |
| | Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones | | | | |
| | Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | | | | |
| | Adquirir herramientas y vehículos | | | | |
| | Adquirir equipos de comunicación | | | | |
| Relaciones | Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | | | | |
| Capacitación | Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | | | | |
| | Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | | | | |
| Pre-posicionamiento | Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | | | | |
| Localización | Elegir ubicación de centros de almacenamiento | | | | |
| | Elegir ubicación de centros de distribución y entrega de ayuda humanitaria | | | | |
| | Elegir ubicación de albergues y zonas seguras | | | | |

- Identificación de los recursos organizacionales. Posteriormente se consulta sobre la posesión o disposición de distintos tipos de recursos con los cuales cuenta la organización para su participación en los distintos procesos de preparación de emergencias a nivel local. Cabe mencionar aquí, que los distintos tipos de recursos, o categorización de los recursos consultados ha sido tomado de lo establecido en la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias (EMRE) vigente. Se espera así, que los entrevistados posean familiaridad con los términos utilizados y consultados. Luego, esta pregunta se planteó con un esquema basado en la estructura presentada en la tabla D.2.

Tabla D.2. Esquema utilizado para diligenciar los recursos disponibles de las organizaciones.

| Tipos de recursos | Sí posee o tiene acceso a | No posee ni tiene acceso a | Enumere o describa los recursos |
|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| Personal | | | |
| Información y conocimiento | | | |
| Equipos de comunicación | | | |
| Sistemas de alerta | | | |
| Vehículos | | | |
| Combustibles | | | |
| Alimentos | | | |
| Suministros médicos | | | |
| Albergues y/o carpas | | | |
| Almacenes | | | |
| Sitios de concentración | | | |
| Presupuesto | | | |
| Donaciones | | | |

- Requerimiento de los procesos. Teniendo que el instrumento involucra hasta este punto los procesos de preparación y los recursos de las organizaciones, se propone continuar la secuencia de preguntas con la determinación de los mismos tipos de recursos que resultan necesarios para la ejecución de cada proceso de preparación. Así se logró conformar una matriz (como la mostrada en la tabla D.3) diseñada para diligenciar la información relacionada con estos aspectos.

Tabla D.3. Matriz propuesta para registrar los requerimientos de los procesos de preparación.

| Tipos de recursos | Procesos | Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres (PMGRD y EMRE) | Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones | Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | Adquirir herramientas y vehículos | Adquirir equipos de comunicación | Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | Elegir ubicación de centros de almacenamiento | Elegir ubicación de centros de distribución y entrega de ayuda humanitaria | Elegir ubicación de albergues y zonas seguras |
|----------------------------|-----------------|---|---|--|--|-----------------------------------|----------------------------------|---|---|---|--|---|--|---|
| Personal | | | | | | | | | | | | | | |
| Información y conocimiento | | | | | | | | | | | | | | |
| Equipos de comunicación | | | | | | | | | | | | | | |
| Sistemas de alerta | | | | | | | | | | | | | | |
| Vehículos | | | | | | | | | | | | | | |
| Combustibles | | | | | | | | | | | | | | |
| Alimentos | | | | | | | | | | | | | | |
| Suministros médicos | | | | | | | | | | | | | | |
| Albergues y/o carpas | | | | | | | | | | | | | | |
| Almacenes | | | | | | | | | | | | | | |
| Sitios de concentración | | | | | | | | | | | | | | |
| Presupuesto | | | | | | | | | | | | | | |
| Donaciones | | | | | | | | | | | | | | |

- **Tiempos de ejecución.** La pregunta de cierre de esta sección se destina a la obtención de información relacionada con los tiempos de ejecución y frecuencias que implica la realización de los distintos procesos de preparación consultados. Para tal fin, se plantea la pregunta con el soporte de una matriz adicional según se presenta en la tabla D.4, que aparece a continuación.

Tabla D.4. Matriz diseñada para registrar factores de tiempo relacionados con los procesos de preparación.

| Procesos | Tiempo de ejecución | Frecuencia | | | | | | |
|---|--|------------|------------|------------|--------------|---------------|--------------|----------|
| | Rango de tiempo estimado para la ejecución | 1. Diario | 2. Semanal | 3. Mensual | 4. Bimestral | 5. Trimestral | 6. Semestral | 7. Anual |
| Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres (PMGRD y EMRE) | | | | | | | | |
| Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | | | | | | | | |
| Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones | | | | | | | | |
| Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | | | | | | | | |
| Adquirir herramientas y vehículos | | | | | | | | |
| Adquirir equipos de comunicación | | | | | | | | |
| Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | | | | | | | | |
| Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | | | | | | | | |
| Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | | | | | | | | |
| Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | | | | | | | | |
| Elegir ubicación de centros de almacenamiento | | | | | | | | |
| Elegir ubicación de centros de distribución y entrega de ayuda humanitaria | | | | | | | | |
| Elegir ubicación de albergues y zonas seguras | | | | | | | | |

Caracterización de las relaciones inter-organizacionales

Esta sección del instrumento tiene como fin caracterizar las relaciones que la organización entrevistada sostiene con los demás actores involucrados en los procesos de preparación, que a nivel local se llevan a cabo en el marco de la gestión del riesgo de desastres.

- Participación conjunta. En primer lugar, se propone identificar el involucramiento de los actores de acuerdo con cada proceso de preparación y según las experiencias vividas por las personas a ser entrevistadas. Se formuló entonces un esquema adicional, como el que se muestra en la tabla D.5, a fin de facilitar la obtención de esta información.

Tabla D.5. Formato propuesto para identificar actores locales involucrados en los procesos de preparación.

| <u>Procesos</u> | <u>Organizaciones</u> | UGR | Cruz Roja | Defensa Civil | COBM | CBVM | GER | BYR | UTAC |
|---|-----------------------|-----|-----------|---------------|------|------|-----|-----|------|
| Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres (PMGRD y EMRE) | | | | | | | | | |
| Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | | | | | | | | | |
| Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones | | | | | | | | | |
| Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | | | | | | | | | |
| Adquirir herramientas y vehículos | | | | | | | | | |
| Adquirir equipos de comunicación | | | | | | | | | |
| Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | | | | | | | | | |
| Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | | | | | | | | | |
| Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | | | | | | | | | |
| Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | | | | | | | | | |
| Elegir ubicación de centros de almacenamiento | | | | | | | | | |
| Elegir ubicación de centros de distribución y entrega de ayuda humanitaria | | | | | | | | | |
| Elegir ubicación de albergues y zonas seguras | | | | | | | | | |

- Medios y mecanismos de comunicación. Posteriormente, se incluye una pregunta relacionada con los medios de comunicación utilizados entre las organizaciones, así como los mecanismos de integración que les permite mantener sus vínculos y relaciones. La tabla D.6 se ha diseñado a fin de mostrar el esquema utilizado para apoyar estas preguntas.
- Caracterización de las relaciones. Con una intención complementaria a lo anterior, se busca identificar aspectos clave en las relaciones que las organizaciones poseen entre sí. Para esto se plantean tres criterios particulares (conforme a lo mostrado en la tabla D.7) concernientes a: la frecuencia con que las instituciones locales se comunican directamente; la percepción actual de la cercanía y el nivel de relación con cada organización particular; y la importancia que cada organización le asigna a la relación que sostiene con las demás organizaciones involucradas en el municipio.

Tabla D.6. Esquema utilizado para definir medios y mecanismos de integración entre los actores.

| Organizaciones | Medios de comunicación | | | | | Mecanismos de integración | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------|------------------|--------|----------------|---|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|
| | Reuniones formales | Llamadas telefónicas | Cartas u oficios | E-mail | Redes sociales | Compartir recursos (suministros, personas, información, dinero) | Toma de decisiones conjuntas | Ejecución conjunta de procesos | División consensuada de tareas | Alianzas y acuerdos inter-organizacionales | Manejo de SI y TIC conjuntamente |
| UGR | | | | | | | | | | | |
| Defensa Civil | | | | | | | | | | | |
| Cruz Roja | | | | | | | | | | | |
| COBM | | | | | | | | | | | |
| CBVM | | | | | | | | | | | |
| GER | | | | | | | | | | | |
| BYR | | | | | | | | | | | |
| UTAC | | | | | | | | | | | |

Tabla D.7. Formato aplicado para la caracterización de las relaciones inter-organizacionales.

| Organizaciones | Frecuencia de la comunicación | | | | | | | Descripción de la relación | | | | | Importancia | | | | |
|-----------------------|--------------------------------------|-----------|------------|------------|---------------|--------------|----------|-----------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------------|--|--------------------|--------------------|---------------|-------------------|------------------------|
| | 1. Ningún contacto | 2. Diario | 3. Semanal | 4. Mensual | 5. Trimestral | 6. Semestral | 7. Anual | 1. No hay relación | 2. Comunicación solo si es necesario | 3. Comparten recursos cuando hay oportunidad | 4. Buscan formas de trabajar juntos | 5. Trabajan conjuntamente bajo esquemas formalizados | 1. Nada importante | 2. Poco importante | 3. Importante | 4. Muy importante | 5. Extrema importancia |
| UGR | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Defensa Civil | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cruz Roja | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COBM | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CBVM | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GER | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BYR | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UTAC | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Sección de cierre

Con el fin de complementar la información suministrada por los entrevistados, se incluye en la última sección del instrumento, algunos elementos propuestos para que las personas compartan sus apreciaciones, basadas en la experiencia, respecto de las

oportunidades de mejora que podrían asumirse frente a la coordinación inter-organizacional durante los procesos de preparación para la atención de emergencias y desastres relacionados con fenómenos hidrometeorológicos. Al respecto, se consulta a partir de una escala de 1 a 5 sobre su concepto de cómo ha sido la influencia de la coordinación inter-organizacional en la ejecución de los procesos de preparación. Además, se solicita en una pregunta adicional que la persona aporte ideas relacionadas con los factores que han limitado la capacidad de las organizaciones para actuar conjuntamente con las demás (así, se consideraron aspectos relacionados con la disponibilidad de tiempo, la burocracia, experiencias negativas, e incompatibilidad en las metas particulares). Al final, como última pregunta del cuestionario, se ha propuesto incluir la única pregunta abierta que posee el instrumento. Esta se plantea de modo que la persona se exprese respecto del cómo, de acuerdo a su criterio, podrían mejorarse las relaciones y la coordinación inter-organizacional durante los procesos de preparación que se llevan a cabo a nivel local.

Con lo expuesto hasta este punto, incluyendo los esquemas de las tablas D.1 a D.7, se estructura el modelo inicial de instrumento de investigación a ser aplicado durante las entrevistas esperadas, con el fin de dar respuesta a las necesidades de información relacionadas en la tabla 5.1 del capítulo 5, y poder así consolidar, a partir de la información obtenida del ámbito real, tanto los parámetros como las variables de entrada definidas en el diseño conceptual del MBA.

Luego de un proceso de elaboración y revisión iterativa de la estructura, secuencia, redacción y contenido del cuestionario, se obtuvo una versión aceptable del instrumento de investigación. En el siguiente apartado se ofrecen algunos procedimientos adelantados que se realizaron a fin de consolidar el documento definitivo que se aplicó en las organizaciones locales durante el trabajo de campo.

D.2 Prueba y validación del instrumento

Durante el proceso de elaboración y estructuración del cuestionario para las entrevistas en campo, la precaución se mantuvo principalmente sobre el rigor de la objetividad de cara al estudio. Para lo cual, se tuvieron presentes algunas de las sugerencias contenidas en los textos de Kumar (2011) y Hernández-Sampieri et al. (2014). En vista del tipo de entrevista elegido, se ha buscado estandarización del instrumento, principalmente sobre los elementos de diseño, secuencia y redacción de las preguntas con un lenguaje neutro. Además de procurar que los enunciados no influyan sobre las respuestas o apreciaciones de los encuestados, ni mucho menos llegar a plantear preguntas tendenciosas. Una vez se consolidó el instrumento se hizo evidente la necesidad de confrontarlo frente a las personas que potencialmente fueran a hacer parte del grupo de entrevistados. Ello se realizó con varios propósitos: en primer lugar, dado que el instrumento se elaboró en mayor parte con el uso de términos tomados del estado del arte y la literatura académica especializada relacionada con el tema, se pretendía corroborar su correspondencia en el

contexto real. E, igualmente, se esperaba obtener indicios respecto al planteamiento de las preguntas, extensión del cuestionario, así como oportunidades de mejorar la escritura y presentación del texto.

Para la validación, se acudió a dos de las ocho organizaciones clave identificadas en el contexto local. Concretamente, se realizó una visita inicial a la UGR y la Cruz Roja de Caldas. En la UGR se tuvo la oportunidad de conversar con dos técnicos operativos de la unidad: profesionales y especialistas en trabajos comunitarios y manejo de emergencias; mientras que, en Cruz Roja, la reunión se adelantó directamente con el funcionario a cargo de la dirección seccional de la entidad. Estos encuentros se llevaron a cabo con el fin no de resolver el cuestionario completo a modo de prueba piloto, sino para identificar el nivel de comprensión o inteligibilidad del instrumento por parte de los potenciales entrevistados, y que evidentemente las personas mostraran afinidad respecto de la terminología utilizada en los aspectos incluidos en el cuestionario. De esta forma, la retroalimentación recibida por parte de los funcionarios en las dos instituciones visitadas se resume en los siguientes puntos:

- En lo que respecta a la redacción del instrumento, se observó aceptación por parte de los funcionarios. La lectura completa del documento permitió identificar algunas posibilidades de lograr mejor redacción en cuanto al uso de terminología más concreta en la temática abordada para una mejor comprensión por parte de los entrevistados. Así, se procedió a mejorar la redacción de unos puntos muy específicos en el instrumento; dicho de otro modo, la revisión del texto implicó solo detalles menores y de forma en el instrumento.
- Se presentó mucho énfasis en los aspectos que abordan los procesos de preparación. En particular, se recibieron comentarios dirigidos hacia la difícil determinación concreta de los tiempos de ejecución que implican los diferentes procesos de preparación, así como la cantidad específica de recursos que podrían requerirse en cada momento para afrontar las necesidades particulares que demande una situación específica. Lo anterior, se genera debido a las condiciones de incertidumbre y de acuerdo con la magnitud o impacto que pueda generarse en cada situación de emergencia. Estos asuntos, a nivel local, resultan ser demasiado relativos.

Bajo este panorama, las sugerencias recibidas como resultado de estos encuentros previos condujeron no solo a la cautela respecto de las preguntas relacionadas con los requerimientos y tiempos de los procesos incluidos en el instrumento, sino también respecto a la manera en que se abordan –o se deben abordar– estas variables de cara al modelo de simulación. En consecuencia, los distintos tipos de recursos a considerar, para definir las capacidades de los actores, se asumirán si el actor posee o no el recurso particular; así mismo, se asumirá solamente si un proceso requiere o no de un tipo de recurso específico. Tal decisión, presenta concordancia con las variables definidas en la tabla 4.3 del capítulo 4, donde se describía que las capacidades de los actores y los requerimientos de los procesos, en términos de recursos, se consideran variables binarias, representadas con valores de uno (1) o cero (0) si se cuenta o no con el recurso particular, respectivamente. Igual se adopta para los recursos requeridos

por los procesos de preparación. Con esta consideración, se procede a plantear la formulación de las preguntas relacionadas con estos aspectos de manera que se responda –o se diligencie– según lo definido para este tipo de variables.

De otra parte, la consideración de los tiempos de ejecución de los procesos, durante lo conversado con los funcionarios, vislumbró la posibilidad de plantear esta variable como un intervalo de tiempo. Ello principalmente por la dificultad de llegar a un valor determinístico para la duración de los procesos. Con lo cual, la pregunta del instrumento se dirigió hacia la estimación de un rango de tiempo para la ejecución de cada proceso y así favorecer una respuesta más abierta y menos compleja para el entrevistado. La implicación de esta decisión sobre los aspectos de diseño del MBA, se manifiesta en la necesidad de manejar un intervalo, en lugar de un parámetro específico, para estimar estocásticamente la duración de un proceso de preparación en una ocasión particular.

- En general, se manifestó una comprensión del instrumento y suficiente claridad sobre la información requerida en el estudio. No se presentaron mayores reparos sobre la escritura o terminología utilizada, y los funcionarios comprendieron lo que se espera de ellos.

Estos encuentros previos dieron luces iniciales respecto al ámbito local del sistema de preparación y de las instituciones a consultar. Además, junto con la lectura y revisión iterativa del contenido del instrumento, se obtuvo la concreción de su versión final (que se presenta al final del presente anexo). Todo el proceso adelantado, concedió confianza para dar inicio formal al estudio y proceder con la aplicación del instrumento mediante la programación y realización de las entrevistas en las organizaciones locales identificadas.

A modo de cierre, y como elementos adicionales que se documentan, se presentan seguidamente las cartas de presentación dirigidas a las instituciones consideradas en el estudio, junto con la versión final del instrumento de investigación aplicado durante el trabajo de campo.

Manizales, septiembre 4 de 2019

Señores

Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres de Manizales, Caldas

Reciban un cordial saludo.

En mi calidad de directora de la tesis titulada "*La coordinación inter-organizacional en los procesos logísticos de preparación de emergencias y desastres*" que desarrolla el estudiante del Doctorado en Ingeniería - Industria y Organizaciones, JUAN CAMILO LÓPEZ VARGAS, CC 1053788660, me permito presentarles los propósitos del proyecto investigativo como se describe a continuación.

El proyecto de investigación que actualmente se adelanta está enfocado a la coordinación inter-organizacional de los distintos actores locales involucrados en la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD). En lo particular, el alcance de nuestro estudio se ha limitado al problema de la coordinación durante la fase de preparación para la atención de emergencias.

Con lo anterior, nuestros propósitos académicos e investigativos están dirigidos al estudio de las relaciones e interacciones generadas entre los actores clave que a nivel municipal son responsables de la GRD. Así, una vez alcanzados los resultados pretendidos del estudio, puedan generarse propuestas sólidas que permitan el mejoramiento de las relaciones inter-sectoriales, al igual que el desempeño y la utilización de los recursos disponibles por parte de las distintas organizaciones involucradas.

De otro lado, es importante reconocer el papel que deben cumplir las instituciones gubernamentales en los procesos de GRD a nivel local, cuyo fin de salvaguardar la vida y las condiciones de sus comunidades, favorece la generación de vínculos estratégicos con el sector académico que propendan por la aplicación de investigaciones científicas al tratamiento de las problemáticas económicas, sociales y ambientales que se vislumbran en los contextos de la actualidad.

Por tanto, las expectativas actuales de nuestra investigación están dirigidas hacia el acercamiento con las instituciones locales, como la Cruz Roja, Defensa Civil, cuerpos de bomberos locales, organismos de socorro, comunidades y, por supuesto, la UGR, cuya finalidad es reconocer y caracterizar los procesos de preparación de emergencias y desastres, así como las relaciones inter-sectoriales que se llevan a nivel municipal.

Esperamos entonces contar con el acompañamiento de la UGR para obtener la información necesaria de su despacho, sino también con el apoyo para llegar a las demás organizaciones locales de manera que se agilice el avance de esta investigación. Y, de este modo, obtener resultados útiles y significativos para la comunidad local y los demás sectores involucrados en la GRD dentro del municipio.

Atentamente:

DIANA MARÍA CÁRDENAS AGUIRRE

Profesora Asociada Universidad Nacional de Colombia

Directora de Tesis

Manizales, septiembre 4 de 2019

Señores

Entidades operativas del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Manizales, Caldas

Asunto: Presentación proyecto de investigación y equipo de trabajo de campo de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.

Con el apoyo de la dirección de la Unidad de Gestión del Riesgo de Manizales, un grupo de estudiantes de posgrado de la Universidad Nacional de Colombia está adelantando un estudio sobre la coordinación inter-organizacional de los actores locales involucrados en los procesos de preparación para la atención de emergencias y desastres a nivel municipal.

Una de las actividades centrales de nuestro proyecto es la aplicación de un trabajo de campo basado en entrevistas dirigidas a los funcionarios de las organizaciones involucradas en la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) dentro del municipio de Manizales. Para el efecto, el equipo de profesionales conformado por la estudiante de maestría, LORENA GIRALDO GÓMEZ, y el estudiante de Doctorado, JUAN CAMILO LÓPEZ VARGAS, estará a cargo de establecer contacto con las entidades y personas responsables de la GRD en el municipio.

Muy comedidamente me permito solicitar su apoyo para que los estudiantes puedan realizar las entrevistas necesarias con los funcionarios encargados de los temas relacionados con la participación de su organización en los procesos de preparación para la atención de emergencias y desastres a nivel municipal.

Igualmente, y para su información, esperamos contar con datos relacionados con recursos particulares que administra y posee su institución, así como experiencias y relaciones que se hayan tenido con otras organizaciones en el municipio. Esto con el ánimo de lograr resultados mucho más provechosos para los propósitos de nuestro proyecto investigativo.

Anticipo desde ahora mis agradecimientos por su valiosa colaboración y disposición para atendernos. Si tiene alguna duda o comentario que aportarnos, por favor comuníquese con el estudiante Juan Camilo López al correo electrónico jclopezva@unal.edu.co o al número telefónico 312 266 0310.

Reciban un cordial saludo.

DIANA MARÍA CÁRDENAS AGUIRRE

Directora del proyecto

Profesora Asociada Universidad Nacional de Colombia



Entrevista a organizaciones locales:
*Caracterización de la red local de preparación
 para la atención de emergencias y desastres.*



Día Mes Año

Fecha de diligenciamiento: ____ / ____ / ____

Nombre del entrevistador: _____

Organización entrevistada: _____

Nombre del entrevistado: _____

Cargo: _____ Teléfono o celular: _____

Correo electrónico: _____ Ciudad: _____

PARTE 1. Introducción.

En el marco de la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD), la fase del manejo de desastres se compone de tres elementos: preparación, respuesta y recuperación. Particularmente, en los procesos de preparación se busca mejorar las capacidades individuales y colectivas que permitan aumentar la rapidez y eficiencia en la respuesta a emergencias y desastres. En este sentido, las organizaciones locales involucradas en los procesos de preparación para la atención de emergencias están siendo invitadas para participar en esta encuesta que busca identificar capacidades y relaciones inter-organizacionales. Nuestro propósito es caracterizar la red de entidades operativas que, a nivel municipal, se encargan de la preparación para la atención de emergencias y desastres relacionados con fenómenos hidrometeorológicos (como tormentas, inundaciones, crecientes súbitas y deslizamientos).

Esperamos obtener información relevante con el ánimo de desarrollar nuestro proyecto investigativo. Y, de este modo, llegar a resultados significativos que promuevan el planteamiento de programas estratégicos enfocados a mejorar la coordinación inter-organizacional a nivel local. Consideramos conveniente aclarar que los resultados de este estudio podrán ser utilizados en informes académicos y publicaciones científicas. No obstante, queremos manifestar que el tratamiento de los datos se hará con absoluta confidencialidad y los resultados tendrán estrictamente fines investigativos. Agradecemos su gentil participación y, por supuesto, será un placer compartir con ustedes los resultados de nuestra investigación, una vez haya culminado.

PARTE 2. Objetivo.

El objetivo principal de esta entrevista es identificar: (i) los procesos de preparación que apoya su organización considerando sus recursos y capacidades organizacionales, y (ii) las relaciones que sostienen actualmente con otras instituciones del municipio en el marco de la GRD y, particularmente, en los procesos de preparación para la atención de emergencias y desastres relacionados con fenómenos hidrometeorológicos.

PARTE 3. Caracterización de los procesos de preparación.

*El propósito de esta sección es identificar en qué procesos de preparación para la atención de emergencias relacionadas con **fenómenos hidrometeorológicos** ha participado su organización, de qué manera se ejecutan y con qué recursos cuentan*

3.1. En la tabla que aparece a continuación, se presenta una serie de procesos de preparación que se han agrupado según la siguiente tipología: planificación de la respuesta, gestión de relaciones, logística, capacitación y tecnologías. Indique por favor con una X si su organización ha participado en la ejecución de cada uno de los procesos. En caso negativo, especifique por favor lo siguiente: ¿el proceso es una función de la organización? E, igualmente, ¿considera que la organización posee capacidades y recursos para actuar en su cumplimiento?

| Tipo | Procesos | Sí ha participado | No ha participado | | Observaciones |
|-------------------------------|--|-------------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| | | | Es su función | Posee las capacidades | |
| Planificación de la respuesta | 1. Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres (PMGRD y EMRE) | | | | |
| | 2. Desarrollar planes de evacuación y reubicación de personas | | | | |
| | 3. Planificar el manejo y disposición de escombros | | | | |
| Relaciones | 4. Seleccionar proveedores y/o fuentes de recursos | | | | |
| | 5. Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | | | | |
| Logística | 6. Elegir ubicación de centros de almacenamiento | | | | |
| | 7. Elegir ubicación de centros de distribución y entrega de ayuda humanitaria | | | | |
| | 8. Elegir ubicación de albergues y zonas seguras | | | | |
| | 9. Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | | | | |
| | 10. Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | | | | |
| | 11. Adquirir herramientas y vehículos | | | | |
| Capacitación | 12. Reclutar voluntarios | | | | |
| | 13. Contratar personal especializado | | | | |
| | 14. Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | | | | |
| | 15. Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | | | | |
| Tecnologías | 16. Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones | | | | |
| | 17. Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | | | | |
| | 18. Adquirir equipos de comunicación | | | | |
| | 19. Realizar control y monitoreo de los sistemas actuales | | | | |
| | ¿Otros procesos de preparación? ¿Cuáles? | | | | |

3.2. Indique en la siguiente tabla (marcando con una X) si su organización posee o tiene acceso a los distintos recursos que se presentan. En caso afirmativo, por favor enumere o describa los diferentes tipos de recursos con los que, en promedio, cuenta la organización.

| Tipos de recursos ¹ | Sí posee o tiene acceso a | No posee ni tiene acceso a | Enumere o describa los recursos |
|---|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Personal ² | | | |
| Información y conocimiento ³ | | | |
| Equipos de comunicación ⁴ | | | |
| Sistemas de alerta ⁵ | | | |
| Vehículos ⁶ | | | |
| Combustibles | | | |
| Alimentos | | | |
| Suministros médicos | | | |
| Albergues y/o carpas | | | |
| Almacenes ⁷ | | | |
| Sitios de concentración ⁸ | | | |
| Presupuesto ⁹ | | | |
| Donaciones ¹⁰ | | | |
| Otro (s), ¿Cuál (es)? | | | |

¹ Esta categorización de recursos se ha tomado a partir de lo establecido en el EMRE de Manizales del 2016.

² Como personal especializado puede tener en cuenta: cargo, profesión o área de desempeño. Igualmente, considere también si poseen personal voluntario en la organización.

³ En esta sección tenga en cuenta todos los recursos **intangibles**: cuenta planes, programas o estrategias metodológicas. Considere la información respecto a: mapas y/o detalles demográficos de las comunidades; información de condiciones y/o hábitos sociales; enfermedades endémicas; aspectos socioeconómicos del municipio; registros climáticos; mapas de riesgos; mapas y/o información de la infraestructura local (viviendas, edificios, mapas de la red vial, servicios y líneas vitales). Guías y manuales de procedimiento. Contactos y listados telefónicos (de otros actores, socios y proveedores); información de capacidades propias y foráneas.

⁴ Por ejemplo: radios, celulares, otros equipos que apoyen los procesos de comunicación.

⁵ Incluya también sistemas de información, software o programas especializados.

⁶ Tipos de vehículos: de carga, de transporte, ambulancias, maquinaria pesada, equipos especiales.

⁷ Centros de reservas: instalaciones dedicadas al almacenamiento de equipos y suministros humanitarios.

⁸ Zonas, espacios o instalaciones propias consideradas como zonas seguras, para albergar personas en condición de alta vulnerabilidad.

⁹ Recursos financieros, monetarios. Dinero.

¹⁰ Considere tanto donaciones monetarias como donaciones físicas o en especie.

3.3. Teniendo en cuenta los procesos de preparación y tipos de recursos mencionados anteriormente, le pedimos indicar, según su experiencia en este campo, qué recursos y cuántos de ellos considera usted que se requieren para dar cumplimiento a cada proceso de preparación. Por favor, para cada proceso enumere y describa los recursos en la siguiente tabla.

| Procesos | Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres (PMGRD y EMRE) | Desarrollar planes de evacuación y reubicación de personas | Planificar el manejo y disposición de escombros | Seleccionar proveedores y/o fuentes de recursos |
|----------------------------|---|--|---|---|
| Tipos de recursos | | | | |
| Personal | | | | |
| Información y conocimiento | | | | |
| Equipos de comunicación | | | | |
| Sistemas de alerta | | | | |
| Vehículos | | | | |
| Combustibles | | | | |
| Alimentos | | | | |
| Suministros médicos | | | | |
| Albergues y/o carpas | | | | |
| Almacenes | | | | |
| Sitios de concentración | | | | |
| Presupuesto | | | | |
| Donaciones | | | | |
| Otro (s), ¿Cuál (es)? | | | | |

3.3. Continuación.

| Procesos | Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | Elegir ubicación de centros de almacenamiento | Elegir ubicación de centros de distribución y entrega de ayuda humanitaria | Elegir ubicación de albergues y zonas seguras |
|----------------------------|---|---|--|---|
| Tipos de recursos | | | | |
| Personal | | | | |
| Información y conocimiento | | | | |
| Equipos de comunicación | | | | |
| Sistemas de alerta | | | | |
| Vehículos | | | | |
| Combustibles | | | | |
| Alimentos | | | | |
| Suministros médicos | | | | |
| Albergues y/o carpas | | | | |
| Almacenes | | | | |
| Sitios de concentración | | | | |
| Presupuesto | | | | |
| Donaciones | | | | |
| Otro (s), ¿Cuál (es)? | | | | |

3.3. Continuación.

| Procesos | Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | Adquirir herramientas y vehículos | Reclutar voluntarios |
|----------------------------|---|--|-----------------------------------|----------------------|
| Tipos de recursos | | | | |
| Personal | | | | |
| Información y conocimiento | | | | |
| Equipos de comunicación | | | | |
| Sistemas de alerta | | | | |
| Vehículos | | | | |
| Combustibles | | | | |
| Alimentos | | | | |
| Suministros médicos | | | | |
| Albergues y/o carpas | | | | |
| Almacenes | | | | |
| Sitios de concentración | | | | |
| Presupuesto | | | | |
| Donaciones | | | | |
| Otro (s), ¿Cuál (es)? | | | | |

3.3. Continuación.

| <u>Procesos</u> | Contratar personal especializado | Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones |
|---------------------------------|----------------------------------|---|---|--|
| <u>Tipos de recursos</u> | | | | |
| Personal | | | | |
| Información y conocimiento | | | | |
| Equipos de comunicación | | | | |
| Sistemas de alerta | | | | |
| Vehículos | | | | |
| Combustibles | | | | |
| Alimentos | | | | |
| Suministros médicos | | | | |
| Albergues y/o carpas | | | | |
| Almacenes | | | | |
| Sitios de concentración | | | | |
| Presupuesto | | | | |
| Donaciones | | | | |
| Otro (s), ¿Cuál (es)? | | | | |

3.3. Continuación.

| Procesos | Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | Adquirir equipos de comunicación | Realizar control y monitoreo de los sistemas actuales | <i>¿Otros procesos de preparación? ¿Cuáles?</i> |
|------------------------------|--|----------------------------------|---|---|
| Tipos de recursos | | | | |
| Personal | | | | |
| Información y conocimiento | | | | |
| Equipos de comunicación | | | | |
| Sistemas de alerta | | | | |
| Vehículos | | | | |
| Combustibles | | | | |
| Alimentos | | | | |
| Suministros médicos | | | | |
| Albergues y/o carpas | | | | |
| Almacenes | | | | |
| Sitios de concentración | | | | |
| Presupuesto | | | | |
| Donaciones | | | | |
| <i>Otro (s), ¿Cuál (es)?</i> | | | | |

3.6. Considerando los procesos de preparación analizados en esta sección, identifique con el número respectivo, el proceso (o procesos) que se requiere (n) realizar con antelación para poder llevar a cabo cada uno de los procesos listados en la siguiente tabla.

3.7. Igualmente, ¿logra encontrar procesos de preparación que puedan realizarse de manera simultánea? Identifíquelos por favor en la siguiente tabla con los números respectivos.

| No. | Procesos | Pregunta 3.6 | Pregunta 3.7 |
|-----|---|---|---|
| | | Procesos que se requieren ejecutar antes del proceso en mención | Procesos que se pueden ejecutar simultáneamente con el proceso en mención |
| 1 | Desarrollar planes municipales para el manejo de emergencias y desastres (PMGRD y EMRE) | | |
| 2 | Desarrollar planes de evacuación y reubicación de personas | | |
| 3 | Planificar el manejo y disposición de escombros | | |
| 4 | Seleccionar proveedores y/o fuentes de recursos | | |
| 5 | Desarrollar acuerdos y convenios colaborativos con otras organizaciones | | |
| 6 | Elegir ubicación de centros de almacenamiento | | |
| 7 | Elegir ubicación de centros de distribución y entrega de ayuda humanitaria | | |
| 8 | Elegir ubicación de albergues y zonas seguras | | |
| 9 | Definir rutas y modos para la distribución de ayudas y evacuación de personas | | |
| 10 | Aprovisionar y pre-posicionar suministros humanitarios | | |
| 11 | Adquirir herramientas y vehículos | | |
| 12 | Reclutar voluntarios | | |
| 13 | Contratar personal especializado | | |
| 14 | Realizar ejercicios de entrenamiento y simulacros de emergencia | | |
| 15 | Desarrollar programas de educación y formación para las comunidades | | |
| 16 | Desarrollar sistemas y redes de comunicaciones | | |
| 17 | Diseñar e instalar sistemas de alerta temprana | | |
| 18 | Adquirir equipos de comunicación | | |
| 19 | Realizar control y monitoreo de los sistemas actuales | | |
| | <i>¿Otros procesos de preparación? ¿Cuáles?</i> | | |

PARTE 5. Cierre.

Con el fin de complementar la información ofrecida por usted, le invitamos a compartir sus apreciaciones respecto a las oportunidades de mejora que pueden asumirse frente a la coordinación inter-organizacional durante los procesos de preparación para la atención de emergencias y desastres relacionados con **fenómenos hidrometeorológicos**.*

**(Entiéndase la coordinación inter-organizacional como la gestión de las relaciones y la alineación de las operaciones de distintas organizaciones que buscan el cumplimiento de un objetivo común).*

5.1. En su concepto, ¿cómo ha sido la influencia de la coordinación inter-organizacional en la ejecución de los procesos de preparación? (Seleccione una de las siguientes opciones).

Muy positiva _____ Positiva _____ Ni positiva ni negativa _____ Negativa _____ Muy negativa _____

Observaciones:

5.2. En su opinión, ¿cuáles de los siguientes factores han limitado la capacidad de la organización para trabajar conjuntamente con las demás organizaciones durante los procesos de preparación? (Marque con una X).

| Factor | Sí | No | Observaciones |
|---|----|----|---------------|
| Falta de tiempo | | | |
| Estructura organizacional / burocracia | | | |
| Experiencias pasadas negativas | | | |
| Dificultad para identificar colaboradores apropiados | | | |
| Incompatibilidad en las metas o en las estrategias | | | |
| Los beneficios de la colaboración son inferiores a los costos | | | |
| Poca claridad en las políticas inter-institucionales | | | |
| ¿Otro (s)? ¿Cuál (es)? | | | |

5.3. Finalmente, ¿cómo podrían mejorarse las relaciones y la coordinación inter-organizacional durante los procesos de preparación que se llevan a cabo a nivel local?

Por último, queremos reiterar nuestros agradecimientos por su participación en este estudio, y apreciamos su disposición y tiempo en el diligenciamiento de este cuestionario. Esperamos que la información brindada sea de gran utilidad tanto para los propósitos de la investigación como para todos los involucrados en este importante sector.

E. Anexo E: Estimación de la variable Probabilidad de Coordinación (PC)

Para alcanzar la pretensión de estimar los valores iniciales de la variable probabilidad de coordinación ($PC_i(t)$) para los agentes modelados en el MBA, se partió de las respuestas otorgadas por los funcionarios entrevistados en el trabajo de campo presentado en el capítulo 5 de esta tesis. La estimación se ha efectuado en función de las relaciones e interacciones informadas mediante las preguntas planteadas en las secciones de caracterización de las relaciones inter-organizacionales y cierre del instrumento de investigación incluido al final del anexo D. Al agrupar las preguntas relacionadas, se tiene que los factores de interés consultados en el trabajo de campo fueron los siguientes:

- Medios de comunicación utilizados, para interactuar con otros actores.
- Mecanismos de integración utilizados, para la gestión de las relaciones.
- Frecuencia de las comunicaciones, con cada organización.
- Descripción de la relación, que posee con cada uno de los demás actores.
- Importancia de la relación, según lo expresado por cada organización.
- Barreras a la coordinación, expresadas por los funcionarios entrevistados.

Estos seis factores fueron analizados por los respondientes en cada organización visitada, de acuerdo con los planteamientos de las preguntas incluidas en el instrumento y aplicadas en cada entrevista realizada. Con el propósito de resumir las respuestas y apreciaciones obtenidas en torno a estos aspectos, se ha elaborado las tablas E.1 a E.8, que aparecen en las siguientes páginas y contienen las respuestas individuales que en cada entidad se han dado en torno a las relaciones que lleva cada organización con las demás entidades del municipio objeto de estudio.

Tabla E.1. Resumen de las respuestas obtenidas por parte de la UGR.

Tabla E.2. Resumen de las respuestas obtenidas por parte de la Cruz Roja.

| Respuestas ofrecidas por Cruz Roja | Medios de comunicación | | | | Mecanismos de integración | | | | Frecuencia de la comunicación | | | | Descripción de la relación | | | | Importancia de la relación | | | | Barreras de coordinación | | | | | | | |
|--|------------------------|----------------------|------------------|--------|---------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|-----------------|----------------------------|---------|---------|------------|----------------------------|-------|-----------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|------------|----------------|---------------------|
| | Reuniones formales | Llamadas telefónicas | Cartas u oficios | E-mail | Redes sociales | Compartir recursos | Toma de decisiones conjuntas | Ejecución conjunta de procesos | División consensuada de tareas | Alianzas y acuerdos inter-organizacionales | Manejo de SI y TIC conjuntamente | Ningún contacto | Diario | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual | No hay relación | Comunicación solo si es necesario | Comparten recursos cuando hay oportunidad | Buscan formas de trabajar juntos | Trabajan conjuntamente bajo esquemas | Nada importante | Poco importante | Importante | Muy importante | Extrema importancia |
| UGR | x | x | x | x | | | x | x | | | | x | | | | | | | | | | x | | | | | | x |
| Defensa Civil | | x | x | x | | | | | | | | | x | | | | | | | | | x | | | | | x | |
| Cruz Roja | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COBM | x | x | x | x | | x | x | x | | | | x | | | | | | | | | | | x | | | | | x |
| CBVM | | | x | x | | | | | | | | | x | | | | | | | | x | | | | | | | x |
| GER | | x | x | x | | | | | | | | | x | | | | | | | | | x | | | | x | | |
| BYR | | x | x | x | | | | | | | | | x | | | | | | | | | x | | | | x | | |
| UTAC | | x | x | x | | | | | | | | | | x | | | | | | x | | | | | | x | | |
| Falta de tiempo SI (X) NO () | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estructura organizacional / burocracia SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Experiencias pasadas negativas SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dificultad para identificar colaboradores apropiados SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Incompatibilidad en las metas o en las estrategias SI (X) NO () | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Los beneficios de la colaboración son inferiores a los costos SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Poca claridad en las políticas inter-institucionales SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla E.4. Resumen de las respuestas obtenidas por parte de COBM.

| Respuestas ofrecidas por el COBM | Medios de comunicación | | | | | Mecanismos de integración | | | | | Frecuencia de la comunicación | | | | | Descripción de la relación | | | | | Importancia de la relación | | | | | Barreras de coordinación | | | | |
|----------------------------------|------------------------|----------------------|------------------|--------|----------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|-----------------|--------|---------|---------|----------------------------|-----------|-------|-----------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------|---------------------|---|--|
| | Reuniones formales | Llamadas telefónicas | Cartas u oficios | E-mail | Redes sociales | Compartir recursos | Toma de decisiones conjuntas | Ejecución conjunta de procesos | División consensuada de tareas | Alianzas y acuerdos inter-organizacionales | Manejo de SI y TIC conjuntamente | Ningún contacto | Diario | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual | No hay relación | Comunicación solo si es necesario | Comparten recursos cuando hay oportunidad | Buscan formas de trabajar juntos | Trabajan conjuntamente bajo esquemas | Nada importante | Poco importante | Importante | Muy importante | Extrema importancia | | |
| UGR | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | | x | | | | | | | | | | x | | | | | | x | Falta de tiempo Sí () NO (X) |
| Defensa Civil | x | x | x | x | x | | x | x | x | | | | | | x | | | | x | | | | | | | x | | | | Estructura organizacional / burocracia Sí (X) NO () |
| Cruz Roja | x | x | x | x | x | | x | x | x | | | | | | x | | | | x | | | | | | | x | | | | Experiencias pasadas negativas Sí () NO (X) |
| COBM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Dificultad para identificar colaboradores apropiados Sí () NO (X) |
| CBVM | x | x | x | x | x | | x | x | x | | | | x | | | | | | | | x | | | | | x | | | | Incompatibilidad en las metas o en las estrategias Sí () NO (X) |
| GER | x | x | x | | x | | x | x | x | | | | x | | | | | | | x | | | | | | x | | | | Los beneficios de la colaboración son inferiores a los costos Sí () NO (X) |
| BYR | x | x | x | | x | | x | x | x | | | | x | | | | | | | x | | | | | | x | | | | Poca claridad en las políticas inter-institucionales Sí () NO (X) |
| UTAC | x | x | x | | x | | x | x | x | | | | x | | | | | | | x | | | | | | x | | | | |

Tabla E.5. Resumen de las respuestas obtenidas por parte de CBVM.

| Respuestas ofrecidas por el CBVM | Medios de comunicación | | | | Mecanismos de integración | | | | Frecuencia de la comunicación | | | | Descripción de la relación | | | | Importancia de la relación | | | | Barreras de coordinación | | | | | | | | |
|--|------------------------|----------------------|------------------|--------|---------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|-----------------|----------------------------|---------|---------|------------|----------------------------|-------|-----------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|------------|----------------|---------------------|---|
| | Reuniones formales | Llamadas telefónicas | Cartas u oficios | E-mail | Redes sociales | Compartir recursos | Toma de decisiones conjuntas | Ejecución conjunta de procesos | División consensuada de tareas | Alianzas y acuerdos inter-organizacionales | Manejo de SI y TIC conjuntamente | Ningún contacto | Diario | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual | No hay relación | Comunicación solo si es necesario | Comparten recursos cuando hay oportunidad | Buscan formas de trabajar juntos | Trabajan conjuntamente bajo esquemas | Nada importante | Poco importante | Importante | Muy importante | Extrema importancia | |
| UGR | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | x |
| Defensa Civil | x | x | | | x | x | x | x | x | x | | | x | | | | | | | | | | x | | | | x | | |
| Cruz Roja | x | x | | | x | x | x | x | x | x | | | x | | | | | | | | | | x | | | | x | | |
| COBM | x | x | x | | x | x | x | x | x | x | | x | | | | | | | | | | | x | | | | | | x |
| CBVM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GER | | x | | | x | x | x | x | x | x | | | | x | | | | | | x | | | | | | x | | | |
| BYR | | | | | x | x | x | x | x | x | x | | | | | | | | | x | | | | | | x | | | |
| UTAC | | | | | x | x | x | x | x | x | x | | | | | | | | | x | | | | | | x | | | |
| Falta de tiempo SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estructura organizacional / burocracia SI (X) NO () | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Experiencias pasadas negativas SI (X) NO () | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dificultad para identificar colaboradores apropiados SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Incompatibilidad en las metas o en las estrategias SI (X) NO () | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Los beneficios de la colaboración son inferiores a los costos SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Poca claridad en las políticas inter-institucionales SI (X) NO () | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla E.6. Resumen de las respuestas obtenidas por parte del GER.

| Respuestas ofrecidas por el GER | Medios de comunicación | | | | | Mecanismos de integración | | | | | Frecuencia de la comunicación | | | | | | | Descripción de la relación | | | | | | | Importancia de la relación | | | | | Barreras de coordinación | | | | |
|---------------------------------|------------------------|----------------------|------------------|--------|----------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|-----------------|--------|---------|---------|------------|-----------|----------------------------|-----------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|----------------------------|------------|----------------|---------------------|---|--|--|--|--|--|
| | Reuniones formales | Llamadas telefónicas | Cartas u oficios | E-mail | Redes sociales | Compartir recursos | Toma de decisiones conjuntas | Ejecución conjunta de procesos | División consensuada de tareas | Alianzas y acuerdos inter-organizacionales | Manejo de SI y TIC conjuntamente | Ningún contacto | Diario | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual | No hay relación | Comunicación solo si es necesario | Comparten recursos cuando hay oportunidad | Buscan formas de trabajar juntos | Trabajan conjuntamente bajo esquemas | Nada importante | Poco importante | Importante | Muy importante | Extrema importancia | | | | | | |
| UGR | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | | x | | | | | | | | | | | x | | | | | | x | Falta de tiempo Sí () NO (X) | | | | |
| Defensa Civil | x | x | | x | | x | x | x | x | x | | | | x | | | | | | x | | | | | | x | | | | Estructura organizacional / burocracia Sí () NO (X) | | | | |
| Cruz Roja | x | x | | x | | x | x | x | x | x | | | | x | | | | | | x | | | | | | x | | | | Experiencias pasadas negativas Sí () NO (X) | | | | |
| COBM | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | | x | | | | | | | | | | x | | | | | | | x | Dificultad para identificar colaboradores apropiados Sí (X) NO () | | | | |
| CBVM | x | x | | x | | x | x | x | x | x | | | | x | | | | | | x | | | | | x | | | | | Incompatibilidad en las metas o en las estrategias Sí (X) NO () | | | | |
| GER | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Los beneficios de la colaboración son inferiores a los costos Sí () NO (X) | | | | |
| BYR | x | x | | x | | x | x | x | x | x | | | | x | | | | | | x | | | | | x | | | | | Poca claridad en las políticas inter-institucionales Sí (X) NO () | | | | |
| UTAC | x | x | | x | | x | x | x | x | x | | | | x | | | | | | x | | | | | x | | | | | | | | | |

Tabla E.7. Resumen de las respuestas obtenidas por parte del BYR.

| Respuestas ofrecidas por el BYR | Medios de comunicación | | | | Mecanismos de integración | | | | Frecuencia de la comunicación | | | | Descripción de la relación | | | | Importancia de la relación | | | | Barreras de coordinación | | | | | | | | |
|--|------------------------|----------------------|------------------|--------|---------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|-----------------|----------------------------|---------|---------|------------|----------------------------|-------|-----------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|------------|----------------|---------------------|---|
| | Reuniones formales | Llamadas telefónicas | Cartas u oficios | E-mail | Redes sociales | Compartir recursos | Toma de decisiones conjuntas | Ejecución conjunta de procesos | División consensuada de tareas | Alianzas y acuerdos inter-organizacionales | Manejo de SI y TIC conjuntamente | Ningún contacto | Diario | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual | No hay relación | Comunicación solo si es necesario | Comparten recursos cuando hay oportunidad | Buscan formas de trabajar juntos | Trabajan conjuntamente bajo esquemas | Nada importante | Poco importante | Importante | Muy importante | Extrema importancia | |
| UGR | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | | x | | | | | | | | | | x | | | | | | | x |
| Defensa Civil | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | | | | | x | | | | | | x | | | | | x | | | |
| Cruz Roja | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | | | | x | | | | | | | x | | | | | x | | | |
| COBM | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | | x | | | | | | | | x | | | | | | | x | | |
| CBVM | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | | | | | x | | | | | x | | | | | | x | | | |
| GER | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | x | | | | | | | | x | | | | | | | x | | | |
| BYR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UTAC | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | | | | | x | | | | x | | | | | | | x | | | |
| Falta de tiempo SI (X) NO () | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estructura organizacional / burocracia SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Experiencias pasadas negativas SI (X) NO () | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dificultad para identificar colaboradores apropiados SI (X) NO () | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Incompatibilidad en las metas o en las estrategias SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Los beneficios de la colaboración son inferiores a los costos SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Poca claridad en las políticas inter-institucionales SI () NO (X) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

organización corresponden a los factores analizados respecto de sus relaciones con las demás instituciones. A partir de lo anterior, se ha logrado estimar cuantitativamente cada opción de respuesta incluida en las tablas anteriores E.1 a E.8, y con base en los supuestos previos. Los puntajes propuestos se presentan seguidamente en la tabla E.9. Con base en la puntuación sugerida, se otorga la calificación cuantitativa a cada opción marcada por los entrevistados de cada organización y se hace una sumatoria de los valores obtenidos por cada factor analizado.

Tabla E.9. Cuantificación de las opciones de respuesta consideradas en la caracterización de las relaciones inter-organizacionales.

| Factor analizado | Opciones de respuesta | Valor numérico de cada respuesta |
|-------------------------------|---|---|
| Medios de comunicación | Reuniones formales | 0,02857 |
| | Llamadas telefónicas | 0,02857 |
| | Cartas u oficios | 0,02857 |
| | E-mail | 0,02857 |
| | Redes sociales | 0,02857 |
| Mecanismos de integración | Compartir recursos | 0,23801 |
| | Toma de decisiones conjuntas | 0,23801 |
| | Ejecución conjunta de procesos | 0,23801 |
| | División consensuada de tareas | 0,23801 |
| | Alianzas y acuerdos inter-organizacionales | 0,23801 |
| | Manejo de SI y TIC conjuntamente | 0,23801 |
| Frecuencia de la comunicación | Ningún contacto | 0 |
| | Diario | 0,14285 |
| | Semanal | 0,11905 |
| | Mensual | 0,09524 |
| | Trimestral | 0,07143 |
| | Semestral | 0,04762 |
| | Anual | 0,02381 |
| Descripción de la relación | No hay relación | 0 |
| | Comunicación solo si es necesario | 0,03571 |
| | Comparten recursos cuando hay oportunidad | 0,07143 |
| | Buscan formas de trabajar juntos | 0,10714 |
| | Trabajan conjuntamente bajo esquemas formalizados | 0,14285 |
| Importancia de la relación | Nada importante | 0 |
| | Poco importante | 0,03571 |
| | Importante | 0,07143 |
| | Muy importante | 0,10714 |
| | Extrema importancia | 0,14285 |
| Barreas de coordinación | Cada barrera que se responda con un "NO" | 0,14285 |

Con base en los valores de la tabla E.9 y las respuestas afirmadas en cada una de las organizaciones, se procede a otorgar un puntaje acumulado a cada factor analizado y se totaliza de acuerdo con lo diligenciado en cada tabla de respuestas correspondiente. En consecuencia, el resumen de la información consolidada (a partir de cada respuesta otorgada por los funcionarios entrevistados sobre cada uno de los factores de interés analizados) se muestra seguidamente en la tabla E.10. Como ejemplo ilustrativo del procedimiento se toman las respuestas de la UGR (provistas en la tabla E.1) en el factor 'medios de comunicación'. Como se observa, en la entidad se adujo que se utilizan todos los medios sugeridos para mantener comunicación con todas las demás organizaciones, por tanto, aparecen 35 casillas diligenciadas en este campo. Teniendo en cuenta la valoración de cada opción de respuesta respecto al factor 'medios de comunicación' (tabla E.9), se obtiene $35 \times 0,02857$, lo cual es equivalente a 1, y es el valor que se otorga a la UGR para este factor en la tabla E.10. Este procedimiento se repite entonces para los demás factores analizados de todas organizaciones entrevistadas en función de sus respuestas registradas.

Tabla E.10. Resumen cuantitativo de las respuestas obtenidas durante el trabajo de campo (los datos suministrados se obtienen de las tablas D.1 a D.9).

| Factor evaluado | Medios de comunicación | Mecanismos de integración | Frecuencia comunicación | Descripción relación | Importancia relación | Barreas coordinación |
|-----------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Organización | | | | | | |
| UGR | 1 | 1 | 0,977 | 1 | 1 | 0,286 |
| CR | 0,629 | 0,119 | 0,857 | 0,714 | 0,857 | 0,715 |
| DC | 1 | 0,715 | 0,929 | 1 | 0,785 | 1 |
| COBM | 0,914 | 0,548 | 0,905 | 0,535 | 0,569 | 0,858 |
| CBVM | 0,543 | 1 | 0,595 | 0,75 | 0,713 | 0,429 |
| GER | 0,657 | 0,857 | 0,761 | 0,571 | 0,5 | 0,572 |
| BYR | 0,8 | 1 | 0,594 | 0,5 | 0,605 | 0,572 |
| UTAC | 0,686 | 0,62 | 0,809 | 0,535 | 0,785 | 0,715 |

Como se mencionó antes, la relación de los datos de la tabla E.10 viene concretada en una escala numérica con intervalo $[0, 1]$, en el que un campo con valor igual a 1 equivale a que el actor obtiene la máxima calificación posible para el factor específico. Tal como se explicaba, el valor obtenido por la UGR en el factor 'medios de comunicación' implica que ese actor utiliza todos los medios de comunicación disponibles para establecer contacto directo con todos los demás actores locales de la lista. Es, por tanto, que a partir de estos datos se pretende llegar a un valor estimado que se asigne a la variable probabilidad de coordinación ($PC_i(t)$) en el MBA.

Con la necesidad de agrupar los valores mostrados en la tabla E.10 y de ese modo determinar un valor global que represente la propensión de cada actor para participar o involucrarse con otros actores de su entorno, se ha adelantado un proceso de ponderación

de los seis factores analizados. El procedimiento definido ha seguido el método de la evaluación directa, particularmente el método de ranking simple. Este mecanismo de ponderación asigna unos valores específicos a cada factor de acuerdo con una ordenación de mayor a menor importancia, para luego normalizarlos y así otorgar los pesos específicos (Pomerol y Barba-Romero, 2000). Con el fin de determinar la jerarquía u ordenación de los factores considerados, se contempló la opción de adelantar un estudio con expertos académicos sobre asuntos organizacionales. Bajo la misma estrategia metodológica de jerarquización expuesta en el capítulo 3, se acudió en esta ocasión a cuatro docentes de carrera profesoral de la Universidad Nacional de Colombia en Manizales, quienes cuentan con formación académica, experiencia investigativa y bagaje práctico en gestión organizacional. Así, se diseñó un cuestionario muy sencillo, basado en lo mostrado en la tabla E.11 a fin de ordenar, según su importancia, los factores de interés abordados en el estudio.

Tabla E.11. Cuestionario enviado a los expertos académicos.

| | |
|---|----------------|
| Enunciado: | |
| <i>Teniendo en consideración los factores que se muestran en la siguiente tabla, le solicitamos ordenarlos jerárquicamente, de acuerdo con su importancia y trascendencia en torno a la gestión de las relaciones inter-organizacionales. Para ello, asigne 1 al factor que usted considere menos importante, luego asigne 2 al segundo criterio de menor importancia, y continúe de este modo hasta otorgar 6 al factor que usted considere de mayor relevancia. Si considera empates entre algunos factores, por favor asigne los puntajes promedios de los factores individuales si tal empate no existiese.</i> | |
| Factor | Ranking |
| Frecuencia en la comunicación inter-organizacional | |
| Importancia estratégica de la relación | |
| Mecanismos de integración y coordinación utilizados por las organizaciones | |
| Medios de comunicación usados entre las organizaciones | |
| Nivel de integración actual entre las organizaciones | |
| Presencia de restricciones para la integración inter-organizacional | |

El procedimiento de envío y recolección del cuestionario se hizo a través de medios digitales vía correo electrónico. En las indicaciones dirigidas a los expertos se solicitó jerarquizar los factores de interés otorgando un valor de 6 al factor que se considera más importante, hasta asignar un valor de 1 al factor de menor relevancia para el consultado. Es decir, se buscó evaluar los factores involucrados en las relaciones inter-organizacionales considerados en el instrumento de investigación utilizado en las entrevistas del trabajo de campo. Las ordenaciones informadas por los profesores consultados se muestran en la tabla E.12.

Con las respuestas obtenidas, se procede a utilizar estadística no paramétrica, dada la naturaleza del estudio y siguiendo la misma secuencia procedimental que lo descrito en el anexo C de esta tesis. Se encuentra que el valor de concordancia W de Kendall es de $W = 0,67$ (con base en las ecuaciones y cálculos descritos en el anexo C). Este valor de concordancia implica un valor de significancia de $\chi^2 = 13,41$, con 5 grados de libertad ($gl =$

$N - 1 = 5$). El valor crítico de referencia con estos grados de libertad es de 11,07. Por tanto, al ser el valor χ^2 mayor que el valor crítico, se puede estimar que las observaciones ofrecidas por los expertos están relacionadas, y significativamente son concordantes entre sí.

Tabla E.12. Ordenaciones otorgadas por los expertos académicos consultados.

| Factores | Experto 1 | Experto 2 | Experto 3 | Experto 4 |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Frecuencia en la comunicación inter-organizacional | 2,5 | 3 | 3 | 3 |
| Importancia estratégica de la relación | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Mecanismos de integración y coordinación utilizados por las organizaciones | 5 | 4 | 5 | 4,5 |
| Medios de comunicación usados entre las organizaciones | 2,5 | 2 | 1 | 2 |
| Nivel de integración actual entre las organizaciones | 4 | 5 | 2 | 1 |
| Presencia de restricciones para la integración inter-organizacional | 1 | 1 | 4 | 4,5 |

Una vez garantizada la significancia del estudio de expertos, se aplica el método de ponderación de ranking simple a los datos obtenidos de la encuesta (tabla E.12), para ordenar los factores de interés según se expone en la tabla E.13. Como se propone en Pomerol y Barba-Romero (2000), el método parte de una jerarquización inicial –para el caso, la obtenida mediante el estudio de expertos– y se asignan unos valores de pesos específicos normalizados a cada uno de los factores considerados.

Tabla E.13. Aplicación del método de ranking simple para la ponderación de factores.

| Factores ordenados | Suma de calificaciones otorgadas | Ranking | Valor asignado | Normalización | Peso |
|--|---|----------------|-----------------------|----------------------|-------------|
| Importancia estratégica de la relación | 24 | 1 | 6 | 0,285714 | 0,29 |
| Mecanismos de integración y coordinación utilizados por las organizaciones | 18,5 | 2 | 5 | 0,238095 | 0,24 |
| Nivel de integración actual entre las organizaciones | 12 | 3 | 4 | 0,190476 | 0,19 |
| Frecuencia en la comunicación inter-organizacional | 11,5 | 4 | 3 | 0,142857 | 0,14 |
| Presencia de restricciones para la integración inter-organizacional | 10,5 | 5 | 2 | 0,095238 | 0,09 |
| Medios de comunicación usados entre las organizaciones | 7,5 | 6 | 1 | 0,047619 | 0,05 |
| Totales | 84 | - | 21 | 1,000 | 1,00 |

La consolidación del proceso adelantado sobre los factores involucrados en las relaciones inter-organizacionales de las agencias humanitarias locales, facilita la consecución de una ponderación (de acuerdo con los pesos calculados) de las respuestas individuales ofrecidas por las personas entrevistadas a lo largo del trabajo de campo descrito en el capítulo 5. En consecuencia, la ponderación final se resume del modo que se muestra en la tabla E.14.

Tabla E.14. Estimación de los valores de probabilidad de coordinación para los actores locales.

| Actores | Respuestas obtenidas (Tomadas de la tabla D.10) | | | | | | Factores ponderados (Respuestas * Pesos específicos) | | | | | | Σ Factores ponderados (Probabilidad de coordinación) |
|-------------|--|----------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---|
| | Medios de comunicación | Mecanismos de coordinación | Frecuencia comunicación | Descripción relación | Importancia relación | Barreras coordinación | Medios de comunicación * (0,05) | Mecanismos de coordinación * (0,24) | Frecuencia comunicación * (0,14) | Descripción relación * (0,19) | Importancia relación * (0,29) | Barreras coordinación * (0,09) | |
| UGR | 1 | 1 | 0,977 | 1 | 1 | 0,286 | 0,05 | 0,24 | 0,13678 | 0,19 | 0,29 | 0,02574 | 0,933 |
| CR | 0,629 | 0,119 | 0,857 | 0,714 | 0,857 | 0,715 | 0,03145 | 0,02856 | 0,11998 | 0,13566 | 0,24853 | 0,06435 | 0,629 |
| DC | 1 | 0,715 | 0,929 | 1 | 0,785 | 1 | 0,05 | 0,1716 | 0,13006 | 0,19 | 0,22765 | 0,09 | 0,859 |
| COBM | 0,914 | 0,548 | 0,905 | 0,535 | 0,569 | 0,858 | 0,0457 | 0,13152 | 0,1267 | 0,10165 | 0,16501 | 0,07722 | 0,648 |
| CBVM | 0,543 | 1 | 0,595 | 0,75 | 0,713 | 0,429 | 0,02715 | 0,24 | 0,0833 | 0,1425 | 0,20677 | 0,03861 | 0,738 |
| GER | 0,657 | 0,857 | 0,761 | 0,571 | 0,5 | 0,572 | 0,03285 | 0,20568 | 0,10654 | 0,10849 | 0,145 | 0,05148 | 0,650 |
| BYR | 0,8 | 1 | 0,594 | 0,5 | 0,605 | 0,572 | 0,04 | 0,24 | 0,08316 | 0,095 | 0,17545 | 0,05148 | 0,685 |
| UTAC | 0,686 | 0,62 | 0,809 | 0,535 | 0,785 | 0,715 | 0,0343 | 0,1488 | 0,11326 | 0,10165 | 0,22765 | 0,06435 | 0,690 |

Con base en este procedimiento se ha logrado tomar las respuestas de los funcionarios entrevistados, respecto de los asuntos concernientes a las relaciones inter-organizacionales a nivel local, y con ello se ha obtenido un valor global que cubija los distintos factores involucrados para representar la voluntad o propensión para trabajar coordinadamente o, en otras palabras, estimar la probabilidad de coordinación ($PC_i(t)$) que cada agente modelado tendrá como valor inicial en el MBA. Los valores de probabilidad de coordinación obtenidos en la última columna de la tabla E.14 equivalen a los presentados en la tabla 5.7 del capítulo 5, y representan los valores iniciales de la variable probabilidad de coordinación para el modelo de simulación MBA descrito y trabajado en los capítulos 6 y 7.

F.Anexo F: Verificación del modelo de simulación

Teniendo en consideración la necesidad de garantizar el rigor metodológico en el proceso de diseño e implementación de un modelo de simulación, la verificación y validación resultan ser procesos de importancia (Izquierdo et al., 2008; Sauser et al., 2018) de cara a su implementación con base en la generación de propuestas alternativas a problemas abordados (Kunz et al., 2014; Wilensky y Rand, 2015). El objeto de este anexo es documentar de un modo descriptivo los distintos mecanismos de verificación utilizadas durante el proceso de implementación del modelo de simulación abordado en el capítulo 6.

El proceso de verificación de un modelo de simulación se puede desarrollar a lo largo de la codificación o implementación del modelo; para ello, se hace uso de diversas técnicas, las cuales están basadas fundamentalmente en las llamadas buenas prácticas de codificación (Kleijnen, 1995; Hammond, 2015). Entre estas técnicas, se encuentra el diseño modular, la verificación de salidas intermedias, la documentación y la animación, como se describe a continuación.

F.1 Mecanismos de verificación utilizados durante la implementación del modelo

Atención durante la traducción del MBA en el código computacional

Como se comenta en Hammond (2015), los programas de computadora requieren de instrucciones muy específicas, por lo que un código computacional no debe quedar con vacíos o instrucciones inconclusas. En este sentido, el proceso de implementación del modelo implicó un acercamiento y aprendizaje del lenguaje de programación elegido para el proyecto de simulación (es decir, Netlogo, cuya decisión se justifica en la sección 6.2.1. del capítulo 6). Dicha familiarización tomó varias semanas de adaptación al software en términos gráficos e instrumentales para su uso. El ejercicio de casos básicos y la lectura de manuales facilitó el aprendizaje del lenguaje de programación, así como una primera aproximación a una versión inicial de la implementación del modelo conceptual, como se detalla más adelante. A medida que se desarrolló el código, fue necesario tomar decisiones funcionales del modelo, en línea con lo sugerido

por Hammond (2015). Por tanto, aspectos particulares de los agentes, como su comportamiento individual, la toma de decisiones, momentos de decisiones, al igual que los cálculos inherentes al respecto, tuvieron que ser analizados para programar, de modo paulatino, tales circunstancias dentro del código durante su elaboración. Las particularidades asociadas al modelo conceptual y su respectiva implementación para obtener el modelo de simulación fueron abordadas guardando siempre la prioridad necesaria: lograr coherencia y correspondencia entre los dos modelos.

Construcción del modelo paso a paso

La elaboración de un modelo de simulación a partir de una dinámica iterativa, paulatina e incremental facilita la verificación del proceso de implementación a través de la lógica del programa y las relaciones involucradas para garantizar la razonabilidad y coherencia del modelo construido (Tang et al., 2017). En sintonía con lo anterior, autores como Hammond (2015) y Wilensky y Rand (2015) recomiendan comenzar la implementación a partir de la elaboración de un modelo inicial simple. Ello posibilita la creación de mejoras incrementales y procedimientos adicionales que, a medida que se incorporan al modelo, pueden ser controlados y verificados por parte de los diseñadores.

Sterman (2000) sugiere realizar pruebas a medida que avanza el proceso iterativo de modelación. Las bondades ofrecidas por la implementación de estas técnicas radican en la posibilidad de encontrar errores e inconsistencias de manera temprana durante el diseño, así como preservar el modelo bajo un esquema de programación sencillo, y de mantener claridad, trazabilidad, comprensión y dominio en todos los elementos que comprenden el código final implementado (Sterman, 2000; Hammond, 2015).

Así, el proceso de implementación procuró seguir este principio al partir de un modelo básico y sencillo del modelo conceptual propuesto. A través de los procesos de comunicación y retroalimentación, el fortalecimiento de la codificación del modelo se pudo lograr de un modo incremental e iterativo. Esto implicó el diseño de distintas versiones del modelo de simulación. Los cambios se fueron generando durante la incorporación de elementos del modelo conceptual al software de programación, que tuvieron relación con el comportamiento de los actores, las decisiones de coordinación, manejo y utilización de los recursos individuales, ejecución de los procesos de preparación, aspectos relacionados con los tiempos de la simulación, al igual que la implementación del criterio de parada del modelo.

Así, para llegar al modelo de simulación que se describe en el capítulo 6, fue necesario elaborar más de diez versiones intermedias, las cuales, por supuesto, fueron el resultado de mejoras y cambios necesarios, pero sustanciales que permitieron la mejor aproximación a las dinámicas establecidas y propuestas en el modelo conceptual a lo largo del capítulo 4. Adicionalmente, y con base en lo manifestado por Hammond (2015), la ventaja de partir de un modelo simple es obtener al final otro modelo simple, inteligible y de fácil interpretación. Ello será un factor fundamental en la comunicación y

retroalimentación de los resultados de la simulación con los actores del sector práctico, potenciado con la coherencia lograda respecto del modelo conceptual elaborado del sistema real, y guardando rigor y sentido con las preguntas y objetivos orientadores de la investigación.

La programación modular

El diseño de un modelo de simulación que siga un principio de programación modular es considerado una buena práctica de programación (Kleijnen, 1995; Aros y Gibbons, 2018). En este sentido, resulta posible que un programa de simulación llegue a ser demasiado extenso, lo cual pueda confrontarse con un diseño modular del código programado. Kleijnen (1995) argumenta que este principio de diseño facilita la verificación del modelo, módulo a módulo, sin necesidad de abordar la totalidad de lo programado. Al respecto, las diversas versiones del modelo de simulación propuesto condujeron a un programa que sigue un diseño modular. Así, el diseño implementado logra constituirse de seis módulos o procedimientos principales: identificación de los procesos pendientes, conformación del equipo de proyecto, evaluación de las capacidades del equipo, liberación de recursos, frecuencias de los procesos de preparación, cálculo de los indicadores de desempeño, y evaluación del criterio de parada (lo cual se evidencia a través del seudocódigo de la figura 6.1 del capítulo 6).

La consideración de módulos en el diseño no solo permite facilidad en el proceso de verificación sino también facilidad en la lectura del código estructurado, una extensión más corta del mismo, y una ejecución más limpia y ordenada del modelo de simulación. Este resultado se obtuvo gracias a un proceso analítico realizado a lo largo del código programado, mediante una observación línea a línea a fin de identificar procesos u operaciones repetitivas que resultaban sencillamente engorrosas, innecesarias, en la procura de sintetizar procesos y cálculos. Todo lo cual permitió lograr un programa de simulación más limpio, comprensible, a la vez que ágil y eficiente en su ejecución.

Incluir pruebas parciales y de chequeo en el modelo implementado

En los entornos de programación computacional no es fácil identificar visualmente errores en el código elaborado, por lo cual resulta como buena práctica, escribir líneas de código que sirvan de prueba para la verificación del modelo computacional (Wilensky y Rand, 2015). En palabras de Sterman (2000), el desarrollo de estas pruebas implica un análisis cercano y detallado del comportamiento interno del modelo, considerando no solo los indicadores globales, sino también el comportamiento de agentes y variables particulares. Las pretensiones de realizar estas funciones de depuración e identificación de errores estriban en la correspondencia entre lo conceptual y lo computacional, la identificación oportuna de errores en el código, y lograr la precisión en la lógica y ejecución procedimental del modelo (Hammond, 2015; Hashemipour et al., 2018).

En aras de aplicar estas técnicas de verificación en el modelo implementado, se ha hecho uso de diversos mecanismos propuestos en la literatura. De acuerdo con lo sugerido por Hammond (2015), el código implementado ha sido analizado y revisado línea por línea con la intención de identificar errores en la digitación del programa, así como errores en la utilización de variables, en los cálculos y en la utilización de funciones propias del software. En este sentido, dentro de los mecanismos de verificación intermedia del código, se lograron programar elementos de salida durante la simulación, que permiten identificar aspectos críticos de las variables y comportamientos de los agentes modelados. Así, se tienen por ejemplo controles para que un actor particular no pueda tener recursos con cantidades negativas, o que un proceso en ejecución termine en el momento que su tiempo de ejecución lo determine; o que un proceso en ejecución o ejecutado no tenga un porcentaje de cumplimiento menor al 80%, pero tampoco que exceda el 100%.

Con lo anterior, se han contemplado estrategias de control y trazabilidad en el código, que se involucraron en la medida que el código avanzaba en su elaboración. Esta estrategia de construcción del modelo implementado busca identificar y eliminar errores en la programación de un modo temprano, a través de cálculos y órdenes de salidas intermedias para verificar la correcta ejecución de los procedimientos modelados, lo cual puede hacerse también a nivel particular para los distintos módulos que conforman el código desarrollado (Kleijnen, 1995; Hammond, 2015; Hashemipour et al., 2018). Técnicas complementarias usadas en el proceso de verificación están relacionadas con la confrontación de salidas intermedias de la simulación frente a cálculos realizados manualmente, según los comportamientos arrojados por el sistema modelado (Kleijnen, 1995). Asimismo, y en concordancia con Aros y Gibbons (2018), las salidas intermedias y finales del modelo de simulación se han codificado para que se muestren tanto en pantalla (a través de la interfaz diseñada), como a través de procesos de exportación para guardar la información de salida en archivos externos. Particularmente, variables relacionadas con los estados de los agentes, recursos disponibles y utilizados de los actores, tiempos de inicio, ejecución y terminación de los procesos, e indicadores relacionados con las tasas de utilización de recursos individuales y colectivos, y tasas de cumplimiento individual y global de los procesos, son programados de tal forma que, en cada iteración del modelo, se muestren y exporten detalladamente para sustentar la calidad de la corrida de la simulación. En efecto, estas instrucciones de salida incluidas en el código se han mantenido intencionalmente hasta las últimas versiones a fin de continuar garantizando coherencia en los procedimientos y módulos elaborados en el código, para el control, trazabilidad y claridad de los programadores y del usuario que llegue a tener acceso al programa.

Consistencia dimensional

Este método de validación busca, de acuerdo con Sterman (2000), inspeccionar las ecuaciones utilizadas en el modelo de simulación con el propósito de determinar la consistencia de las dimensiones utilizadas y resultantes de las ecuaciones. Este

procedimiento de análisis de las unidades embebidas en las variables y parámetros puede adelantarse de forma paralela a la construcción del modelo de simulación, mediante una inspección directa en cada una de las ecuaciones y variables consideradas (Sterman, 2000; Besiou et al., 2014). Para el caso particular, el trabajo realizado durante el desarrollo conceptual del MBA, incluyó el análisis de las variables, parámetros, conjuntos y ecuaciones propuestas para representar la dinámica del sistema objeto de estudio.

De este modo, tanto la descripción de variables y parámetros, como la formulación de las ecuaciones planteadas en el capítulo 4 se lograron a partir de un proceso incremental que permitió especificar y definir las ecuaciones desde el análisis y discusión dados en el tiempo. El análisis mencionado procuró por la obtención de ecuaciones lógicas que representasen de manera objetiva lo que se pretende medir a través de su utilización, como la consistencia de las unidades involucradas en el procedimiento matemático. Ello fue verificado a través de reuniones y procesos de retroalimentación. Asimismo, en la implementación del código fueron revisadas las líneas de código para determinar que el programa lleve los cálculos correctamente según las operaciones matemáticas programadas en el software.

Complementariamente, este mecanismo puede ser llevado a cabo junto con el análisis y evaluación de parámetros y variables. En palabras de Crooks y Wise (2013), el análisis de consistencia dimensional permite también sustentar el funcionamiento correcto del modelo de simulación y que las relaciones entre las variables sean razonables. Al respecto, Sterman (2000) sostiene que el proceso de modelación debe asegurar que cada parámetro y variable embebida en el código deba tener significancia y representatividad con la realidad. Para lo cual, se sugiere que la definición de estos valores de entrada al modelo debe estar sustentada en la opinión de expertos a través de entrevistas y otros mecanismos (Sterman, 2000; Hashemipour et al., 2018). La bondad de los enfoques aplicados en el marco de esta investigación, que desarrolló un importante trabajo de campo a nivel local (descrito y analizado en el capítulo 5), radica en la obtención de información de primera mano de parte de los principales actores responsables del manejo de desastres a nivel municipal que, consecuentemente, conlleva a un conocimiento más elaborado del sistema real y a la obtención de datos representativos de las dinámicas reales que enmarcan el sistema abordado en este estudio.

Animación

Un mecanismo adicional para verificar programas de computadora usados para estudiar sistemas dinámicos es la animación (Kleijnen, 1995). La utilidad de la animación del modelo para soportar el proceso de verificación subyace en la posibilidad de observar gráficamente comportamientos y cambios dinámicos; igualmente, se pueden generar y presentar datos e información en pantalla para detectar errores en la programación del código, así como la identificación de sucesos inconsistentes por parte de los usuarios

cuando se analizan largas (o repetidas) corridas del modelo de simulación programado (Kleijnen, 1995; Aros y Gibbons, 2018). Así, la animación se comprende como una manifestación directa de los procedimientos establecidos en el código respecto a lo que acaece durante la ejecución del modelo de simulación.

En este orden de ideas, la implementación del modelo en el software de simulación trabajado permite observar –como se mencionaba anteriormente– el comportamiento dinámico del sistema de actores locales involucrados en los procesos logísticos de la preparación para los desastres. Esta herramienta gráfica permitió la identificación de errores en la programación, no detectadas en las líneas de código, pero que sí se veían reflejadas en las corridas del modelo. Los procedimientos descritos condujeron a mejorar ostensiblemente la calidad del código diseñado y su correspondencia con el ámbito conceptual del modelo propuesto. La interfaz gráfica obtenida, y mostrada en el capítulo 6 con la figura 6.2 (que involucra agentes, sus estados, variables, indicadores y relaciones), complementada con las instrucciones internas del código para presentar el comportamiento de variables intermedias durante la simulación (concebidas como mecanismo de control del modelo), se convierten en un medio para soportar la correspondencia del modelo implementado respecto del modelo conceptual. Además, se garantiza que el código es correcto, está bien elaborado y su corrida se ejecuta del modo que se pretende.

La comunicación

Los procesos de comunicación adelantados a lo largo del proceso de modelación (incluyendo tanto la elaboración y redacción del modelo conceptual, como la estructuración e implementación del modelo de simulación) procuraron obtener un modelo claro, comprensible, legible, para el propósito del estudio. Nuevamente, los procesos de comunicación, y sus respectivas retroalimentaciones, propendieron por la identificación de errores e inconsistencias en la concepción de los elementos involucrados en el sistema estudiado: definición e identificación de actores, procesos, decisiones, relaciones, ecuaciones y demás. Paralelamente, la retroalimentación durante el proceso de implementación del modelo condujo a un mejoramiento progresivo de este, respecto de su procesamiento interno, de la coherencia lógica, procedimental y conceptual, así como del manejo de variables y terminología, respecto al comportamiento y la estructura del modelo propuesto. A partir de lo expuesto por Wilensky y Rand (2015), las partes involucradas en el proceso de modelación, sean estos los analistas, modeladores, programadores o expertos del sector práctico, deben discutir con regularidad todos los elementos, reglas, resultados y demás aspectos involucrados en el diseño. Estas pautas fueron las consideradas en todo el transcurso de la concepción, conceptualización, implementación y análisis del diseño del MBA presentado en la secuencia plasmada a lo largo de los capítulos 3, 4, 5 y 6.

La documentación

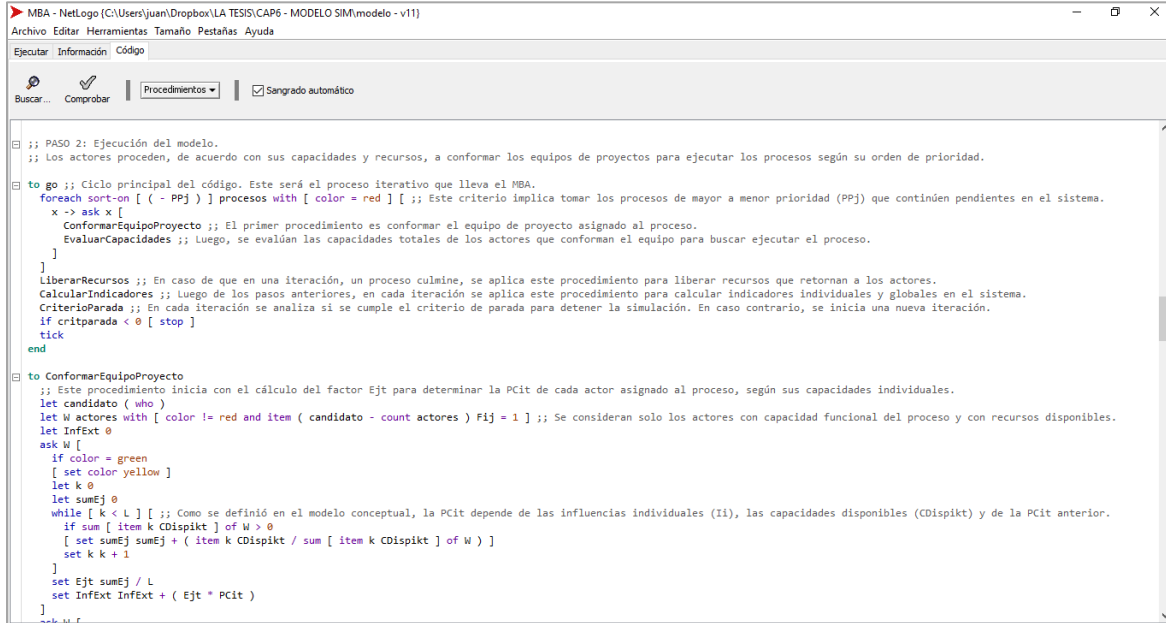
Sterman (2000) reconoce la documentación como una parte, no solo importante, sino integral del proceso de modelación. Para este autor, la documentación no solo se requiere para describir el proceso de diseño, sino también para asegurar que los resultados de la modelación sean comprendidos, incluso replicados por otros investigadores. Por tanto, sin la debida documentación de todo el proceso, no puede asumirse que el trabajo desarrollado sea ni científico, ni útil (Sterman, 2000). En consonancia con lo anterior, Kleijnen (1995) recomienda a los modeladores incluir en la documentación, información relacionada con las suposiciones y variables de entrada del modelo, lo cual permite obtener una buena documentación para que otros analistas evalúen el modelo de simulación.

En sintonía con lo expuesto por Hammond (2015) y Wilensky y Rand (2015), la intencionalidad de la documentación es presentar, descriptivamente, cómo ha sido la conceptualización del modelo propuesto, de cómo ha sido el proceso de implementación del modelo de simulación, y de cómo las decisiones de modelación fueron asumidas para lograr la concordancia entre ambos modelos, al través de la formulación y construcción de distintas versiones incrementales. Al respecto, la documentación, como buena práctica de modelación (Hammond, 2015), se sustenta y complementa con algunos elementos gráficos, verbigracia, el flujograma (que se presenta en la figura 4.2), o los diagramas de actores (figura 4.3) para describir gráficamente el flujo de las decisiones que se toman a lo largo de los procedimientos, así como el seudocódigo (figura 6.1) para representar cómo fue implementado el modelo (Wilensky y Rand, 2015). En un sentido adicional, Aros y Gibbons (2018) proponen como buena práctica de programación, la documentación detallada dentro del código programado, así como la creación de archivos externos para guardar los datos de entrada del modelo. Con esta consideración, el proceso de programación también involucró textos adicionales en las líneas de código, como sustento explicativo, a fin de presentar indicaciones y aclaraciones de las instrucciones concebidas a lo largo de los procedimientos establecidos en el modelo de simulación implementado, de lo cual se presenta un ejemplo en la figura F.1. Ello, por supuesto, busca ofrecer claridad y verosimilitud a los usuarios potenciales y modeladores respecto al uso del código de programación elaborado.

La descripción de los mecanismos de verificación utilizados durante el proceso de modelación e implementación del modelo de simulación en el marco del problema investigativo abordado –y en línea con las preguntas y objetivos de la investigación–, han ofrecido evidencia respecto a la concordancia y coherencia de la implementación obtenida en función de la conceptualización del MBA. A través de procesos de reflexión, los cuales fueron iterativos, recurrentes, analíticos y valiosos, se implementaron mejoras procedimentales y conceptuales en ambos modelos diseñados (tanto en el modelo conceptual como en el modelo de simulación). En consecuencia, el rigor de los

procedimientos adelantados descritos en esta sección, aportan confiabilidad funcional de cara a la ejecución del modelo a partir de la simulación.

Figura F.1. Líneas de código programadas en el software Netlogo.



```

MBA - NetLogo [C:\Users\juan\Dropbox\LA TESIS\CAP6 - MODELO SIM\modelo - v11]
Archivo Editar Herramientas Tamaño Pestañas Ayuda
Ejecutar Información Código
Buscar... Comprobar | Procedimientos | Sangrado automático

;; PASO 2: Ejecución del modelo.
;; Los actores proceden, de acuerdo con sus capacidades y recursos, a conformar los equipos de proyectos para ejecutar los procesos según su orden de prioridad.
to go ;; Ciclo principal del código. Este será el proceso iterativo que lleva el MBA.
  foreach sort-on [ ( - PPj ) ] procesos with [ color = red ] [ ;; Este criterio implica tomar los procesos de mayor a menor prioridad (PPj) que continúen pendientes en el sistema.
    x -> ask x [
      ConformarEquipoProyecto ;; El primer procedimiento es conformar el equipo de proyecto asignado al proceso.
      EvaluarCapacidades ;; Luego, se evalúan las capacidades totales de los actores que conforman el equipo para buscar ejecutar el proceso.
    ]
  ]
  LiberarRecursos ;; En caso de que en una iteración, un proceso culmine, se aplica este procedimiento para liberar recursos que retornan a los actores.
  CalcularIndicadores ;; Luego de los pasos anteriores, en cada iteración se aplica este procedimiento para calcular indicadores individuales y globales en el sistema.
  CriterioParada ;; En cada iteración se analiza si se cumple el criterio de parada para detener la simulación. En caso contrario, se inicia una nueva iteración.
  if critparada < 0 [ stop ]
  tick
end

to ConformarEquipoProyecto
  ;; Este procedimiento inicia con el cálculo del factor Ejt para determinar la PCit de cada actor asignado al proceso, según sus capacidades individuales.
  let candidato ( who )
  let W actores with [ color != red and item ( candidato - count actores ) Fij = 1 ] ;; Se consideran solo los actores con capacidad funcional del proceso y con recursos disponibles.
  let InfExt 0
  ask W [
    if color = green
    [ set color yellow ]
    let k 0
    let sumEj 0
    while [ k < L ] [ ;; Como se definió en el modelo conceptual, la PCit depende de las influencias individuales (Ii), las capacidades disponibles (CDispikt) y de la PCit anterior.
      if sum [ item k CDispikt ] of W > 0
      [ set sumEj sumEj + ( item k CDispikt / sum [ item k CDispikt ] of W ) ]
      set k k + 1
    ]
    set Ejt sumEj / L
    set InfExt InfExt + ( Ejt * PCit )
  ]
end

```

G. Anexo G: Corridas del modelo de simulación

La información que se suministra en las páginas siguientes tiene como fin dejar el registro de las variables de salida arrojadas por el modelo de simulación, en el marco del proceso de validación del modelo basado en el análisis de sensibilidad. Como definido en la tabla 4.4 del capítulo 4, las variables de salidas comprendidas como los indicadores de desempeño del sistema considerado están relacionadas con: agilidad del sistema, flexibilidad (o resiliencia) del sistema, confiabilidad del sistema, y nivel de utilización de las capacidades.

Por su parte, el análisis de sensibilidad presentado y discutido en el capítulo 6 se basó en el análisis del comportamiento de los resultados del modelo. Para ello, dicho comportamiento se estudió a partir de la variación de las principales variables de entrada: funciones de los actores modelados, recursos disponibles de los actores locales, tiempos de ejecución de los procesos de preparación, porcentaje mínimo de cumplimiento para la ejecución de los procesos, y probabilidad de coordinación de los actores locales. Luego, cada variación hecha en una variable ha significado un escenario distinto para el modelo, y cada escenario ha sido corrido en 30 iteraciones. Así, cada tabla que comprende el presente anexo informa los datos arrojados por la simulación y cuya utilidad principal está enfocada hacia el sustento del análisis de sensibilidad y validación del modelo de simulación tal como se expone en el capítulo 6.

G.1 Corridos del modelo de simulación para el escenario base

Tabla G.1. Resultados de 30 corridas ejecutadas del modelo de simulación bajo el escenario base.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 319 | 45,68 | 77,88 | 6,00 | 79,66 | 2,38 | 49,89 | 11,44 |
| 2 | 372 | 48,29 | 78,85 | 6,85 | 79,67 | 1,85 | 47,90 | 14,31 |
| 3 | 220 | 46,84 | 78,85 | 6,92 | 80,01 | 2,00 | 44,45 | 19,05 |
| 4 | 534 | 49,52 | 78,85 | 6,46 | 79,25 | 2,31 | 48,31 | 14,39 |
| 5 | 386 | 57,60 | 76,92 | 5,62 | 75,56 | 3,31 | 47,56 | 15,14 |
| 6 | 321 | 57,61 | 77,88 | 6,77 | 74,21 | 2,23 | 48,42 | 13,32 |
| 7 | 184 | 42,54 | 75,96 | 6,77 | 81,35 | 1,62 | 49,59 | 12,71 |
| 8 | 166 | 43,73 | 77,88 | 7,00 | 86,00 | 1,62 | 46,51 | 15,14 |
| 9 | 142 | 37,44 | 78,85 | 7,69 | 87,18 | 0,85 | 44,52 | 20,19 |
| 10 | 346 | 41,63 | 78,85 | 6,92 | 85,37 | 1,92 | 46,31 | 16,21 |
| 11 | 366 | 54,39 | 78,85 | 5,54 | 70,22 | 3,38 | 49,91 | 12,41 |
| 12 | 171 | 33,76 | 78,85 | 7,69 | 88,92 | 0,77 | 48,13 | 14,84 |
| 13 | 325 | 49,89 | 78,85 | 7,31 | 82,42 | 2,08 | 46,93 | 15,41 |
| 14 | 476 | 54,12 | 77,88 | 5,85 | 75,29 | 2,92 | 51,63 | 11,39 |
| 15 | 192 | 44,39 | 78,85 | 6,46 | 79,18 | 2,46 | 48,94 | 14,57 |
| 16 | 177 | 40,88 | 77,88 | 6,77 | 83,19 | 1,69 | 45,93 | 15,91 |
| 17 | 164 | 45,41 | 78,85 | 6,54 | 81,77 | 2,31 | 46,16 | 15,36 |
| 18 | 144 | 42,20 | 78,85 | 7,38 | 83,15 | 1,92 | 47,95 | 14,89 |
| 19 | 219 | 41,73 | 78,85 | 7,38 | 84,72 | 1,31 | 47,30 | 13,72 |
| 20 | 177 | 32,98 | 77,88 | 7,62 | 85,74 | 1,31 | 44,19 | 19,84 |
| 21 | 132 | 45,65 | 78,85 | 6,31 | 85,26 | 1,92 | 44,78 | 19,52 |
| 22 | 193 | 42,33 | 78,85 | 6,92 | 84,85 | 1,54 | 47,83 | 14,37 |
| 23 | 174 | 39,58 | 78,85 | 8,23 | 88,27 | 1,08 | 47,17 | 14,19 |
| 24 | 173 | 36,16 | 78,85 | 8,08 | 88,24 | 1,00 | 44,03 | 19,73 |
| 25 | 164 | 45,86 | 78,85 | 6,62 | 77,97 | 2,23 | 47,15 | 14,57 |
| 26 | 197 | 51,66 | 77,88 | 7,23 | 80,27 | 1,62 | 47,75 | 16,12 |
| 27 | 257 | 49,26 | 77,88 | 6,77 | 76,22 | 2,62 | 48,15 | 14,85 |
| 28 | 129 | 41,31 | 78,85 | 6,92 | 87,65 | 1,31 | 46,31 | 17,06 |
| 29 | 159 | 48,16 | 78,85 | 7,54 | 81,36 | 1,85 | 48,20 | 13,91 |
| 30 | 161 | 44,28 | 78,85 | 6,46 | 82,12 | 2,08 | 45,90 | 14,06 |
| Mejor | 129 | 32,98 | 78,85 | 8,23 | 88,92 | 0,77 | 51,63 | 11,39 |
| Media | 238 | 45,162667 | 78,430667 | 6,8873333 | 81,835667 | 1,9163333 | 47,26 | 15,287333 |
| Desv. | 107,10903 | 6,2500102 | 0,7029246 | 0,6614922 | 4,6400094 | 0,6492249 | 1,8236719 | 2,3616139 |
| CV % | 45,003795 | 13,838886 | 0,8962369 | 9,6044751 | 5,669911 | 33,878496 | 3,8588065 | 15,448174 |

G.2 Corridas del modelo de simulación para los escenarios basados en las funciones de los actores

Tabla G.2. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de funciones asignadas equivalentes al 10%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|---------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|------|-------------|------|------------|
| 1 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 3 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 4 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 6 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 7 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 8 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 9 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 10 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 11 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 12 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 13 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 14 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 15 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 16 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 17 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 18 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 19 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 20 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 21 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 23 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 24 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 25 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 26 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 27 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 28 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 29 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 30 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| Mejor | - | 100 | 0 | 0 | 0 | 11,38 | 0 | 100 |
| Media | - | 100 | 0 | 0 | 0 | 11,38 | 0 | 100 |
| Desv. | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CV % | - | 0 | - | - | - | 0 | - | 0 |

Tabla G.3. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de funciones asignadas equivalentes al 20%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | - | 85,13 | 5,77 | 0,23 | 15,40 | 7,77 | 13,35 | 78,49 |
| 2 | - | 85,71 | 5,77 | 0,23 | 14,97 | 8,00 | 13,74 | 77,85 |
| 3 | - | 84,90 | 5,77 | 0,23 | 16,09 | 7,77 | 13,13 | 78,87 |
| 4 | - | 85,58 | 5,77 | 0,23 | 15,05 | 8,00 | 13,55 | 78,11 |
| 5 | - | 85,88 | 5,77 | 0,23 | 15,32 | 7,85 | 14,01 | 77,45 |
| 6 | - | 86,32 | 5,77 | 0,23 | 14,58 | 8,00 | 13,71 | 77,88 |
| 7 | - | 84,98 | 5,77 | 0,23 | 15,68 | 7,77 | 13,78 | 77,85 |
| 8 | - | 86,01 | 5,77 | 0,23 | 14,89 | 8,23 | 14,08 | 77,31 |
| 9 | - | 85,87 | 5,77 | 0,23 | 15,47 | 7,92 | 13,66 | 78,00 |
| 10 | - | 84,27 | 5,77 | 0,23 | 16,29 | 7,77 | 13,71 | 78,00 |
| 11 | - | 85,33 | 5,77 | 0,23 | 15,05 | 7,85 | 13,59 | 78,11 |
| 12 | - | 85,41 | 5,77 | 0,23 | 14,80 | 8,00 | 13,87 | 77,66 |
| 13 | - | 84,76 | 5,77 | 0,23 | 16,10 | 7,69 | 13,59 | 78,16 |
| 14 | - | 85,28 | 5,77 | 0,23 | 15,51 | 7,69 | 13,71 | 77,92 |
| 15 | - | 85,97 | 5,77 | 0,23 | 14,80 | 8,00 | 13,42 | 78,32 |
| 16 | - | 87,52 | 5,77 | 0,23 | 13,75 | 8,38 | 14,07 | 77,20 |
| 17 | - | 85,85 | 5,77 | 0,23 | 14,91 | 8,08 | 13,77 | 77,81 |
| 18 | - | 85,94 | 5,77 | 0,23 | 14,70 | 8,08 | 13,28 | 78,59 |
| 19 | - | 85,72 | 5,77 | 0,23 | 15,32 | 7,85 | 13,39 | 78,44 |
| 20 | - | 87,25 | 5,77 | 0,23 | 13,69 | 8,54 | 14,25 | 76,94 |
| 21 | - | 86,44 | 5,77 | 0,23 | 14,26 | 8,23 | 14,04 | 77,29 |
| 22 | - | 86,34 | 5,77 | 0,23 | 14,32 | 8,23 | 13,59 | 78,06 |
| 23 | - | 86,62 | 5,77 | 0,23 | 14,53 | 8,15 | 13,83 | 77,69 |
| 24 | - | 86,57 | 5,77 | 0,23 | 14,51 | 8,08 | 13,75 | 77,78 |
| 25 | - | 85,44 | 5,77 | 0,23 | 15,85 | 7,69 | 13,79 | 77,86 |
| 26 | - | 85,18 | 5,77 | 0,23 | 16,17 | 7,62 | 13,58 | 78,19 |
| 27 | - | 85,06 | 5,77 | 0,23 | 15,05 | 8,00 | 13,63 | 78,04 |
| 28 | - | 86,42 | 5,77 | 0,23 | 14,37 | 8,15 | 13,65 | 77,90 |
| 29 | - | 86,51 | 5,77 | 0,23 | 14,76 | 8,08 | 13,71 | 77,88 |
| 30 | - | 84,97 | 5,77 | 0,23 | 15,19 | 8,00 | 13,50 | 78,25 |
| Mejor | - | 84,27 | 5,77 | 0,23 | 16,29 | 7,62 | 14,25 | 76,94 |
| Media | - | 85,77433 | 5,77 | 0,23 | 15,046 | 7,9823333 | 13,691 | 77,93 |
| Desv. | - | 0,744718 | 0 | 0 | 0,669882 | 0,2176787 | 0,2479759 | 0,4193591 |
| CV % | - | 0,868229 | 0 | 0 | 4,452227 | 2,7270061 | 1,8112333 | 0,5381228 |

Tabla G.4. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de funciones asignadas equivalentes al 30%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | - | 84,54 | 7,69 | 0,46 | 16,38 | 7,46 | 17,50 | 74,37 |
| 2 | - | 84,73 | 7,69 | 0,46 | 16,00 | 7,46 | 17,02 | 74,11 |
| 3 | - | 83,72 | 7,69 | 0,46 | 17,53 | 6,92 | 16,49 | 75,82 |
| 4 | - | 84,29 | 7,69 | 0,46 | 16,50 | 7,31 | 17,47 | 75,16 |
| 5 | - | 82,53 | 7,69 | 0,46 | 18,49 | 6,92 | 17,30 | 74,51 |
| 6 | - | 83,19 | 7,69 | 0,46 | 17,23 | 7,08 | 16,06 | 75,79 |
| 7 | - | 84,57 | 7,69 | 0,46 | 16,76 | 7,54 | 17,96 | 74,17 |
| 8 | - | 84,50 | 7,69 | 0,46 | 16,86 | 7,46 | 18,74 | 73,86 |
| 9 | - | 84,58 | 7,69 | 0,46 | 15,97 | 7,38 | 16,57 | 73,59 |
| 10 | - | 84,14 | 7,69 | 0,46 | 16,45 | 7,31 | 18,20 | 73,37 |
| 11 | - | 84,72 | 7,69 | 0,46 | 16,81 | 7,38 | 17,60 | 74,58 |
| 12 | - | 83,39 | 7,69 | 0,46 | 16,61 | 7,62 | 16,77 | 74,78 |
| 13 | - | 83,54 | 7,69 | 0,46 | 17,92 | 6,92 | 18,64 | 73,56 |
| 14 | - | 83,25 | 7,69 | 0,46 | 17,95 | 6,77 | 16,82 | 75,23 |
| 15 | - | 83,23 | 7,69 | 0,46 | 17,29 | 7,08 | 17,49 | 73,95 |
| 16 | - | 83,71 | 7,69 | 0,46 | 17,30 | 7,38 | 17,24 | 74,16 |
| 17 | - | 84,48 | 7,69 | 0,46 | 17,23 | 7,38 | 18,36 | 74,10 |
| 18 | - | 83,31 | 7,69 | 0,46 | 17,34 | 7,08 | 17,09 | 75,14 |
| 19 | - | 84,30 | 7,69 | 0,46 | 17,54 | 7,38 | 17,03 | 75,60 |
| 20 | - | 82,17 | 7,69 | 0,46 | 18,70 | 6,69 | 18,35 | 73,92 |
| 21 | - | 83,65 | 7,69 | 0,46 | 18,56 | 6,85 | 17,97 | 74,92 |
| 22 | - | 85,14 | 7,69 | 0,46 | 16,11 | 7,62 | 17,31 | 74,88 |
| 23 | - | 83,56 | 7,69 | 0,46 | 17,87 | 7,00 | 17,42 | 75,45 |
| 24 | - | 83,15 | 7,69 | 0,46 | 18,09 | 7,15 | 17,33 | 75,54 |
| 25 | - | 83,88 | 7,69 | 0,46 | 17,12 | 7,23 | 16,98 | 75,21 |
| 26 | - | 83,97 | 7,69 | 0,46 | 17,71 | 7,15 | 17,06 | 75,24 |
| 27 | - | 82,76 | 7,69 | 0,46 | 17,58 | 7,00 | 17,65 | 74,26 |
| 28 | - | 83,26 | 7,69 | 0,46 | 18,01 | 7,08 | 17,96 | 74,42 |
| 29 | - | 84,09 | 7,69 | 0,46 | 17,38 | 7,15 | 17,29 | 75,14 |
| 30 | - | 83,19 | 7,69 | 0,46 | 17,75 | 7,15 | 18,00 | 73,57 |
| Mejor | - | 82,17 | 7,69 | 0,46 | 18,7 | 6,69 | 18,74 | 73,37 |
| Media | - | 83,784667 | 7,69 | 0,46 | 17,301333 | 7,1966667 | 17,455667 | 74,613333 |
| Desv. | - | 0,7176049 | 0 | 0 | 0,7455326 | 0,2497079 | 0,641075 | 0,7187121 |
| CV % | - | 0,8564871 | 0 | 0 | 4,3091049 | 3,4697713 | 3,6725895 | 0,9632489 |

Tabla G.5. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de funciones asignadas equivalentes al 40%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | - | 85,25 | 6,73 | 0,46 | 13,13 | 6,46 | 14,67 | 76,50 |
| 2 | - | 85,44 | 6,73 | 0,46 | 13,21 | 6,38 | 15,07 | 75,87 |
| 3 | - | 85,27 | 6,73 | 0,38 | 13,25 | 6,31 | 15,99 | 74,38 |
| 4 | - | 85,22 | 6,73 | 0,46 | 13,22 | 6,54 | 15,45 | 75,26 |
| 5 | - | 85,20 | 6,73 | 0,46 | 13,26 | 6,54 | 14,47 | 76,80 |
| 6 | - | 85,22 | 6,73 | 0,46 | 13,20 | 6,77 | 14,03 | 77,50 |
| 7 | - | 85,21 | 6,73 | 0,46 | 13,15 | 6,85 | 14,55 | 76,63 |
| 8 | - | 85,30 | 6,73 | 0,46 | 13,26 | 6,46 | 14,48 | 76,88 |
| 9 | - | 85,29 | 6,73 | 0,46 | 13,18 | 6,62 | 13,68 | 78,09 |
| 10 | - | 85,26 | 6,73 | 0,46 | 13,17 | 6,38 | 15,24 | 75,56 |
| 11 | - | 85,24 | 6,73 | 0,46 | 13,24 | 6,77 | 14,03 | 77,51 |
| 12 | - | 85,33 | 6,73 | 0,46 | 13,23 | 6,31 | 15,07 | 75,86 |
| 13 | - | 85,34 | 6,73 | 0,46 | 13,28 | 6,54 | 14,66 | 76,49 |
| 14 | - | 85,26 | 6,73 | 0,46 | 13,22 | 6,69 | 14,89 | 76,15 |
| 15 | - | 85,36 | 6,73 | 0,46 | 13,21 | 6,54 | 14,90 | 76,07 |
| 16 | - | 85,25 | 6,73 | 0,46 | 13,17 | 6,62 | 13,75 | 78,10 |
| 17 | - | 85,39 | 6,73 | 0,46 | 13,19 | 6,31 | 15,31 | 75,36 |
| 18 | - | 85,24 | 6,73 | 0,46 | 13,20 | 6,15 | 14,51 | 76,72 |
| 19 | - | 85,24 | 6,73 | 0,46 | 13,21 | 6,62 | 14,54 | 76,64 |
| 20 | - | 85,30 | 6,73 | 0,38 | 13,20 | 6,54 | 14,88 | 76,26 |
| 21 | - | 85,30 | 6,73 | 0,46 | 13,10 | 6,62 | 13,20 | 78,94 |
| 22 | - | 85,35 | 6,73 | 0,46 | 13,26 | 6,46 | 15,38 | 75,31 |
| 23 | - | 85,30 | 6,73 | 0,46 | 13,24 | 6,15 | 14,64 | 76,63 |
| 24 | - | 85,31 | 6,73 | 0,46 | 13,27 | 6,31 | 15,33 | 75,49 |
| 25 | - | 85,30 | 6,73 | 0,38 | 13,22 | 6,31 | 15,19 | 75,69 |
| 26 | - | 85,26 | 6,73 | 0,46 | 13,19 | 6,46 | 14,07 | 77,60 |
| 27 | - | 85,31 | 6,73 | 0,46 | 13,20 | 6,31 | 16,13 | 74,09 |
| 28 | - | 85,39 | 6,73 | 0,46 | 13,18 | 6,31 | 15,42 | 75,32 |
| 29 | - | 85,24 | 6,73 | 0,46 | 13,15 | 6,38 | 14,99 | 75,97 |
| 30 | - | 85,30 | 6,73 | 0,46 | 13,08 | 6,69 | 14,17 | 77,39 |
| Mejor | - | 85,2 | 6,73 | 0,46 | 13,28 | 6,15 | 16,13 | 74,09 |
| Media | - | 85,289 | 6,73 | 0,452 | 13,202333 | 6,48 | 14,756333 | 76,368667 |
| Desv. | - | 0,0578553 | 0 | 0,0244103 | 0,048115 | 0,1801723 | 0,6665479 | 1,096124 |
| CV % | - | 0,0678345 | 0 | 5,4005058 | 0,3644435 | 2,7804372 | 4,5170292 | 1,4353059 |

Tabla G.6. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de funciones asignadas equivalentes al 50%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | - | 73,13 | 24,04 | 1,85 | 41,18 | 4,00 | 31,33 | 51,26 |
| 2 | - | 70,95 | 24,04 | 1,92 | 40,89 | 4,08 | 30,07 | 53,36 |
| 3 | - | 70,74 | 24,04 | 1,62 | 41,20 | 4,23 | 29,94 | 52,80 |
| 4 | - | 69,42 | 24,04 | 1,85 | 41,08 | 4,31 | 26,50 | 58,73 |
| 5 | - | 70,22 | 24,04 | 1,77 | 41,27 | 3,77 | 30,40 | 52,24 |
| 6 | - | 71,84 | 24,04 | 1,62 | 41,26 | 3,85 | 30,68 | 52,69 |
| 7 | - | 71,20 | 24,04 | 2,00 | 40,99 | 4,31 | 29,71 | 53,72 |
| 8 | - | 71,74 | 24,04 | 1,85 | 41,28 | 4,23 | 30,16 | 52,92 |
| 9 | - | 72,01 | 24,04 | 1,77 | 41,06 | 4,15 | 30,55 | 52,44 |
| 10 | - | 72,74 | 24,04 | 2,00 | 41,18 | 4,15 | 29,70 | 54,06 |
| 11 | - | 71,51 | 24,04 | 1,77 | 40,66 | 4,31 | 29,83 | 53,29 |
| 12 | - | 71,19 | 24,04 | 1,62 | 40,97 | 4,54 | 28,48 | 55,61 |
| 13 | - | 72,33 | 24,04 | 1,77 | 41,13 | 3,92 | 31,16 | 52,26 |
| 14 | - | 72,58 | 24,04 | 1,77 | 41,10 | 4,38 | 29,07 | 54,89 |
| 15 | - | 72,43 | 24,04 | 1,85 | 41,15 | 4,15 | 30,54 | 52,55 |
| 16 | - | 72,23 | 24,04 | 1,92 | 40,73 | 4,31 | 30,10 | 53,98 |
| 17 | - | 73,70 | 24,04 | 2,00 | 41,11 | 4,15 | 29,02 | 55,25 |
| 18 | - | 72,55 | 24,04 | 1,85 | 41,00 | 4,08 | 29,96 | 52,82 |
| 19 | - | 71,35 | 24,04 | 1,85 | 41,09 | 3,77 | 30,02 | 53,41 |
| 20 | - | 71,91 | 24,04 | 2,00 | 40,97 | 4,15 | 29,28 | 54,18 |
| 21 | - | 73,61 | 24,04 | 2,15 | 41,16 | 4,38 | 30,59 | 52,64 |
| 22 | - | 72,64 | 24,04 | 1,85 | 40,96 | 4,23 | 30,38 | 53,06 |
| 23 | - | 70,65 | 24,04 | 2,00 | 41,38 | 4,08 | 28,02 | 56,68 |
| 24 | - | 73,21 | 24,04 | 2,00 | 40,80 | 4,23 | 30,28 | 52,09 |
| 25 | - | 70,54 | 24,04 | 1,69 | 41,21 | 3,85 | 28,93 | 54,75 |
| 26 | - | 71,48 | 24,04 | 1,77 | 40,63 | 3,77 | 29,86 | 53,25 |
| 27 | - | 72,76 | 24,04 | 1,92 | 41,12 | 3,92 | 28,86 | 55,08 |
| 28 | - | 71,44 | 24,04 | 2,08 | 41,02 | 4,00 | 27,72 | 56,93 |
| 29 | - | 72,19 | 24,04 | 1,77 | 41,09 | 4,08 | 29,62 | 54,40 |
| 30 | - | 72,36 | 24,04 | 1,77 | 41,32 | 4,23 | 28,17 | 56,41 |
| Mejor | - | 69,42 | 24,04 | 2,15 | 41,38 | 3,77 | 31,33 | 51,26 |
| Media | - | 71,888333 | 24,04 | 1,855 | 41,066333 | 4,1203333 | 29,631 | 53,925 |
| Desv. | - | 1,0111144 | 0 | 0,1348499 | 0,1849228 | 0,1990925 | 1,0674893 | 1,689923 |
| CV % | - | 1,4065069 | 0 | 7,2695338 | 0,4503026 | 4,8319508 | 3,6026098 | 3,1338395 |

Tabla G.7. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de funciones asignadas equivalentes al 60%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | - | 72,96 | 25,00 | 2,00 | 40,92 | 4,23 | 30,28 | 51,88 |
| 2 | - | 72,20 | 25,00 | 2,31 | 41,36 | 4,23 | 31,07 | 50,49 |
| 3 | - | 70,47 | 25,00 | 2,08 | 41,28 | 4,31 | 30,76 | 51,14 |
| 4 | - | 74,64 | 25,00 | 2,00 | 41,91 | 4,08 | 33,95 | 45,85 |
| 5 | - | 72,01 | 25,00 | 2,23 | 41,22 | 4,15 | 29,35 | 53,22 |
| 6 | - | 72,15 | 25,00 | 2,15 | 41,57 | 4,00 | 33,14 | 46,31 |
| 7 | - | 72,76 | 25,00 | 2,00 | 41,45 | 4,23 | 34,80 | 44,86 |
| 8 | - | 72,22 | 25,00 | 2,46 | 41,36 | 3,92 | 31,89 | 48,96 |
| 9 | - | 72,33 | 25,00 | 2,08 | 41,27 | 4,00 | 31,32 | 49,11 |
| 10 | - | 71,97 | 25,00 | 2,23 | 41,07 | 4,00 | 29,80 | 52,48 |
| 11 | - | 73,14 | 25,00 | 2,31 | 41,30 | 3,92 | 31,04 | 48,91 |
| 12 | - | 71,96 | 25,00 | 2,00 | 41,84 | 4,46 | 30,01 | 51,05 |
| 13 | - | 70,58 | 25,00 | 1,92 | 41,66 | 4,46 | 32,20 | 49,12 |
| 14 | - | 73,47 | 25,00 | 2,15 | 41,64 | 3,85 | 32,23 | 46,95 |
| 15 | - | 73,01 | 25,00 | 2,38 | 39,86 | 4,08 | 31,48 | 50,16 |
| 16 | - | 71,53 | 25,00 | 2,08 | 41,19 | 4,08 | 30,20 | 50,69 |
| 17 | - | 71,33 | 25,00 | 2,38 | 41,40 | 3,85 | 33,94 | 47,19 |
| 18 | - | 72,61 | 25,00 | 2,23 | 41,42 | 4,08 | 31,53 | 49,69 |
| 19 | - | 71,40 | 25,00 | 2,15 | 41,14 | 4,31 | 29,86 | 51,64 |
| 20 | - | 71,60 | 25,00 | 2,23 | 41,37 | 3,92 | 33,23 | 46,58 |
| 21 | - | 69,78 | 25,00 | 1,92 | 40,43 | 4,38 | 30,25 | 51,88 |
| 22 | - | 73,30 | 25,00 | 1,92 | 41,41 | 3,92 | 33,82 | 46,91 |
| 23 | - | 72,57 | 25,00 | 2,08 | 41,62 | 3,92 | 30,99 | 51,29 |
| 24 | - | 72,38 | 25,00 | 2,08 | 41,45 | 4,08 | 31,72 | 48,14 |
| 25 | - | 72,68 | 25,00 | 2,15 | 41,41 | 4,08 | 32,05 | 48,78 |
| 26 | - | 73,10 | 25,00 | 2,23 | 41,61 | 3,92 | 31,81 | 48,94 |
| 27 | - | 71,57 | 25,00 | 2,38 | 41,33 | 4,00 | 31,65 | 49,46 |
| 28 | - | 71,52 | 25,00 | 2,38 | 41,60 | 3,92 | 31,35 | 50,16 |
| 29 | - | 72,30 | 25,00 | 2,08 | 41,38 | 4,23 | 31,23 | 49,61 |
| 30 | - | 71,88 | 25,00 | 2,31 | 38,87 | 4,15 | 29,82 | 52,38 |
| Mejor | - | 69,78 | 25 | 2,46 | 41,91 | 3,85 | 34,8 | 44,86 |
| Media | - | 72,180667 | 25 | 2,1633333 | 41,244667 | 4,092 | 31,559 | 49,461 |
| Desv. | - | 0,9718732 | 0 | 0,1541681 | 0,5950818 | 0,1752515 | 1,3991361 | 2,1512504 |
| CV % | - | 1,3464453 | 0 | 7,1264164 | 1,442809 | 4,2827845 | 4,433398 | 4,3493872 |

Tabla G.8. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de funciones asignadas equivalentes al 70%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | - | 63,18 | 36,54 | 3,46 | 47,19 | 3,92 | 34,58 | 35,64 |
| 2 | - | 66,99 | 36,54 | 3,23 | 48,61 | 3,69 | 38,49 | 33,06 |
| 3 | - | 66,64 | 36,54 | 3,38 | 47,57 | 4,00 | 37,25 | 33,68 |
| 4 | - | 67,13 | 36,54 | 3,62 | 46,88 | 4,15 | 37,99 | 33,00 |
| 5 | - | 64,72 | 36,54 | 3,23 | 47,83 | 3,62 | 36,13 | 32,92 |
| 6 | - | 66,95 | 36,54 | 3,62 | 46,79 | 4,00 | 36,60 | 33,19 |
| 7 | - | 66,66 | 36,54 | 3,31 | 47,63 | 4,00 | 36,28 | 33,58 |
| 8 | - | 65,61 | 35,58 | 3,38 | 47,41 | 3,85 | 35,87 | 33,83 |
| 9 | - | 68,55 | 36,54 | 3,46 | 45,45 | 3,46 | 38,37 | 29,40 |
| 10 | - | 63,01 | 36,54 | 3,54 | 47,83 | 3,69 | 36,50 | 35,38 |
| 11 | - | 67,10 | 35,58 | 3,23 | 45,16 | 3,85 | 38,03 | 31,16 |
| 12 | - | 63,95 | 36,54 | 3,46 | 48,11 | 3,54 | 35,97 | 35,86 |
| 13 | - | 64,59 | 36,54 | 3,69 | 47,02 | 3,69 | 36,96 | 35,00 |
| 14 | - | 68,35 | 36,54 | 3,00 | 45,76 | 4,08 | 38,59 | 30,53 |
| 15 | - | 68,74 | 36,54 | 3,31 | 45,96 | 4,08 | 37,97 | 33,32 |
| 16 | - | 64,44 | 35,58 | 3,46 | 47,93 | 3,46 | 35,99 | 36,16 |
| 17 | - | 61,33 | 36,54 | 3,54 | 47,93 | 3,69 | 34,39 | 38,50 |
| 18 | - | 68,62 | 36,54 | 3,62 | 47,61 | 4,08 | 38,74 | 28,57 |
| 19 | - | 65,46 | 36,54 | 3,38 | 46,81 | 3,77 | 37,69 | 32,80 |
| 20 | - | 63,80 | 36,54 | 3,69 | 46,81 | 3,46 | 37,33 | 34,82 |
| 21 | - | 62,12 | 36,54 | 3,15 | 46,59 | 3,85 | 36,42 | 34,46 |
| 22 | - | 67,13 | 36,54 | 3,54 | 48,36 | 3,69 | 37,15 | 32,81 |
| 23 | - | 62,21 | 36,54 | 3,23 | 47,58 | 3,62 | 35,11 | 36,87 |
| 24 | - | 67,36 | 36,54 | 3,00 | 46,77 | 4,15 | 38,35 | 30,89 |
| 25 | - | 63,03 | 35,58 | 3,62 | 47,99 | 3,69 | 36,79 | 34,31 |
| 26 | - | 61,98 | 36,54 | 3,92 | 46,53 | 3,62 | 32,93 | 39,85 |
| 27 | - | 61,08 | 36,54 | 3,38 | 48,25 | 3,69 | 34,23 | 41,26 |
| 28 | - | 62,94 | 36,54 | 3,38 | 47,81 | 3,77 | 35,06 | 38,27 |
| 29 | - | 62,27 | 36,54 | 3,85 | 47,61 | 3,46 | 35,59 | 36,76 |
| 30 | - | 64,73 | 36,54 | 3,15 | 46,81 | 3,54 | 37,20 | 32,40 |
| Mejor | - | 61,08 | 36,54 | 3,92 | 48,61 | 3,46 | 38,74 | 28,57 |
| Media | - | 65,022333 | 36,412 | 3,4276667 | 47,219667 | 3,772 | 36,618333 | 34,276 |
| Desv. | - | 2,3766576 | 0,3319161 | 0,2246635 | 0,8621444 | 0,2181331 | 1,4674916 | 2,900638 |
| CV % | - | 3,6551404 | 0,9115568 | 6,5544144 | 1,8258164 | 5,7829572 | 4,0075325 | 8,4625918 |

Tabla G.9. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de funciones asignadas equivalentes al 80%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | 345 | 38,83 | 79,81 | 7,08 | 87,59 | 1,46 | 42,68 | 19,55 |
| 2 | 184 | 43,61 | 79,81 | 7,62 | 86,19 | 1,15 | 42,13 | 18,87 |
| 3 | 187 | 41,98 | 79,81 | 6,23 | 84,68 | 2,00 | 42,41 | 22,11 |
| 4 | 160 | 36,79 | 79,81 | 8,15 | 88,70 | 1,31 | 42,28 | 20,30 |
| 5 | 167 | 36,58 | 79,81 | 7,31 | 87,58 | 1,23 | 45,73 | 16,03 |
| 6 | 319 | 40,13 | 79,81 | 6,77 | 84,14 | 1,54 | 44,26 | 17,57 |
| 7 | 144 | 36,77 | 79,81 | 7,00 | 88,46 | 1,00 | 43,38 | 18,99 |
| 8 | 187 | 42,77 | 79,81 | 6,77 | 85,68 | 1,54 | 45,77 | 17,12 |
| 9 | 205 | 36,93 | 79,81 | 6,85 | 87,71 | 1,23 | 44,01 | 19,02 |
| 10 | 345 | 41,85 | 79,81 | 7,77 | 87,29 | 1,46 | 44,05 | 20,14 |
| 11 | 180 | 36,15 | 78,85 | 7,00 | 85,81 | 1,46 | 43,99 | 20,53 |
| 12 | 171 | 39,94 | 79,81 | 7,00 | 83,25 | 1,08 | 42,94 | 20,18 |
| 13 | 214 | 41,04 | 79,81 | 6,46 | 89,11 | 1,46 | 43,45 | 20,81 |
| 14 | 243 | 45,09 | 79,81 | 6,54 | 79,36 | 2,38 | 43,73 | 20,53 |
| 15 | 172 | 41,17 | 79,81 | 6,92 | 85,37 | 1,77 | 44,44 | 19,74 |
| 16 | 192 | 37,37 | 78,85 | 7,54 | 89,97 | 1,08 | 43,44 | 21,53 |
| 17 | 369 | 44,28 | 79,81 | 6,38 | 83,75 | 1,92 | 44,31 | 18,67 |
| 18 | 167 | 39,89 | 78,85 | 7,54 | 86,08 | 1,54 | 43,03 | 18,65 |
| 19 | 214 | 36,73 | 79,81 | 7,77 | 86,84 | 1,38 | 41,14 | 22,35 |
| 20 | 180 | 40,78 | 79,81 | 6,85 | 82,83 | 1,62 | 43,89 | 19,56 |
| 21 | 163 | 41,00 | 79,81 | 6,62 | 85,98 | 1,38 | 44,71 | 17,60 |
| 22 | 383 | 40,82 | 79,81 | 7,54 | 82,35 | 1,62 | 40,28 | 22,19 |
| 23 | 300 | 39,18 | 79,81 | 7,00 | 84,60 | 1,62 | 41,33 | 21,25 |
| 24 | 195 | 37,13 | 79,81 | 7,54 | 89,62 | 0,92 | 45,19 | 17,61 |
| 25 | 193 | 40,20 | 79,81 | 7,23 | 87,90 | 1,46 | 43,42 | 19,04 |
| 26 | 158 | 38,19 | 79,81 | 7,15 | 88,46 | 1,08 | 44,38 | 16,93 |
| 27 | 522 | 51,84 | 79,81 | 5,46 | 71,57 | 3,08 | 46,01 | 19,12 |
| 28 | 155 | 40,58 | 79,81 | 6,85 | 86,55 | 1,77 | 42,66 | 20,26 |
| 29 | 210 | 44,93 | 78,85 | 6,69 | 85,66 | 1,54 | 44,89 | 17,93 |
| 30 | 178 | 31,63 | 79,81 | 6,62 | 88,26 | 0,85 | 45,12 | 17,10 |
| Mejor | 144 | 31,63 | 79,81 | 8,15 | 89,97 | 0,85 | 46,01 | 16,03 |
| Media | 226,7333333 | 40,13933333 | 79,682 | 7,008333 | 85,71133 | 1,497667 | 43,635 | 19,376 |
| Desv. | 88,78176783 | 3,710305251 | 0,331916 | 0,546197 | 3,576436 | 0,446123 | 1,38707 | 1,671061 |
| CV % | 39,15691025 | 9,243564711 | 0,416551 | 7,793542 | 4,172652 | 29,78785 | 3,178802 | 8,624387 |

Tabla G.10. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de funciones asignadas equivalentes al 90%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | 174 | 35,45 | 90,38 | 6,92 | 88,19 | 1,23 | 42,74 | 20,54 |
| 2 | 182 | 32,99 | 87,50 | 6,85 | 89,42 | 1,31 | 43,66 | 19,37 |
| 3 | 154 | 32,02 | 90,38 | 6,92 | 88,94 | 0,77 | 43,17 | 21,81 |
| 4 | 193 | 33,61 | 90,38 | 7,08 | 88,07 | 1,23 | 42,17 | 21,94 |
| 5 | 190 | 38,25 | 88,46 | 7,08 | 89,26 | 1,23 | 46,22 | 15,76 |
| 6 | 145 | 35,85 | 90,38 | 7,15 | 87,34 | 1,46 | 45,33 | 20,34 |
| 7 | 119 | 29,83 | 88,46 | 7,08 | 87,99 | 1,08 | 41,85 | 23,19 |
| 8 | 181 | 31,07 | 89,42 | 6,00 | 87,70 | 1,31 | 45,04 | 18,18 |
| 9 | 164 | 36,83 | 89,42 | 6,62 | 87,35 | 1,62 | 43,43 | 19,03 |
| 10 | 198 | 36,89 | 90,38 | 7,15 | 87,17 | 1,15 | 45,03 | 18,88 |
| 11 | 172 | 33,69 | 87,50 | 7,00 | 87,63 | 1,00 | 45,10 | 18,94 |
| 12 | 182 | 30,37 | 89,42 | 6,77 | 90,11 | 1,08 | 43,11 | 21,27 |
| 13 | 155 | 35,77 | 90,38 | 6,69 | 88,39 | 1,00 | 42,33 | 20,27 |
| 14 | 186 | 34,32 | 90,38 | 6,77 | 89,17 | 1,15 | 43,77 | 18,95 |
| 15 | 214 | 34,41 | 88,46 | 6,92 | 85,48 | 1,00 | 42,17 | 21,01 |
| 16 | 146 | 29,62 | 90,38 | 7,08 | 88,76 | 0,85 | 42,30 | 22,99 |
| 17 | 171 | 35,56 | 88,46 | 7,08 | 88,54 | 1,15 | 42,18 | 23,91 |
| 18 | 183 | 28,36 | 90,38 | 6,85 | 88,59 | 1,23 | 41,34 | 22,78 |
| 19 | 196 | 30,50 | 90,38 | 6,92 | 89,60 | 0,92 | 43,36 | 20,30 |
| 20 | 164 | 28,56 | 90,38 | 6,92 | 88,81 | 1,15 | 43,07 | 20,93 |
| 21 | 173 | 34,65 | 90,38 | 7,00 | 88,85 | 1,00 | 45,66 | 18,79 |
| 22 | 195 | 32,01 | 90,38 | 7,15 | 87,07 | 1,46 | 42,62 | 20,62 |
| 23 | 191 | 33,84 | 89,42 | 6,77 | 88,67 | 1,31 | 46,19 | 17,01 |
| 24 | 192 | 33,48 | 89,42 | 7,23 | 88,24 | 1,31 | 41,63 | 21,64 |
| 25 | 179 | 32,01 | 90,38 | 6,46 | 87,42 | 1,23 | 42,89 | 18,85 |
| 26 | 158 | 34,79 | 90,38 | 6,69 | 87,06 | 1,00 | 44,10 | 18,45 |
| 27 | 179 | 30,74 | 90,38 | 7,31 | 88,98 | 0,85 | 42,91 | 21,28 |
| 28 | 169 | 33,03 | 89,42 | 6,69 | 90,50 | 1,31 | 44,05 | 18,04 |
| 29 | 175 | 32,93 | 90,38 | 6,85 | 89,54 | 1,23 | 43,65 | 21,28 |
| 30 | 192 | 31,06 | 90,38 | 7,23 | 88,49 | 0,85 | 44,64 | 17,67 |
| Mejor | 119 | 28,36 | 90,38 | 7,31 | 90,5 | 0,77 | 46,22 | 15,76 |
| Media | 175,7333333 | 33,083 | 89,74 | 6,907667 | 88,37767 | 1,149 | 43,52367 | 20,134 |
| Desv. | 19,40837596 | 2,5485332 | 0,92057 | 0,264454 | 1,049081 | 0,20078 | 1,358301 | 1,934804 |
| CV % | 11,04422001 | 7,7034527 | 1,025819 | 3,828408 | 1,187043 | 17,47436 | 3,120834 | 9,609635 |

Tabla G.11. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de funciones asignadas equivalentes al 100%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | 167 | 40,82 | 100,00 | 7,77 | 86,59 | 1,92 | 46,09 | 19,15 |
| 2 | 204 | 39,31 | 100,00 | 7,77 | 84,39 | 2,15 | 48,52 | 10,52 |
| 3 | 251 | 37,71 | 99,04 | 7,62 | 87,38 | 1,38 | 48,98 | 14,42 |
| 4 | 162 | 33,24 | 99,04 | 8,15 | 89,38 | 1,38 | 47,66 | 13,34 |
| 5 | 179 | 44,37 | 100,00 | 7,69 | 86,08 | 1,69 | 49,21 | 10,36 |
| 6 | 177 | 36,92 | 100,00 | 8,92 | 89,15 | 1,00 | 49,66 | 11,90 |
| 7 | 323 | 43,15 | 98,08 | 7,46 | 83,60 | 2,15 | 48,73 | 10,83 |
| 8 | 164 | 32,69 | 100,00 | 8,23 | 86,63 | 1,69 | 48,60 | 12,69 |
| 9 | 172 | 35,85 | 99,04 | 8,46 | 88,95 | 1,31 | 49,08 | 12,52 |
| 10 | 366 | 41,44 | 100,00 | 7,54 | 83,19 | 2,31 | 50,32 | 9,30 |
| 11 | 187 | 36,31 | 100,00 | 8,46 | 88,93 | 1,31 | 49,63 | 9,54 |
| 12 | 206 | 41,14 | 100,00 | 7,62 | 84,46 | 1,77 | 49,05 | 11,68 |
| 13 | 161 | 29,50 | 98,08 | 8,46 | 89,41 | 1,15 | 48,45 | 13,13 |
| 14 | 346 | 35,07 | 100,00 | 8,08 | 86,51 | 1,38 | 47,15 | 12,88 |
| 15 | 337 | 45,91 | 100,00 | 7,62 | 83,08 | 2,23 | 49,19 | 10,76 |
| 16 | 134 | 35,05 | 100,00 | 7,62 | 89,01 | 1,69 | 47,90 | 12,91 |
| 17 | 245 | 31,04 | 100,00 | 8,46 | 87,84 | 1,38 | 47,08 | 13,77 |
| 18 | 268 | 39,38 | 100,00 | 8,15 | 84,77 | 1,54 | 49,12 | 13,04 |
| 19 | 188 | 36,74 | 100,00 | 8,15 | 89,59 | 1,38 | 46,87 | 16,47 |
| 20 | 167 | 36,01 | 100,00 | 8,54 | 87,78 | 1,62 | 48,37 | 15,00 |
| 21 | 552 | 49,65 | 98,08 | 6,54 | 75,06 | 3,31 | 49,62 | 13,79 |
| 22 | 178 | 42,45 | 100,00 | 8,31 | 88,30 | 1,38 | 51,73 | 9,51 |
| 23 | 363 | 41,09 | 99,04 | 7,31 | 82,17 | 2,15 | 46,50 | 16,81 |
| 24 | 185 | 34,41 | 99,04 | 8,00 | 91,02 | 1,31 | 46,33 | 15,74 |
| 25 | 192 | 40,11 | 100,00 | 8,23 | 87,62 | 1,46 | 49,09 | 14,91 |
| 26 | 185 | 41,22 | 100,00 | 7,31 | 84,99 | 2,15 | 49,85 | 11,32 |
| 27 | 165 | 31,08 | 100,00 | 8,62 | 90,90 | 0,92 | 47,94 | 13,60 |
| 28 | 342 | 45,06 | 99,04 | 7,62 | 85,47 | 2,46 | 48,31 | 12,38 |
| 29 | 149 | 37,12 | 99,04 | 8,15 | 85,43 | 1,62 | 49,09 | 14,90 |
| 30 | 190 | 36,19 | 100,00 | 8,00 | 90,64 | 1,23 | 48,75 | 12,60 |
| Mejor | 134 | 29,5 | 100 | 8,92 | 91,02 | 0,92 | 51,73 | 9,3 |
| Media | 230,16667 | 38,33433 | 99,584 | 7,962 | 86,61067 | 1,680667 | 48,56233 | 12,99233 |
| Desv. | 93,438928 | 4,760658 | 0,651754 | 0,496008 | 3,289403 | 0,507312 | 1,243348 | 2,306119 |
| CV % | 40,596203 | 12,41878 | 0,654477 | 6,229685 | 3,797919 | 30,18514 | 2,560314 | 17,74984 |

G.3 Corridas del modelo de simulación para los escenarios basados en los recursos de los actores

Tabla G.12. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de recursos disponibles equivalentes al 10%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|------|-------------|------|------------|
| 1 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 3 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 4 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 6 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 7 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 8 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 9 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 10 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 11 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 12 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 13 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 14 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 15 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 16 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 17 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 18 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 19 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 20 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 21 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 23 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 24 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 25 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 26 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 27 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 28 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 29 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 30 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| Mejor | - | 100 | 0 | 0 | 0 | 11,38 | 0 | 100 |
| Media | - | 100 | 0 | 0 | 0 | 11,38 | 0 | 100 |
| Desv. | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CV % | - | 0 | - | - | - | 0 | - | 0 |

Tabla G.13. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de recursos disponibles equivalentes al 20%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | - | 83,45 | 43,27 | 3,00 | 23,82 | 7,54 | 38,06 | 22,34 |
| 2 | - | 79,57 | 42,31 | 2,69 | 26,52 | 7,38 | 39,18 | 19,22 |
| 3 | - | 80,54 | 43,27 | 3,23 | 28,85 | 7,15 | 37,16 | 23,59 |
| 4 | - | 81,40 | 37,50 | 3,08 | 27,56 | 7,00 | 39,78 | 19,20 |
| 5 | - | 81,57 | 42,31 | 2,85 | 23,85 | 7,62 | 36,73 | 23,89 |
| 6 | - | 80,82 | 43,27 | 3,00 | 28,87 | 7,00 | 38,04 | 23,06 |
| 7 | - | 81,28 | 43,27 | 3,08 | 25,74 | 7,08 | 37,75 | 23,20 |
| 8 | - | 82,87 | 43,27 | 3,38 | 25,82 | 7,08 | 35,31 | 27,78 |
| 9 | - | 81,26 | 43,27 | 2,92 | 24,97 | 7,69 | 39,11 | 19,72 |
| 10 | - | 82,46 | 37,50 | 2,92 | 24,14 | 7,69 | 37,34 | 25,00 |
| 11 | - | 83,03 | 37,50 | 2,69 | 21,80 | 7,77 | 37,51 | 23,01 |
| 12 | - | 78,29 | 43,27 | 3,08 | 27,73 | 7,23 | 35,81 | 25,84 |
| 13 | - | 81,32 | 43,27 | 3,00 | 25,76 | 7,46 | 37,16 | 26,50 |
| 14 | - | 80,83 | 42,31 | 3,08 | 27,99 | 7,23 | 36,24 | 25,82 |
| 15 | - | 77,70 | 43,27 | 3,31 | 32,16 | 6,62 | 36,91 | 24,08 |
| 16 | - | 82,09 | 42,31 | 2,92 | 24,70 | 7,31 | 38,29 | 21,28 |
| 17 | - | 83,41 | 42,31 | 2,92 | 23,22 | 7,54 | 35,97 | 27,26 |
| 18 | - | 82,33 | 43,27 | 2,77 | 24,05 | 7,23 | 40,23 | 20,73 |
| 19 | - | 84,10 | 36,54 | 2,54 | 22,44 | 7,69 | 37,26 | 22,56 |
| 20 | - | 81,38 | 43,27 | 3,38 | 27,69 | 6,92 | 39,01 | 20,70 |
| 21 | - | 82,53 | 36,54 | 2,69 | 21,49 | 8,00 | 38,28 | 20,08 |
| 22 | - | 81,15 | 43,27 | 3,00 | 25,33 | 7,62 | 37,14 | 25,14 |
| 23 | - | 82,82 | 41,35 | 3,08 | 24,17 | 7,62 | 38,57 | 22,98 |
| 24 | - | 81,27 | 43,27 | 3,15 | 28,78 | 6,85 | 37,14 | 23,13 |
| 25 | - | 81,30 | 41,35 | 2,85 | 25,36 | 7,15 | 37,32 | 25,46 |
| 26 | - | 80,08 | 43,27 | 3,77 | 30,30 | 6,54 | 37,51 | 23,26 |
| 27 | - | 81,32 | 42,31 | 3,54 | 25,90 | 7,31 | 37,85 | 24,90 |
| 28 | - | 81,11 | 43,27 | 3,23 | 27,13 | 6,92 | 38,15 | 22,79 |
| 29 | - | 82,15 | 41,35 | 3,23 | 23,22 | 7,62 | 37,48 | 23,58 |
| 30 | - | 79,58 | 43,27 | 3,54 | 29,70 | 6,85 | 36,53 | 24,32 |
| Mejor | - | 77,7 | 43,27 | 3,77 | 32,16 | 6,54 | 40,23 | 19,2 |
| Media | - | 81,433667 | 41,860333 | 3,064 | 25,968667 | 7,2903333 | 37,627333 | 23,347333 |
| Desv. | - | 1,4390262 | 2,2547918 | 0,280069 | 2,6119576 | 0,3615912 | 1,1374319 | 2,277989 |
| CV % | - | 1,7671146 | 5,3864641 | 9,1406318 | 10,058112 | 4,9598713 | 3,0228873 | 9,756956 |

Tabla G.14. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de recursos disponibles equivalentes al 30%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | - | 79,03 | 43,27 | 4,00 | 30,17 | 6,85 | 43,34 | 21,98 |
| 2 | - | 78,40 | 43,27 | 3,62 | 31,78 | 6,54 | 41,57 | 23,96 |
| 3 | - | 79,74 | 43,27 | 3,31 | 30,24 | 6,85 | 42,59 | 18,52 |
| 4 | - | 77,14 | 42,31 | 3,23 | 28,75 | 6,92 | 41,42 | 24,18 |
| 5 | - | 79,05 | 42,31 | 3,77 | 31,03 | 6,62 | 42,38 | 22,60 |
| 6 | - | 77,32 | 43,27 | 4,31 | 29,61 | 6,54 | 42,81 | 21,14 |
| 7 | - | 79,22 | 43,27 | 3,46 | 26,92 | 7,15 | 39,62 | 27,22 |
| 8 | - | 77,10 | 43,27 | 3,62 | 30,78 | 7,00 | 43,61 | 18,56 |
| 9 | - | 79,80 | 43,27 | 4,08 | 28,16 | 6,69 | 40,77 | 26,54 |
| 10 | - | 79,67 | 43,27 | 3,31 | 31,54 | 6,85 | 45,44 | 16,86 |
| 11 | - | 77,74 | 43,27 | 3,62 | 30,10 | 6,77 | 43,15 | 22,14 |
| 12 | - | 80,87 | 41,35 | 3,31 | 25,91 | 7,31 | 43,01 | 20,70 |
| 13 | - | 80,81 | 43,27 | 3,62 | 27,36 | 6,92 | 42,82 | 22,60 |
| 14 | - | 81,26 | 43,27 | 4,15 | 28,56 | 6,54 | 41,58 | 25,25 |
| 15 | - | 77,04 | 43,27 | 3,62 | 29,56 | 6,62 | 40,71 | 25,62 |
| 16 | - | 75,32 | 43,27 | 3,69 | 31,22 | 6,54 | 39,57 | 26,41 |
| 17 | - | 79,16 | 43,27 | 3,31 | 28,20 | 7,00 | 41,37 | 24,91 |
| 18 | - | 76,17 | 43,27 | 4,00 | 32,05 | 6,46 | 44,10 | 20,29 |
| 19 | - | 75,35 | 43,27 | 4,00 | 30,09 | 6,54 | 39,30 | 27,07 |
| 20 | - | 76,70 | 43,27 | 3,85 | 32,53 | 6,38 | 39,96 | 26,03 |
| 21 | - | 79,83 | 43,27 | 3,77 | 27,16 | 7,15 | 40,56 | 24,59 |
| 22 | - | 80,43 | 43,27 | 3,69 | 30,61 | 6,69 | 42,20 | 20,97 |
| 23 | - | 79,05 | 43,27 | 3,31 | 28,13 | 7,00 | 40,37 | 26,56 |
| 24 | - | 79,01 | 43,27 | 3,77 | 31,24 | 6,69 | 41,72 | 22,93 |
| 25 | - | 78,09 | 43,27 | 3,85 | 28,51 | 6,85 | 41,39 | 25,28 |
| 26 | - | 79,54 | 43,27 | 3,62 | 28,05 | 6,85 | 41,04 | 23,75 |
| 27 | - | 76,70 | 43,27 | 4,15 | 33,08 | 6,38 | 41,05 | 24,41 |
| 28 | - | 80,07 | 43,27 | 2,92 | 25,98 | 7,31 | 42,61 | 22,13 |
| 29 | - | 76,18 | 43,27 | 3,85 | 32,15 | 6,54 | 42,51 | 22,94 |
| 30 | - | 78,62 | 43,27 | 3,62 | 31,92 | 6,54 | 44,04 | 21,09 |
| Mejor | - | 75,32 | 43,27 | 4,31 | 33,08 | 6,38 | 45,44 | 16,86 |
| Media | - | 78,480333 | 43,142 | 3,681 | 29,713 | 6,7696667 | 41,887 | 23,241 |
| Desv. | - | 1,6580597 | 0,4168056 | 0,319227 | 1,984219 | 0,2588101 | 1,480252 | 2,6975268 |
| CV % | - | 2,1127073 | 0,9661249 | 8,6722895 | 6,6779492 | 3,8230841 | 3,5339173 | 11,606759 |

Tabla G.15. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de recursos disponibles equivalentes al 40%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | - | 64,45 | 50,96 | 5,77 | 51,86 | 3,77 | 41,28 | 23,45 |
| 2 | - | 65,76 | 50,96 | 4,69 | 51,23 | 4,08 | 41,54 | 23,30 |
| 3 | - | 67,67 | 50,96 | 4,77 | 50,88 | 4,15 | 40,49 | 22,27 |
| 4 | - | 60,90 | 50,96 | 5,08 | 53,47 | 3,38 | 41,08 | 22,13 |
| 5 | - | 64,93 | 50,96 | 5,31 | 50,40 | 4,08 | 41,15 | 22,11 |
| 6 | - | 62,43 | 50,96 | 5,08 | 52,07 | 3,85 | 39,37 | 25,33 |
| 7 | - | 63,61 | 50,96 | 5,08 | 52,13 | 3,77 | 44,23 | 18,01 |
| 8 | - | 62,23 | 50,96 | 4,69 | 51,80 | 3,77 | 43,29 | 17,95 |
| 9 | - | 65,65 | 50,96 | 5,08 | 53,00 | 3,62 | 40,68 | 22,86 |
| 10 | - | 63,79 | 50,96 | 6,00 | 51,93 | 3,54 | 40,29 | 21,15 |
| 11 | - | 62,51 | 50,96 | 5,54 | 50,68 | 3,85 | 40,76 | 23,60 |
| 12 | - | 63,88 | 50,96 | 4,54 | 53,96 | 3,54 | 40,89 | 20,43 |
| 13 | - | 68,43 | 50,96 | 4,92 | 47,42 | 4,69 | 42,46 | 19,18 |
| 14 | - | 61,45 | 50,96 | 4,92 | 51,00 | 3,62 | 40,77 | 22,45 |
| 15 | - | 67,41 | 50,96 | 5,46 | 49,09 | 4,00 | 40,34 | 22,66 |
| 16 | - | 66,92 | 50,96 | 4,92 | 47,80 | 4,15 | 42,57 | 19,11 |
| 17 | - | 64,11 | 50,96 | 4,92 | 50,83 | 4,08 | 42,22 | 21,64 |
| 18 | - | 64,82 | 50,96 | 4,92 | 52,99 | 3,54 | 41,10 | 21,81 |
| 19 | - | 64,33 | 50,96 | 4,85 | 50,33 | 4,23 | 40,94 | 23,97 |
| 20 | - | 60,63 | 50,96 | 5,23 | 54,30 | 3,31 | 39,44 | 23,82 |
| 21 | - | 60,78 | 50,96 | 5,15 | 56,06 | 2,85 | 41,48 | 20,97 |
| 22 | - | 66,10 | 50,96 | 4,54 | 51,32 | 4,15 | 41,15 | 22,55 |
| 23 | - | 61,03 | 50,96 | 5,15 | 54,07 | 3,46 | 42,78 | 19,50 |
| 24 | - | 62,82 | 50,96 | 5,23 | 50,63 | 3,77 | 40,16 | 22,35 |
| 25 | - | 61,15 | 50,96 | 5,00 | 54,05 | 3,62 | 40,84 | 23,59 |
| 26 | - | 69,01 | 50,96 | 4,92 | 47,01 | 5,00 | 43,11 | 18,40 |
| 27 | - | 67,19 | 50,96 | 4,62 | 50,73 | 4,00 | 44,10 | 16,90 |
| 28 | - | 62,35 | 50,96 | 5,69 | 49,88 | 4,08 | 42,08 | 19,19 |
| 29 | - | 65,78 | 50,96 | 4,85 | 50,98 | 4,23 | 43,84 | 18,05 |
| 30 | - | 65,95 | 50,96 | 5,00 | 50,55 | 4,00 | 42,45 | 18,65 |
| Mejor | - | 60,63 | 50,96 | 6 | 56,06 | 2,85 | 44,23 | 16,9 |
| Media | - | 64,269 | 50,96 | 5,064 | 51,415 | 3,8726667 | 41,562667 | 21,246 |
| Desv. | - | 2,4377779 | 0 | 0,353208 | 2,0589983 | 0,41472 | 1,2964273 | 2,2360226 |
| CV % | - | 3,7930851 | 0 | 6,9748807 | 4,0046647 | 10,708899 | 3,119211 | 10,524441 |

Tabla G.16. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de recursos disponibles equivalentes al 50%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | - | 55,76 | 50,96 | 6,00 | 55,09 | 3,15 | 37,46 | 29,33 |
| 2 | - | 56,21 | 50,96 | 6,46 | 53,95 | 2,85 | 39,92 | 22,66 |
| 3 | - | 61,12 | 50,96 | 5,08 | 55,42 | 3,00 | 41,42 | 22,97 |
| 4 | - | 60,89 | 50,96 | 5,08 | 55,10 | 3,69 | 41,59 | 22,80 |
| 5 | - | 58,92 | 50,96 | 5,69 | 55,22 | 3,00 | 40,57 | 23,04 |
| 6 | - | 58,00 | 50,96 | 6,15 | 55,29 | 3,00 | 36,86 | 23,85 |
| 7 | - | 60,09 | 50,96 | 5,92 | 53,19 | 3,15 | 40,43 | 22,02 |
| 8 | - | 53,85 | 50,96 | 6,15 | 55,67 | 2,92 | 39,45 | 24,96 |
| 9 | - | 66,57 | 50,96 | 5,54 | 53,84 | 3,85 | 40,14 | 23,68 |
| 10 | - | 56,60 | 50,96 | 5,85 | 55,31 | 2,77 | 40,15 | 20,06 |
| 11 | - | 58,54 | 50,96 | 5,85 | 55,54 | 3,23 | 38,79 | 24,71 |
| 12 | - | 59,10 | 50,96 | 5,92 | 55,63 | 2,92 | 39,75 | 26,85 |
| 13 | - | 56,48 | 50,96 | 5,77 | 55,67 | 3,15 | 38,09 | 28,21 |
| 14 | - | 59,95 | 50,96 | 6,00 | 54,95 | 2,92 | 39,17 | 25,52 |
| 15 | - | 64,54 | 50,96 | 5,46 | 52,02 | 3,77 | 41,00 | 22,56 |
| 16 | - | 62,39 | 50,96 | 6,00 | 55,84 | 3,23 | 40,36 | 24,92 |
| 17 | - | 63,76 | 50,96 | 4,92 | 54,66 | 3,46 | 40,17 | 24,01 |
| 18 | - | 58,62 | 50,96 | 5,92 | 54,75 | 2,85 | 40,69 | 23,89 |
| 19 | - | 59,92 | 50,96 | 5,77 | 54,65 | 3,46 | 40,34 | 22,96 |
| 20 | - | 65,07 | 50,96 | 5,08 | 52,53 | 3,77 | 39,31 | 24,83 |
| 21 | - | 61,03 | 50,96 | 5,77 | 52,44 | 3,38 | 40,70 | 24,33 |
| 22 | - | 65,03 | 50,96 | 6,00 | 53,80 | 3,92 | 39,22 | 23,78 |
| 23 | - | 57,35 | 50,96 | 5,62 | 55,52 | 3,23 | 37,01 | 28,26 |
| 24 | - | 62,18 | 50,96 | 5,62 | 54,76 | 3,15 | 40,67 | 21,42 |
| 25 | - | 57,96 | 50,96 | 6,31 | 55,07 | 2,85 | 40,12 | 21,66 |
| 26 | - | 60,04 | 50,96 | 5,92 | 55,70 | 3,00 | 40,83 | 23,55 |
| 27 | - | 61,60 | 50,96 | 6,08 | 54,70 | 3,15 | 38,82 | 24,65 |
| 28 | - | 62,78 | 50,96 | 5,92 | 49,74 | 4,15 | 39,54 | 23,67 |
| 29 | - | 61,71 | 50,96 | 5,69 | 54,04 | 3,54 | 39,29 | 24,46 |
| 30 | - | 62,64 | 50,96 | 5,38 | 52,56 | 3,62 | 40,59 | 23,59 |
| Mejor | - | 53,85 | 50,96 | 6,46 | 55,84 | 2,77 | 41,59 | 20,06 |
| Media | - | 60,29 | 50,96 | 5,764 | 54,421667 | 3,271 | 39,748333 | 24,106667 |
| Desv. | - | 3,0820985 | 0 | 0,3713034 | 1,4036752 | 0,3715981 | 1,1970253 | 2,0230607 |
| CV % | - | 5,1121222 | 0 | 6,4417659 | 2,579258 | 11,360383 | 3,0115106 | 8,3921214 |

Tabla G.17. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de recursos disponibles equivalentes al 60%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|---------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | - | 57,99 | 50,96 | 5,85 | 54,99 | 2,85 | 37,36 | 24,94 |
| 2 | - | 64,54 | 50,96 | 6,08 | 54,12 | 3,23 | 39,50 | 19,17 |
| 3 | - | 56,89 | 50,96 | 6,08 | 54,50 | 3,31 | 37,17 | 25,78 |
| 4 | - | 56,96 | 50,96 | 5,77 | 54,98 | 3,08 | 37,31 | 27,27 |
| 5 | - | 55,33 | 50,96 | 6,31 | 54,99 | 3,00 | 35,51 | 29,55 |
| 6 | - | 55,40 | 50,96 | 5,92 | 53,09 | 3,46 | 38,38 | 24,77 |
| 7 | - | 55,77 | 50,96 | 5,54 | 52,79 | 3,23 | 37,58 | 24,60 |
| 8 | - | 58,54 | 50,96 | 5,69 | 55,08 | 2,92 | 40,04 | 20,39 |
| 9 | - | 60,61 | 50,96 | 5,77 | 55,38 | 2,85 | 39,02 | 24,45 |
| 10 | - | 60,04 | 50,96 | 5,38 | 54,44 | 3,23 | 40,23 | 20,76 |
| 11 | - | 55,61 | 50,96 | 5,85 | 55,66 | 3,08 | 36,34 | 27,70 |
| 12 | - | 62,15 | 50,96 | 6,00 | 53,54 | 3,38 | 39,50 | 23,58 |
| 13 | - | 58,94 | 50,96 | 5,69 | 54,38 | 3,00 | 40,38 | 21,15 |
| 14 | - | 59,02 | 50,96 | 5,77 | 54,86 | 3,38 | 38,55 | 20,87 |
| 15 | - | 57,45 | 50,96 | 6,08 | 56,01 | 2,92 | 36,03 | 30,16 |
| 16 | - | 58,97 | 50,96 | 5,46 | 55,61 | 2,85 | 39,10 | 23,78 |
| 17 | - | 54,81 | 50,96 | 5,92 | 55,07 | 2,69 | 36,57 | 28,01 |
| 18 | - | 59,11 | 50,96 | 5,77 | 55,44 | 3,15 | 37,92 | 22,90 |
| 19 | - | 56,81 | 50,96 | 5,85 | 53,61 | 3,15 | 40,09 | 20,56 |
| 20 | - | 57,88 | 50,96 | 5,38 | 55,14 | 2,92 | 40,03 | 22,51 |
| 21 | - | 61,13 | 50,96 | 5,69 | 54,34 | 3,31 | 38,04 | 25,57 |
| 22 | - | 57,17 | 50,96 | 6,15 | 54,68 | 3,08 | 36,10 | 26,30 |
| 23 | - | 63,37 | 50,96 | 6,15 | 54,81 | 3,08 | 39,29 | 21,98 |
| 24 | - | 57,03 | 50,96 | 6,15 | 55,32 | 2,85 | 39,09 | 24,84 |
| 25 | - | 62,37 | 50,96 | 5,38 | 56,31 | 3,38 | 40,38 | 22,06 |
| 26 | - | 59,93 | 50,96 | 5,15 | 55,18 | 3,00 | 39,77 | 21,64 |
| 27 | - | 58,42 | 50,96 | 5,77 | 56,29 | 3,15 | 35,32 | 30,01 |
| 28 | - | 55,73 | 50,96 | 5,54 | 55,53 | 2,77 | 38,75 | 26,28 |
| 29 | - | 55,29 | 50,96 | 6,08 | 56,07 | 2,85 | 37,86 | 27,42 |
| 30 | - | 55,80 | 50,96 | 6,54 | 55,88 | 2,92 | 34,54 | 30,05 |
| Mejor | - | 54,81 | 50,96 | 6,54 | 56,31 | 2,69 | 40,38 | 19,17 |
| Media | - | 58,302 | 50,96 | 5,8253333 | 54,936333 | 3,069 | 38,191667 | 24,635 |
| Desv. | - | 2,5731765 | 0 | 0,3101249 | 0,8847929 | 0,2062029 | 1,6714563 | 3,1844436 |
| CV % | - | 4,4135304 | 0 | 5,3237285 | 1,6105788 | 6,7188969 | 4,3764947 | 12,926501 |

Tabla G.18. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de recursos disponibles equivalentes al 70%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 96 | 19,52 | 78,85 | 7,69 | 92,61 | 0,54 | 38,81 | 23,07 |
| 2 | 111 | 25,91 | 78,85 | 7,77 | 90,27 | 1,00 | 39,50 | 19,09 |
| 3 | 142 | 21,69 | 78,85 | 7,69 | 92,11 | 0,62 | 38,47 | 25,32 |
| 4 | 149 | 27,74 | 78,85 | 6,69 | 91,88 | 1,15 | 41,28 | 19,31 |
| 5 | 116 | 18,73 | 78,85 | 7,69 | 91,17 | 0,77 | 38,73 | 23,77 |
| 6 | 137 | 22,69 | 78,85 | 7,77 | 91,73 | 0,54 | 41,15 | 22,37 |
| 7 | 137 | 25,87 | 78,85 | 6,46 | 92,87 | 0,69 | 40,20 | 20,37 |
| 8 | 126 | 18,19 | 78,85 | 7,69 | 90,45 | 0,38 | 35,59 | 29,00 |
| 9 | 126 | 26,10 | 78,85 | 7,77 | 91,79 | 0,62 | 41,38 | 19,21 |
| 10 | 94 | 26,70 | 78,85 | 6,62 | 87,30 | 1,38 | 40,19 | 20,09 |
| 11 | 133 | 22,18 | 78,85 | 7,62 | 91,31 | 0,62 | 39,00 | 23,63 |
| 12 | 214 | 27,86 | 78,85 | 7,23 | 91,75 | 0,77 | 40,75 | 22,93 |
| 13 | 208 | 28,51 | 78,85 | 7,15 | 92,46 | 0,77 | 40,16 | 24,24 |
| 14 | 164 | 25,17 | 78,85 | 8,15 | 92,93 | 0,54 | 40,78 | 21,78 |
| 15 | 121 | 24,56 | 78,85 | 7,38 | 93,13 | 0,77 | 38,17 | 21,78 |
| 16 | 99 | 21,51 | 78,85 | 7,77 | 91,06 | 0,46 | 43,27 | 21,48 |
| 17 | 115 | 21,89 | 78,85 | 7,69 | 92,23 | 0,62 | 39,52 | 24,11 |
| 18 | 115 | 23,40 | 78,85 | 7,46 | 91,04 | 0,69 | 38,92 | 23,31 |
| 19 | 88 | 17,25 | 78,85 | 8,31 | 91,16 | 0,38 | 37,02 | 28,19 |
| 20 | 149 | 25,74 | 78,85 | 7,08 | 92,57 | 0,62 | 40,72 | 21,13 |
| 21 | 123 | 24,42 | 78,85 | 7,85 | 91,69 | 0,38 | 41,60 | 20,53 |
| 22 | 137 | 19,42 | 78,85 | 7,54 | 90,75 | 0,62 | 40,22 | 19,65 |
| 23 | 172 | 21,34 | 78,85 | 7,54 | 92,31 | 0,62 | 41,32 | 22,30 |
| 24 | 131 | 24,38 | 78,85 | 6,92 | 91,75 | 0,77 | 40,60 | 20,46 |
| 25 | 118 | 25,83 | 78,85 | 7,46 | 92,61 | 0,54 | 40,69 | 19,33 |
| 26 | 140 | 24,02 | 78,85 | 7,46 | 91,71 | 0,54 | 41,79 | 19,62 |
| 27 | 128 | 24,29 | 78,85 | 7,54 | 92,21 | 0,77 | 38,97 | 23,55 |
| 28 | 160 | 26,69 | 78,85 | 8,08 | 93,14 | 0,62 | 41,88 | 18,03 |
| 29 | 99 | 25,65 | 78,85 | 7,46 | 92,33 | 0,85 | 40,90 | 20,57 |
| 30 | 97 | 20,83 | 78,85 | 7,62 | 90,52 | 0,85 | 39,67 | 20,03 |
| Mejor | 88 | 17,25 | 78,85 | 8,31 | 93,14 | 0,38 | 43,27 | 18,03 |
| Media | 131,5 | 23,602667 | 78,85 | 7,505 | 91,694667 | 0,683 | 40,041667 | 21,941667 |
| Desv. | 30,262928 | 3,0422235 | 0 | 0,4268388 | 1,1499167 | 0,2169403 | 1,5635549 | 2,5951122 |
| CV % | 23,013634 | 12,889321 | 0 | 5,6873927 | 1,2540716 | 31,762858 | 3,9048198 | 11,827325 |

Tabla G.19. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de recursos disponibles equivalentes al 80%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | 200 | 24,35 | 78,85 | 7,38 | 93,42 | 0,69 | 38,47 | 24,57 |
| 2 | 172 | 25,40 | 78,85 | 7,85 | 93,27 | 0,69 | 39,99 | 20,36 |
| 3 | 143 | 25,57 | 78,85 | 7,92 | 92,52 | 0,85 | 37,76 | 24,38 |
| 4 | 127 | 25,49 | 78,85 | 7,46 | 90,73 | 0,69 | 40,63 | 20,21 |
| 5 | 137 | 21,70 | 78,85 | 7,62 | 92,79 | 0,62 | 37,16 | 22,81 |
| 6 | 153 | 26,47 | 78,85 | 6,69 | 93,63 | 0,54 | 39,04 | 21,48 |
| 7 | 133 | 23,51 | 78,85 | 7,31 | 93,95 | 0,62 | 39,41 | 19,30 |
| 8 | 195 | 21,68 | 78,85 | 8,62 | 92,65 | 0,31 | 37,41 | 24,46 |
| 9 | 229 | 27,84 | 77,88 | 6,77 | 92,45 | 1,08 | 38,76 | 21,38 |
| 10 | 120 | 18,02 | 78,85 | 7,92 | 92,47 | 0,69 | 33,55 | 25,14 |
| 11 | 151 | 28,24 | 78,85 | 7,69 | 92,11 | 0,92 | 36,78 | 24,99 |
| 12 | 168 | 21,73 | 78,85 | 7,46 | 92,51 | 0,69 | 38,45 | 24,21 |
| 13 | 158 | 23,37 | 78,85 | 8,00 | 93,59 | 0,31 | 36,82 | 25,79 |
| 14 | 105 | 22,86 | 78,85 | 8,00 | 93,54 | 0,77 | 34,02 | 27,79 |
| 15 | 109 | 22,45 | 78,85 | 7,85 | 94,03 | 0,54 | 36,66 | 23,17 |
| 16 | 159 | 26,75 | 78,85 | 7,69 | 92,16 | 0,31 | 38,81 | 21,37 |
| 17 | 99 | 19,24 | 78,85 | 7,92 | 93,16 | 0,62 | 34,20 | 25,53 |
| 18 | 196 | 29,99 | 78,85 | 7,23 | 92,69 | 0,77 | 39,71 | 20,03 |
| 19 | 162 | 16,99 | 78,85 | 7,31 | 93,26 | 0,62 | 37,10 | 23,47 |
| 20 | 106 | 21,76 | 78,85 | 7,54 | 92,05 | 0,69 | 36,83 | 25,06 |
| 21 | 128 | 22,88 | 78,85 | 7,31 | 91,53 | 0,62 | 37,57 | 22,72 |
| 22 | 100 | 19,99 | 78,85 | 7,77 | 92,01 | 0,62 | 37,71 | 24,40 |
| 23 | 139 | 24,31 | 78,85 | 8,23 | 92,70 | 0,69 | 36,04 | 23,41 |
| 24 | 208 | 25,65 | 78,85 | 7,00 | 92,41 | 0,85 | 40,77 | 18,26 |
| 25 | 168 | 29,36 | 78,85 | 7,31 | 92,51 | 0,69 | 41,20 | 17,69 |
| 26 | 106 | 27,47 | 78,85 | 7,08 | 92,84 | 0,69 | 40,39 | 19,62 |
| 27 | 136 | 23,75 | 78,85 | 8,00 | 93,78 | 0,54 | 38,89 | 21,09 |
| 28 | 169 | 24,90 | 78,85 | 7,08 | 92,35 | 0,46 | 39,85 | 19,57 |
| 29 | 118 | 28,01 | 78,85 | 7,77 | 92,77 | 0,62 | 39,06 | 22,34 |
| 30 | 129 | 21,46 | 78,85 | 8,31 | 93,56 | 0,46 | 35,42 | 25,27 |
| Mejor | 99 | 16,99 | 78,85 | 8,62 | 94,03 | 0,31 | 41,2 | 17,69 |
| Media | 147,43333 | 24,03967 | 78,81767 | 7,603 | 92,78133 | 0,642 | 37,94867 | 22,66233 |
| Desv. | 34,601857 | 3,248633 | 0,177097 | 0,451436 | 0,743244 | 0,170261 | 2,001969 | 2,525014 |
| CV % | 23,469494 | 13,51364 | 0,224692 | 5,937599 | 0,801071 | 26,52048 | 5,275467 | 11,1419 |

Tabla G.20. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de recursos disponibles equivalentes al 90%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | 109 | 17,38 | 78,85 | 7,92 | 93,13 | 0,46 | 39,05 | 21,63 |
| 2 | 147 | 23,74 | 78,85 | 6,92 | 93,92 | 0,62 | 39,82 | 24,18 |
| 3 | 96 | 16,99 | 78,85 | 7,54 | 93,38 | 0,38 | 40,18 | 23,36 |
| 4 | 74 | 18,80 | 78,85 | 7,69 | 93,89 | 0,31 | 37,70 | 25,47 |
| 5 | 173 | 19,64 | 78,85 | 7,46 | 93,02 | 0,38 | 40,94 | 20,84 |
| 6 | 118 | 19,65 | 78,85 | 7,69 | 93,00 | 0,54 | 38,02 | 25,66 |
| 7 | 123 | 20,27 | 78,85 | 7,15 | 94,61 | 0,62 | 40,00 | 19,20 |
| 8 | 104 | 15,87 | 78,85 | 7,69 | 93,09 | 0,23 | 37,27 | 27,40 |
| 9 | 112 | 17,43 | 78,85 | 7,92 | 92,79 | 0,69 | 37,44 | 25,68 |
| 10 | 90 | 17,24 | 78,85 | 7,00 | 95,41 | 0,54 | 38,20 | 26,81 |
| 11 | 118 | 18,32 | 78,85 | 8,00 | 93,14 | 0,62 | 37,95 | 25,31 |
| 12 | 128 | 16,21 | 78,85 | 8,54 | 93,58 | 0,46 | 36,75 | 24,88 |
| 13 | 79 | 15,33 | 78,85 | 7,31 | 94,38 | 0,46 | 35,66 | 27,62 |
| 14 | 130 | 20,29 | 78,85 | 7,23 | 93,96 | 0,46 | 38,38 | 23,65 |
| 15 | 111 | 19,83 | 78,85 | 7,15 | 93,21 | 0,62 | 39,23 | 22,35 |
| 16 | 110 | 18,28 | 78,85 | 7,85 | 93,98 | 0,54 | 38,76 | 24,30 |
| 17 | 141 | 22,32 | 78,85 | 8,15 | 93,90 | 0,62 | 39,45 | 22,02 |
| 18 | 137 | 18,71 | 78,85 | 7,46 | 93,99 | 0,38 | 41,44 | 22,56 |
| 19 | 100 | 16,34 | 78,85 | 8,23 | 94,89 | 0,38 | 36,58 | 25,57 |
| 20 | 131 | 15,36 | 78,85 | 7,23 | 94,13 | 0,46 | 36,10 | 24,80 |
| 21 | 92 | 31,79 | 78,85 | 6,92 | 92,34 | 1,54 | 40,17 | 22,00 |
| 22 | 158 | 17,86 | 78,85 | 6,92 | 93,33 | 0,62 | 38,56 | 23,32 |
| 23 | 118 | 25,01 | 78,85 | 7,46 | 93,62 | 0,77 | 40,08 | 20,03 |
| 24 | 176 | 21,77 | 78,85 | 7,92 | 91,97 | 0,38 | 40,02 | 20,56 |
| 25 | 137 | 16,97 | 78,85 | 7,62 | 94,45 | 0,31 | 36,04 | 28,61 |
| 26 | 125 | 21,98 | 78,85 | 7,85 | 91,35 | 0,46 | 41,35 | 18,08 |
| 27 | 114 | 15,42 | 78,85 | 7,31 | 94,05 | 0,69 | 35,73 | 26,21 |
| 28 | 103 | 17,74 | 78,85 | 7,62 | 93,21 | 0,38 | 38,86 | 24,58 |
| 29 | 181 | 21,13 | 78,85 | 7,92 | 92,69 | 0,46 | 40,63 | 21,91 |
| 30 | 109 | 18,14 | 78,85 | 7,62 | 92,23 | 0,46 | 40,72 | 22,10 |
| Mejor | 74 | 15,33 | 78,85 | 8,54 | 95,41 | 0,23 | 41,44 | 18,08 |
| Media | 121,46667 | 19,19367 | 78,85 | 7,576333 | 93,488 | 0,528 | 38,70267 | 23,68967 |
| Desv. | 26,684276 | 3,44027 | 0 | 0,41285 | 0,882478 | 0,230343 | 1,717203 | 2,576907 |
| CV % | 21,968394 | 17,92399 | 0 | 5,449199 | 0,943948 | 43,62558 | 4,436911 | 10,87777 |

Tabla G.21. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de recursos disponibles equivalentes al 100%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | - | 68,80 | 74,04 | 0,92 | 61,26 | 5,00 | 49,23 | 5,15 |
| 2 | - | 67,71 | 74,04 | 0,85 | 61,76 | 4,92 | 50,00 | 4,18 |
| 3 | - | 69,62 | 66,35 | 0,85 | 57,98 | 5,54 | 49,88 | 5,12 |
| 4 | - | 71,66 | 66,35 | 0,85 | 52,12 | 5,62 | 50,00 | 4,38 |
| 5 | - | 68,87 | 74,04 | 0,92 | 60,15 | 5,46 | 48,85 | 4,44 |
| 6 | - | 65,98 | 78,85 | 1,00 | 67,87 | 4,77 | 49,56 | 4,66 |
| 7 | - | 79,25 | 50,96 | 0,62 | 40,32 | 6,38 | 50,42 | 4,33 |
| 8 | 1094 | 67,54 | 78,85 | 1,00 | 61,96 | 4,38 | 49,75 | 5,18 |
| 9 | - | 69,81 | 74,04 | 0,92 | 56,96 | 5,38 | 49,73 | 4,06 |
| 10 | 350 | 67,94 | 78,85 | 1,00 | 64,19 | 4,77 | 49,34 | 5,64 |
| 11 | 1271 | 64,90 | 78,85 | 1,00 | 67,67 | 5,15 | 50,48 | 4,11 |
| 12 | 922 | 69,44 | 78,85 | 1,00 | 55,17 | 5,23 | 49,88 | 5,38 |
| 13 | 695 | 66,87 | 78,85 | 1,00 | 73,11 | 4,23 | 49,49 | 5,36 |
| 14 | 1263 | 62,86 | 78,85 | 1,00 | 67,17 | 4,54 | 48,99 | 6,28 |
| 15 | - | 65,84 | 74,04 | 0,92 | 64,08 | 5,23 | 50,54 | 5,28 |
| 16 | - | 67,34 | 78,85 | 0,92 | 68,00 | 4,77 | 50,26 | 4,51 |
| 17 | 561 | 70,49 | 78,85 | 1,00 | 57,89 | 4,92 | 49,72 | 5,03 |
| 18 | - | 72,87 | 66,35 | 0,85 | 56,30 | 5,15 | 49,70 | 4,23 |
| 19 | - | 68,95 | 74,04 | 0,92 | 57,21 | 5,77 | 50,62 | 3,99 |
| 20 | - | 73,92 | 66,35 | 0,85 | 48,94 | 5,77 | 50,50 | 4,83 |
| 21 | - | 69,88 | 74,04 | 0,92 | 58,68 | 5,46 | 49,97 | 4,38 |
| 22 | - | 69,34 | 66,35 | 0,85 | 62,12 | 5,23 | 49,69 | 4,72 |
| 23 | - | 69,95 | 74,04 | 0,92 | 58,43 | 5,31 | 48,93 | 4,44 |
| 24 | - | 68,68 | 74,04 | 0,92 | 57,50 | 5,23 | 50,49 | 4,56 |
| 25 | - | 64,31 | 74,04 | 0,92 | 73,91 | 4,69 | 47,88 | 5,23 |
| 26 | 1076 | 67,56 | 78,85 | 1,00 | 65,09 | 5,08 | 47,72 | 6,00 |
| 27 | 882 | 67,84 | 78,85 | 1,00 | 61,89 | 4,85 | 49,98 | 5,56 |
| 28 | - | 68,87 | 66,35 | 0,85 | 62,95 | 5,00 | 49,35 | 5,09 |
| 29 | - | 76,13 | 66,35 | 0,85 | 52,01 | 5,46 | 50,14 | 4,83 |
| 30 | 1087 | 65,60 | 78,85 | 1,00 | 72,97 | 4,23 | 49,06 | 5,44 |
| Mejor | - | 62,86 | 78,85 | 1 | 73,91 | 4,23 | 50,62 | 3,99 |
| Media | - | 68,96067 | 73,40033 | 0,920667 | 60,85533 | 5,117333 | 49,67167 | 4,879667 |
| Desv. | - | 3,375061 | 6,464751 | 0,08296 | 7,291544 | 0,475735 | 0,714978 | 0,590029 |
| CV % | - | 4,894182 | 8,807522 | 9,010821 | 11,98177 | 9,296539 | 1,439408 | 12,09159 |

G.4 Corridas del modelo de simulación para los escenarios basados en los tiempos de ejecución de los procesos

Tabla G.22. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de tiempos de ejecución de los procesos reducidos en -50%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 132 | 23,41 | 77,88 | 7,85 | 90,06 | 0,08 | 27,70 | 46,27 |
| 2 | 87 | 24,56 | 77,88 | 7,31 | 90,81 | 0,08 | 30,67 | 44,37 |
| 3 | 86 | 17,67 | 78,85 | 7,54 | 88,98 | 0,00 | 28,71 | 46,41 |
| 4 | 134 | 27,03 | 78,85 | 8,08 | 90,69 | 0,00 | 29,37 | 44,66 |
| 5 | 97 | 21,09 | 78,85 | 8,00 | 90,35 | 0,00 | 29,12 | 46,34 |
| 6 | 88 | 20,47 | 77,88 | 7,85 | 89,82 | 0,00 | 30,20 | 45,30 |
| 7 | 105 | 20,14 | 78,85 | 7,31 | 89,88 | 0,00 | 28,36 | 46,81 |
| 8 | 84 | 21,49 | 78,85 | 7,85 | 91,20 | 0,08 | 28,89 | 48,14 |
| 9 | 86 | 20,09 | 78,85 | 7,62 | 91,69 | 0,00 | 28,37 | 46,72 |
| 10 | 78 | 21,93 | 78,85 | 7,38 | 89,47 | 0,15 | 30,00 | 44,87 |
| 11 | 90 | 20,30 | 78,85 | 7,08 | 90,03 | 0,00 | 27,91 | 45,43 |
| 12 | 127 | 27,32 | 78,85 | 8,00 | 89,75 | 0,15 | 31,17 | 41,29 |
| 13 | 121 | 26,00 | 78,85 | 8,00 | 91,54 | 0,15 | 29,81 | 44,68 |
| 14 | 83 | 17,31 | 78,85 | 7,46 | 89,92 | 0,00 | 27,42 | 49,64 |
| 15 | 105 | 19,29 | 78,85 | 8,08 | 89,88 | 0,00 | 27,44 | 48,46 |
| 16 | 91 | 19,65 | 78,85 | 8,15 | 89,93 | 0,08 | 27,92 | 49,14 |
| 17 | 115 | 25,74 | 78,85 | 7,46 | 91,48 | 0,08 | 31,93 | 41,22 |
| 18 | 84 | 25,03 | 78,85 | 7,69 | 89,89 | 0,08 | 30,87 | 41,95 |
| 19 | 96 | 24,85 | 78,85 | 7,08 | 91,63 | 0,00 | 30,16 | 43,81 |
| 20 | 108 | 22,30 | 78,85 | 8,23 | 90,15 | 0,00 | 28,61 | 46,51 |
| 21 | 117 | 22,53 | 77,88 | 7,77 | 89,80 | 0,08 | 28,60 | 45,18 |
| 22 | 78 | 20,74 | 78,85 | 8,54 | 91,44 | 0,08 | 29,76 | 44,68 |
| 23 | 113 | 18,97 | 78,85 | 8,08 | 89,28 | 0,00 | 29,26 | 45,43 |
| 24 | 141 | 25,49 | 78,85 | 7,77 | 90,90 | 0,15 | 30,36 | 43,38 |
| 25 | 126 | 22,54 | 78,85 | 7,38 | 90,69 | 0,08 | 31,04 | 40,84 |
| 26 | 108 | 23,42 | 78,85 | 7,85 | 89,64 | 0,00 | 30,19 | 43,47 |
| 27 | 97 | 26,34 | 78,85 | 7,38 | 91,07 | 0,08 | 32,31 | 39,12 |
| 28 | 129 | 22,52 | 78,85 | 7,85 | 90,28 | 0,00 | 29,27 | 43,89 |
| 29 | 105 | 25,76 | 78,85 | 7,77 | 91,13 | 0,08 | 29,64 | 44,25 |
| 30 | 66 | 20,74 | 78,85 | 7,77 | 91,65 | 0,23 | 28,75 | 46,83 |
| Mejor | 66 | 17,31 | 78,85 | 8,54 | 91,69 | 0 | 32,31 | 39,12 |
| Media | 102,56667 | 22,490667 | 78,720667 | 7,7393333 | 90,434333 | 0,057 | 29,460333 | 44,969667 |
| Desv. | 19,54779 | 2,8144662 | 0,3353735 | 0,3476714 | 0,7851232 | 0,0631992 | 1,2808712 | 2,4661173 |
| CV % | 19,058619 | 12,51393 | 0,4260298 | 4,4922655 | 0,8681694 | 110,87578 | 4,3477823 | 5,4839572 |

Tabla G.23. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de tiempos de ejecución de los procesos incrementados en +50%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 912 | 55,95 | 77,88 | 5,08 | 85,59 | 4,69 | 53,47 | 7,12 |
| 2 | 554 | 47,84 | 76,92 | 5,92 | 71,87 | 3,46 | 50,68 | 11,56 |
| 3 | 331 | 46,24 | 77,88 | 6,15 | 77,37 | 3,46 | 50,57 | 9,92 |
| 4 | 1275 | 44,48 | 77,88 | 5,77 | 72,98 | 3,77 | 51,29 | 8,20 |
| 5 | 376 | 43,81 | 78,85 | 6,31 | 81,26 | 3,31 | 53,19 | 9,84 |
| 6 | 205 | 42,37 | 77,88 | 6,31 | 74,87 | 3,46 | 52,64 | 7,14 |
| 7 | 519 | 46,06 | 77,88 | 6,00 | 77,81 | 2,85 | 53,61 | 8,89 |
| 8 | - | 63,39 | 68,27 | 4,54 | 50,42 | 4,92 | 55,56 | 8,17 |
| 9 | 361 | 51,66 | 78,85 | 6,00 | 72,45 | 3,46 | 54,20 | 8,19 |
| 10 | - | 55,20 | 70,19 | 5,08 | 62,31 | 4,38 | 50,36 | 11,15 |
| 11 | 1047 | 55,12 | 78,85 | 4,77 | 54,00 | 4,77 | 53,88 | 7,91 |
| 12 | 740 | 57,34 | 77,88 | 5,46 | 63,63 | 4,31 | 53,39 | 6,11 |
| 13 | 362 | 59,39 | 78,85 | 5,46 | 62,59 | 4,46 | 50,80 | 8,68 |
| 14 | 723 | 55,73 | 74,04 | 5,15 | 55,93 | 4,85 | 52,32 | 12,26 |
| 15 | - | 59,27 | 71,15 | 4,92 | 50,62 | 5,08 | 54,45 | 8,13 |
| 16 | - | 70,78 | 66,35 | 3,77 | 36,65 | 6,77 | 52,96 | 10,39 |
| 17 | 375 | 49,72 | 77,88 | 5,23 | 68,40 | 4,23 | 52,52 | 10,67 |
| 18 | - | 52,26 | 72,12 | 5,85 | 67,39 | 3,92 | 55,69 | 6,72 |
| 19 | 1404 | 51,55 | 76,92 | 5,54 | 63,67 | 4,31 | 50,35 | 9,61 |
| 20 | 1083 | 52,39 | 75,96 | 5,92 | 71,55 | 3,46 | 54,23 | 7,76 |
| 21 | 706 | 57,50 | 77,88 | 5,54 | 61,44 | 4,31 | 50,53 | 9,57 |
| 22 | - | 58,95 | 66,35 | 5,31 | 60,78 | 4,62 | 52,16 | 10,79 |
| 23 | 729 | 48,74 | 78,85 | 6,00 | 68,01 | 3,77 | 51,07 | 9,13 |
| 24 | 367 | 50,50 | 77,88 | 6,08 | 64,61 | 3,85 | 51,77 | 11,41 |
| 25 | 336 | 51,20 | 78,85 | 5,46 | 68,70 | 4,08 | 53,71 | 8,79 |
| 26 | 393 | 55,99 | 76,92 | 5,85 | 65,80 | 4,31 | 53,01 | 6,54 |
| 27 | 504 | 62,74 | 74,04 | 4,92 | 50,36 | 5,23 | 53,43 | 11,35 |
| 28 | 1432 | 51,12 | 77,88 | 5,15 | 63,89 | 3,92 | 52,63 | 7,87 |
| 29 | - | 67,13 | 64,42 | 4,46 | 40,13 | 5,62 | 52,17 | 9,13 |
| 30 | 371 | 49,15 | 78,85 | 5,23 | 68,94 | 4,15 | 54,46 | 9,18 |
| Mejor | - | 42,37 | 78,85 | 6,31 | 85,59 | 2,85 | 55,69 | 6,11 |
| Media | - | 53,785667 | 75,48 | 5,441 | 64,467333 | 4,2593333 | 52,703333 | 9,0726667 |
| Desv. | - | 6,8007371 | 4,3420192 | 0,5981832 | 11,2458 | 0,7922292 | 1,5235922 | 1,6264557 |
| CV % | - | 12,644144 | 5,7525427 | 10,993993 | 17,444184 | 18,599841 | 2,890884 | 17,926986 |

G.5 Corridas del modelo de simulación para los escenarios basados en el porcentaje de mínimo de cumplimiento para la ejecución de los procesos

Tabla G.24. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de porcentaje mínimo de cumplimiento de 50%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 141 | 21,99 | 78,85 | 7,85 | 71,56 | 1,00 | 45,91 | 19,60 |
| 2 | 119 | 13,60 | 77,88 | 8,31 | 73,08 | 0,77 | 42,90 | 24,78 |
| 3 | 140 | 17,43 | 78,85 | 7,46 | 69,24 | 1,31 | 47,18 | 21,94 |
| 4 | 170 | 16,97 | 78,85 | 8,08 | 70,16 | 1,15 | 43,53 | 20,69 |
| 5 | 166 | 20,83 | 78,85 | 8,23 | 70,33 | 0,77 | 43,45 | 19,46 |
| 6 | 165 | 22,95 | 78,85 | 7,69 | 70,46 | 1,15 | 47,55 | 18,63 |
| 7 | 179 | 18,25 | 78,85 | 7,77 | 69,35 | 1,08 | 45,44 | 19,05 |
| 8 | 123 | 17,87 | 78,85 | 7,92 | 70,88 | 1,23 | 44,38 | 19,38 |
| 9 | 161 | 16,35 | 78,85 | 7,92 | 70,14 | 0,85 | 44,21 | 21,28 |
| 10 | 96 | 15,45 | 78,85 | 8,08 | 70,94 | 1,08 | 46,39 | 19,55 |
| 11 | 148 | 22,40 | 78,85 | 7,23 | 71,27 | 1,31 | 43,31 | 18,45 |
| 12 | 172 | 17,21 | 77,88 | 7,92 | 71,16 | 1,23 | 44,14 | 20,62 |
| 13 | 154 | 22,59 | 78,85 | 8,69 | 70,25 | 1,00 | 43,22 | 20,18 |
| 14 | 170 | 22,40 | 78,85 | 8,62 | 72,30 | 0,62 | 44,76 | 20,49 |
| 15 | 91 | 14,65 | 78,85 | 8,85 | 71,83 | 0,69 | 41,01 | 27,22 |
| 16 | 107 | 29,68 | 77,88 | 7,85 | 70,63 | 1,08 | 46,19 | 18,39 |
| 17 | 118 | 17,55 | 78,85 | 7,77 | 74,80 | 0,46 | 43,89 | 20,72 |
| 18 | 127 | 19,35 | 78,85 | 8,08 | 71,73 | 0,92 | 42,80 | 22,80 |
| 19 | 133 | 18,27 | 78,85 | 8,08 | 71,61 | 1,23 | 39,53 | 22,04 |
| 20 | 172 | 20,60 | 78,85 | 8,00 | 73,99 | 1,23 | 42,41 | 20,73 |
| 21 | 155 | 12,49 | 78,85 | 8,54 | 69,08 | 0,69 | 40,61 | 22,54 |
| 22 | 185 | 21,71 | 78,85 | 8,46 | 67,52 | 1,08 | 43,83 | 21,09 |
| 23 | 149 | 19,59 | 78,85 | 7,85 | 72,34 | 0,69 | 44,99 | 20,26 |
| 24 | 93 | 19,82 | 77,88 | 7,69 | 74,01 | 1,08 | 43,79 | 20,95 |
| 25 | 125 | 16,00 | 78,85 | 7,92 | 70,20 | 1,00 | 42,61 | 22,54 |
| 26 | 184 | 15,79 | 78,85 | 8,31 | 73,23 | 1,15 | 40,20 | 21,47 |
| 27 | 130 | 17,78 | 78,85 | 8,54 | 73,57 | 0,92 | 38,17 | 21,96 |
| 28 | 132 | 20,29 | 78,85 | 7,38 | 71,10 | 1,46 | 41,38 | 23,50 |
| 29 | 89 | 18,27 | 78,85 | 8,08 | 72,53 | 0,77 | 44,87 | 18,60 |
| 30 | 137 | 24,29 | 78,85 | 7,38 | 70,88 | 0,92 | 47,17 | 18,39 |
| Mejor | 89 | 12,49 | 78,85 | 8,85 | 74,8 | 0,46 | 47,55 | 18,39 |
| Media | 141,03333 | 19,080667 | 78,720667 | 8,0183333 | 71,339 | 0,9973333 | 43,660667 | 20,91 |
| Desv. | 28,571125 | 3,5435215 | 0,3353735 | 0,4021158 | 1,639109 | 0,2377616 | 2,2937064 | 2,003447 |
| CV % | 20,25842 | 18,571267 | 0,4260298 | 5,014955 | 2,2976338 | 23,839732 | 5,2534847 | 9,5812866 |

Tabla G.25. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de porcentaje mínimo de cumplimiento de 60%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 157 | 25,02 | 78,85 | 8,08 | 78,19 | 0,92 | 45,44 | 16,03 |
| 2 | 162 | 28,42 | 78,85 | 7,08 | 77,56 | 1,00 | 44,56 | 18,56 |
| 3 | 149 | 23,64 | 78,85 | 7,85 | 78,05 | 1,08 | 45,40 | 17,33 |
| 4 | 89 | 24,30 | 78,85 | 7,46 | 77,79 | 1,15 | 44,44 | 17,80 |
| 5 | 181 | 20,01 | 78,85 | 7,46 | 78,04 | 1,00 | 44,15 | 20,44 |
| 6 | 103 | 20,55 | 78,85 | 8,08 | 78,79 | 0,77 | 42,31 | 22,78 |
| 7 | 198 | 20,60 | 78,85 | 8,46 | 78,99 | 1,00 | 43,73 | 20,93 |
| 8 | 150 | 21,82 | 78,85 | 7,46 | 77,83 | 0,92 | 43,89 | 21,68 |
| 9 | 126 | 18,92 | 77,88 | 8,15 | 78,38 | 0,92 | 39,28 | 25,62 |
| 10 | 117 | 17,70 | 78,85 | 7,92 | 80,59 | 0,69 | 40,69 | 26,05 |
| 11 | 193 | 38,09 | 78,85 | 7,15 | 78,80 | 1,31 | 49,77 | 13,65 |
| 12 | 141 | 20,98 | 78,85 | 7,62 | 77,98 | 1,38 | 41,76 | 24,49 |
| 13 | 157 | 26,84 | 78,85 | 8,00 | 78,81 | 0,92 | 44,01 | 18,52 |
| 14 | 115 | 22,40 | 78,85 | 7,15 | 79,23 | 1,15 | 43,93 | 21,61 |
| 15 | 231 | 25,65 | 78,85 | 8,23 | 78,20 | 1,15 | 45,50 | 18,15 |
| 16 | 138 | 18,69 | 78,85 | 8,23 | 77,86 | 0,77 | 42,73 | 24,66 |
| 17 | 140 | 18,87 | 78,85 | 7,92 | 79,15 | 1,00 | 42,02 | 23,33 |
| 18 | 229 | 22,76 | 78,85 | 7,85 | 79,34 | 1,08 | 44,63 | 19,37 |
| 19 | 180 | 24,82 | 78,85 | 8,38 | 79,97 | 1,00 | 45,93 | 17,57 |
| 20 | 234 | 30,59 | 78,85 | 7,92 | 78,73 | 1,08 | 46,73 | 17,57 |
| 21 | 105 | 22,37 | 78,85 | 7,77 | 77,68 | 1,23 | 42,86 | 21,02 |
| 22 | 163 | 21,18 | 78,85 | 7,85 | 77,99 | 0,92 | 45,94 | 17,82 |
| 23 | 188 | 25,78 | 78,85 | 8,00 | 78,20 | 1,08 | 45,43 | 13,35 |
| 24 | 165 | 21,76 | 78,85 | 7,92 | 80,16 | 1,15 | 45,13 | 16,60 |
| 25 | 129 | 18,68 | 77,88 | 8,38 | 78,05 | 0,54 | 43,91 | 22,44 |
| 26 | 169 | 24,58 | 78,85 | 7,92 | 78,82 | 0,92 | 44,87 | 21,93 |
| 27 | 151 | 22,51 | 78,85 | 7,54 | 77,94 | 1,23 | 43,05 | 21,98 |
| 28 | 186 | 23,13 | 77,88 | 8,23 | 77,38 | 1,00 | 43,14 | 21,11 |
| 29 | 172 | 20,58 | 78,85 | 7,31 | 78,18 | 0,85 | 43,87 | 19,03 |
| 30 | 139 | 14,36 | 76,92 | 8,23 | 77,21 | 1,08 | 36,50 | 28,16 |
| Mejor | 89 | 14,36 | 78,85 | 8,46 | 80,59 | 0,54 | 49,77 | 13,35 |
| Media | 158,56667 | 22,853333 | 78,688667 | 7,8533333 | 78,463 | 1,0096667 | 43,853333 | 20,319333 |
| Desv. | 36,964739 | 4,4223853 | 0,4459297 | 0,3829408 | 0,8149641 | 0,1800284 | 2,3840423 | 3,5436781 |
| CV % | 23,311797 | 19,351161 | 0,5667014 | 4,8761566 | 1,0386604 | 17,83048 | 5,4363992 | 17,439933 |

Tabla G.26. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de porcentaje mínimo de cumplimiento de 70%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | 144 | 29,08 | 78,85 | 7,15 | 83,83 | 1,00 | 44,74 | 17,20 |
| 2 | 132 | 34,64 | 78,85 | 6,92 | 83,85 | 1,31 | 44,24 | 18,37 |
| 3 | 162 | 33,86 | 78,85 | 7,23 | 84,10 | 1,23 | 47,02 | 14,95 |
| 4 | 213 | 29,55 | 77,88 | 7,31 | 85,03 | 1,15 | 47,05 | 17,60 |
| 5 | 198 | 34,81 | 78,85 | 7,31 | 80,98 | 1,54 | 47,20 | 17,43 |
| 6 | 135 | 30,73 | 77,88 | 7,54 | 83,78 | 0,69 | 45,84 | 18,15 |
| 7 | 154 | 29,24 | 78,85 | 7,85 | 84,45 | 0,85 | 45,11 | 20,30 |
| 8 | 201 | 35,75 | 78,85 | 7,38 | 81,51 | 1,46 | 44,82 | 17,93 |
| 9 | 127 | 35,32 | 78,85 | 7,46 | 82,82 | 1,31 | 47,65 | 15,83 |
| 10 | 187 | 39,04 | 78,85 | 7,00 | 80,63 | 1,54 | 48,57 | 15,80 |
| 11 | 132 | 32,91 | 78,85 | 7,54 | 83,76 | 1,00 | 45,68 | 18,78 |
| 12 | 169 | 33,09 | 76,92 | 7,77 | 82,87 | 1,23 | 44,64 | 19,18 |
| 13 | 222 | 28,30 | 78,85 | 7,77 | 84,16 | 1,08 | 47,09 | 14,77 |
| 14 | 190 | 31,54 | 78,85 | 7,62 | 83,36 | 1,15 | 43,26 | 20,96 |
| 15 | 184 | 29,96 | 78,85 | 7,54 | 84,68 | 0,85 | 45,60 | 18,27 |
| 16 | 206 | 36,90 | 78,85 | 7,15 | 79,84 | 1,54 | 48,91 | 16,11 |
| 17 | 204 | 31,20 | 78,85 | 6,69 | 84,43 | 1,08 | 49,20 | 15,18 |
| 18 | 123 | 26,10 | 78,85 | 7,69 | 83,52 | 0,85 | 45,30 | 20,91 |
| 19 | 146 | 30,67 | 78,85 | 7,85 | 84,41 | 1,00 | 45,68 | 18,86 |
| 20 | 194 | 39,28 | 78,85 | 6,92 | 83,46 | 1,08 | 48,29 | 14,23 |
| 21 | 138 | 25,43 | 78,85 | 7,69 | 83,87 | 0,69 | 41,49 | 22,96 |
| 22 | 161 | 29,49 | 77,88 | 7,38 | 83,33 | 1,08 | 44,14 | 21,35 |
| 23 | 132 | 26,74 | 78,85 | 8,00 | 83,28 | 0,85 | 43,74 | 22,32 |
| 24 | 118 | 31,17 | 78,85 | 7,08 | 84,05 | 1,00 | 45,37 | 20,52 |
| 25 | 155 | 31,43 | 78,85 | 7,54 | 82,94 | 1,15 | 44,68 | 16,71 |
| 26 | 150 | 36,47 | 78,85 | 7,23 | 83,45 | 1,46 | 46,25 | 15,45 |
| 27 | 185 | 41,44 | 78,85 | 6,92 | 79,48 | 1,54 | 47,58 | 17,01 |
| 28 | 135 | 42,27 | 78,85 | 7,00 | 75,68 | 1,85 | 49,10 | 14,05 |
| 29 | 184 | 37,24 | 78,85 | 6,92 | 80,53 | 1,23 | 47,99 | 15,43 |
| 30 | 149 | 27,94 | 78,85 | 8,08 | 82,81 | 0,92 | 45,99 | 17,62 |
| Mejor | 118 | 25,43 | 78,85 | 8,08 | 85,03 | 0,69 | 49,2 | 14,05 |
| Media | 164,33333 | 32,71967 | 78,68867 | 7,384333 | 82,82967 | 1,157 | 46,074 | 17,80767 |
| Desv. | 30,488362 | 4,441789 | 0,44593 | 0,363903 | 1,985186 | 0,281941 | 1,876987 | 2,44152 |
| CV % | 18,552756 | 13,57529 | 0,566701 | 4,928042 | 2,396708 | 24,36827 | 4,073853 | 13,7105 |

Tabla G.27. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de porcentaje mínimo de cumplimiento de 90%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | - | 79,90 | 23,08 | 3,54 | 21,77 | 6,15 | 43,07 | 29,11 |
| 2 | - | 79,55 | 23,08 | 3,69 | 21,60 | 6,00 | 40,94 | 32,61 |
| 3 | - | 80,23 | 23,08 | 3,77 | 21,08 | 6,38 | 42,57 | 31,28 |
| 4 | - | 81,18 | 23,08 | 3,31 | 20,44 | 6,62 | 43,01 | 30,64 |
| 5 | - | 82,83 | 23,08 | 3,15 | 19,50 | 7,00 | 45,56 | 27,32 |
| 6 | - | 82,62 | 23,08 | 2,69 | 19,03 | 7,00 | 43,22 | 29,73 |
| 7 | - | 81,10 | 23,08 | 3,15 | 20,56 | 6,69 | 43,38 | 30,64 |
| 8 | - | 81,42 | 23,08 | 3,62 | 20,53 | 6,54 | 41,48 | 32,21 |
| 9 | - | 80,93 | 23,08 | 3,38 | 20,77 | 6,46 | 40,31 | 33,20 |
| 10 | - | 80,63 | 23,08 | 3,23 | 20,61 | 6,23 | 38,32 | 36,17 |
| 11 | - | 81,62 | 23,08 | 3,69 | 20,93 | 6,54 | 40,20 | 35,56 |
| 12 | - | 79,39 | 23,08 | 3,69 | 21,58 | 6,15 | 37,81 | 36,99 |
| 13 | - | 79,54 | 23,08 | 3,85 | 21,78 | 6,00 | 40,67 | 32,16 |
| 14 | - | 80,06 | 23,08 | 3,62 | 21,88 | 6,31 | 39,91 | 33,52 |
| 15 | - | 80,13 | 23,08 | 3,69 | 21,14 | 6,23 | 42,91 | 27,17 |
| 16 | - | 80,78 | 23,08 | 3,54 | 21,50 | 6,31 | 41,07 | 34,00 |
| 17 | - | 81,54 | 23,08 | 3,62 | 20,05 | 6,62 | 40,27 | 32,86 |
| 18 | - | 82,08 | 23,08 | 3,38 | 20,43 | 6,77 | 42,99 | 30,69 |
| 19 | - | 80,58 | 23,08 | 3,46 | 21,30 | 6,31 | 42,89 | 28,46 |
| 20 | - | 81,74 | 23,08 | 3,31 | 19,99 | 6,77 | 41,42 | 30,97 |
| 21 | - | 79,89 | 23,08 | 3,69 | 21,57 | 5,92 | 42,91 | 26,58 |
| 22 | - | 79,44 | 23,08 | 3,69 | 21,95 | 5,92 | 40,39 | 32,88 |
| 23 | - | 81,73 | 23,08 | 3,46 | 20,14 | 6,69 | 41,04 | 30,97 |
| 24 | - | 81,31 | 23,08 | 3,77 | 20,42 | 6,46 | 39,79 | 35,56 |
| 25 | - | 79,81 | 23,08 | 3,85 | 21,77 | 6,15 | 39,60 | 36,02 |
| 26 | - | 80,19 | 23,08 | 3,77 | 21,02 | 6,15 | 38,47 | 34,66 |
| 27 | - | 80,64 | 23,08 | 3,62 | 20,84 | 6,23 | 41,35 | 30,95 |
| 28 | - | 81,43 | 23,08 | 3,31 | 20,28 | 6,46 | 40,94 | 32,83 |
| 29 | - | 82,28 | 23,08 | 3,00 | 19,52 | 7,00 | 40,61 | 33,58 |
| 30 | - | 82,07 | 23,08 | 3,08 | 20,27 | 6,69 | 41,06 | 30,27 |
| Mejor | - | 79,39 | 23,08 | 3,85 | 21,95 | 5,92 | 45,56 | 26,58 |
| Media | - | 80,888 | 23,08 | 3,487333 | 20,80833 | 6,425 | 41,27183 | 31,98633 |
| Desv. | - | 0,987974 | 0 | 0,280208 | 0,774962 | 0,314936 | 1,72209 | 2,732646 |
| CV % | - | 1,22141 | 0 | 8,035035 | 3,724287 | 4,901723 | 4,172555 | 8,543168 |

Tabla G.28. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de porcentaje mínimo de cumplimiento de 100%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | - | 84,78 | 23,08 | 2,38 | 18,79 | 7,62 | 42,18 | 32,28 |
| 2 | - | 83,82 | 23,08 | 2,38 | 19,26 | 7,23 | 40,76 | 34,57 |
| 3 | - | 85,40 | 23,08 | 2,08 | 17,22 | 7,92 | 45,22 | 27,94 |
| 4 | - | 84,55 | 23,08 | 2,69 | 19,08 | 7,38 | 41,81 | 33,30 |
| 5 | - | 84,81 | 23,08 | 2,62 | 18,95 | 7,46 | 43,79 | 29,88 |
| 6 | - | 85,08 | 23,08 | 2,38 | 17,53 | 7,77 | 40,09 | 36,16 |
| 7 | - | 84,58 | 23,08 | 2,46 | 18,83 | 7,54 | 40,75 | 34,64 |
| 8 | - | 84,40 | 23,08 | 2,46 | 19,25 | 7,23 | 41,34 | 34,18 |
| 9 | - | 84,55 | 23,08 | 2,08 | 18,76 | 7,46 | 46,57 | 26,16 |
| 10 | - | 85,74 | 23,08 | 2,62 | 18,23 | 7,54 | 41,87 | 33,44 |
| 11 | - | 85,25 | 23,08 | 2,23 | 17,98 | 7,62 | 39,25 | 37,14 |
| 12 | - | 83,99 | 23,08 | 2,54 | 19,14 | 7,38 | 45,30 | 28,00 |
| 13 | - | 85,02 | 23,08 | 2,31 | 17,83 | 7,77 | 43,12 | 31,41 |
| 14 | - | 84,91 | 23,08 | 2,46 | 18,41 | 7,54 | 40,11 | 35,64 |
| 15 | - | 84,78 | 23,08 | 2,69 | 19,08 | 7,38 | 41,26 | 34,32 |
| 16 | - | 85,12 | 23,08 | 2,31 | 18,08 | 7,62 | 39,47 | 36,70 |
| 17 | - | 84,41 | 23,08 | 2,46 | 18,36 | 7,54 | 44,19 | 29,91 |
| 18 | - | 84,01 | 23,08 | 2,23 | 18,91 | 7,31 | 40,49 | 35,16 |
| 19 | - | 84,25 | 23,08 | 2,54 | 19,23 | 7,46 | 41,89 | 33,56 |
| 20 | - | 85,00 | 23,08 | 2,92 | 17,89 | 7,69 | 41,17 | 34,11 |
| 21 | - | 85,30 | 23,08 | 2,38 | 17,80 | 7,54 | 43,55 | 30,67 |
| 22 | - | 84,76 | 23,08 | 2,38 | 18,57 | 7,54 | 44,77 | 28,51 |
| 23 | - | 83,02 | 23,08 | 2,85 | 20,45 | 6,92 | 41,08 | 35,02 |
| 24 | - | 85,44 | 23,08 | 2,23 | 17,51 | 7,85 | 42,17 | 32,81 |
| 25 | - | 85,03 | 23,08 | 2,46 | 17,84 | 7,69 | 42,57 | 32,40 |
| 26 | - | 84,75 | 23,08 | 2,15 | 18,24 | 7,69 | 43,37 | 31,33 |
| 27 | - | 85,54 | 23,08 | 2,15 | 17,58 | 7,92 | 42,83 | 31,71 |
| 28 | - | 84,06 | 23,08 | 2,38 | 19,38 | 7,23 | 41,02 | 34,65 |
| 29 | - | 84,07 | 23,08 | 2,62 | 18,82 | 7,31 | 41,70 | 33,89 |
| 30 | - | 84,57 | 23,08 | 2,62 | 19,19 | 7,38 | 40,40 | 35,01 |
| Mejor | - | 83,02 | 23,08 | 2,92 | 20,45 | 6,92 | 46,57 | 26,16 |
| Media | - | 84,69967 | 23,08 | 2,435333 | 18,5396 | 7,517667 | 42,13633 | 32,81667 |
| Desv. | - | 0,587833 | 0 | 0,210872 | 0,725661 | 0,224571 | 1,825353 | 2,775211 |
| CV % | - | 0,694021 | 0 | 8,658868 | 3,914114 | 2,987248 | 4,332017 | 8,456712 |

G.6 Corridas del modelo de simulación para los escenarios basados en la probabilidad de coordinación de los actores

Tabla G.29. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de la probabilidad de coordinación de 0%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|---------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|------|-------------|------|------------|
| 1 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 3 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 4 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 5 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 6 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 7 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 8 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 9 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 10 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 11 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 12 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 13 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 14 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 15 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 16 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 17 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 18 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 19 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 20 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 21 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 22 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 23 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 24 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 25 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 26 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 27 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 28 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 29 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| 30 | - | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,38 | 0,00 | 100,00 |
| Mejor | - | 100 | 0 | 0 | 0 | 11,38 | 0 | 100 |
| Media | - | 100 | 0 | 0 | 0 | 11,38 | 0 | 100 |
| Desv. | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CV % | - | 0 | - | - | - | 0 | - | 0 |

Tabla G.30. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de la probabilidad de coordinación de 10%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 734 | 58,76 | 56,73 | 4,46 | 61,84 | 4,08 | 21,36 | 60,69 |
| 2 | - | 63,56 | 57,69 | 4,23 | 57,88 | 3,85 | 23,31 | 58,55 |
| 3 | - | 63,39 | 55,77 | 4,77 | 56,78 | 4,00 | 22,47 | 59,83 |
| 4 | 363 | 48,73 | 59,62 | 4,54 | 72,21 | 2,92 | 24,22 | 54,76 |
| 5 | 359 | 64,93 | 58,65 | 4,46 | 54,36 | 4,31 | 23,49 | 58,80 |
| 6 | - | 69,41 | 49,04 | 3,92 | 43,66 | 4,85 | 23,03 | 60,38 |
| 7 | - | 66,97 | 54,81 | 4,69 | 53,46 | 4,77 | 22,29 | 59,67 |
| 8 | 540 | 61,33 | 58,65 | 4,00 | 54,88 | 4,23 | 20,42 | 62,55 |
| 9 | - | 70,18 | 50,00 | 4,31 | 45,95 | 4,62 | 21,51 | 61,81 |
| 10 | - | 69,14 | 46,15 | 3,77 | 44,97 | 4,69 | 23,36 | 58,92 |
| 11 | - | 65,06 | 53,85 | 4,69 | 55,39 | 3,62 | 23,20 | 58,00 |
| 12 | - | 66,59 | 54,81 | 4,23 | 50,03 | 4,15 | 23,14 | 58,04 |
| 13 | - | 59,42 | 56,73 | 4,62 | 60,76 | 4,08 | 22,00 | 59,38 |
| 14 | - | 65,42 | 55,77 | 4,69 | 53,62 | 4,23 | 23,46 | 58,46 |
| 15 | - | 67,09 | 52,88 | 4,69 | 52,78 | 3,85 | 24,50 | 55,54 |
| 16 | 559 | 57,52 | 60,58 | 4,77 | 56,24 | 4,38 | 23,89 | 57,45 |
| 17 | - | 58,58 | 55,77 | 4,69 | 61,11 | 3,69 | 24,30 | 57,07 |
| 18 | 1391 | 55,44 | 61,54 | 5,00 | 66,45 | 3,54 | 24,32 | 53,83 |
| 19 | - | 69,21 | 51,92 | 4,15 | 49,85 | 4,69 | 20,55 | 64,27 |
| 20 | - | 65,05 | 54,81 | 4,15 | 56,07 | 3,92 | 23,59 | 59,53 |
| 21 | - | 71,14 | 50,00 | 4,31 | 43,57 | 4,62 | 21,35 | 62,11 |
| 22 | - | 69,46 | 47,12 | 4,38 | 44,94 | 4,77 | 22,11 | 61,15 |
| 23 | 1430 | 63,86 | 56,73 | 4,46 | 54,68 | 4,08 | 21,50 | 62,46 |
| 24 | - | 58,84 | 57,69 | 4,92 | 67,89 | 3,54 | 23,50 | 57,53 |
| 25 | - | 61,15 | 50,00 | 4,31 | 54,67 | 4,15 | 21,81 | 58,98 |
| 26 | - | 59,38 | 54,81 | 4,54 | 62,33 | 3,85 | 21,06 | 61,72 |
| 27 | 380 | 58,88 | 59,62 | 4,62 | 62,67 | 3,38 | 23,03 | 58,97 |
| 28 | - | 63,44 | 51,92 | 4,23 | 53,43 | 4,62 | 22,79 | 59,08 |
| 29 | - | 67,78 | 50,96 | 4,15 | 46,07 | 4,69 | 21,76 | 61,52 |
| 30 | - | 63,06 | 53,85 | 4,23 | 54,17 | 4,69 | 20,71 | 61,91 |
| Mejor | - | 48,73 | 61,54 | 5 | 72,21 | 2,92 | 24,5 | 53,83 |
| Media | - | 63,425667 | 54,615667 | 4,4326667 | 55,090333 | 4,162 | 22,601 | 59,432 |
| Desv. | - | 5,0985398 | 3,9721302 | 0,2967982 | 7,2498602 | 0,4869851 | 1,1983821 | 2,3846902 |
| CV % | - | 8,0386066 | 7,2728769 | 6,695704 | 13,15995 | 11,700747 | 5,302341 | 4,0124685 |

Tabla G.31. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de la probabilidad de coordinación de 20%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 336 | 44,97 | 74,04 | 6,69 | 82,33 | 2,08 | 29,34 | 46,59 |
| 2 | 158 | 37,59 | 75,96 | 7,00 | 86,11 | 1,23 | 29,60 | 44,22 |
| 3 | 268 | 45,82 | 71,15 | 6,85 | 79,17 | 2,31 | 28,73 | 46,36 |
| 4 | 422 | 42,05 | 74,04 | 6,69 | 84,32 | 2,00 | 29,65 | 44,65 |
| 5 | 687 | 54,17 | 68,27 | 6,08 | 72,78 | 2,62 | 26,79 | 50,00 |
| 6 | 235 | 38,59 | 75,96 | 8,00 | 86,41 | 1,62 | 29,95 | 42,47 |
| 7 | 306 | 40,48 | 70,19 | 6,69 | 84,66 | 1,85 | 31,64 | 40,25 |
| 8 | 168 | 38,79 | 74,04 | 7,38 | 86,15 | 1,62 | 31,35 | 42,45 |
| 9 | 184 | 39,33 | 74,04 | 7,08 | 87,26 | 1,46 | 29,98 | 42,99 |
| 10 | 178 | 37,76 | 75,00 | 7,15 | 83,61 | 1,85 | 29,75 | 45,14 |
| 11 | 330 | 42,47 | 72,12 | 7,15 | 84,61 | 1,85 | 31,33 | 44,38 |
| 12 | 206 | 46,96 | 73,08 | 7,46 | 82,99 | 1,85 | 29,75 | 44,62 |
| 13 | 176 | 51,05 | 69,23 | 7,08 | 80,28 | 2,00 | 31,36 | 43,44 |
| 14 | 192 | 43,76 | 73,08 | 6,85 | 83,86 | 2,00 | 33,80 | 39,37 |
| 15 | 339 | 45,74 | 72,12 | 7,15 | 83,14 | 2,15 | 30,92 | 41,54 |
| 16 | 382 | 43,23 | 71,15 | 7,08 | 82,95 | 2,00 | 29,27 | 44,54 |
| 17 | 176 | 40,11 | 71,15 | 7,00 | 84,88 | 1,54 | 31,54 | 42,82 |
| 18 | 160 | 36,26 | 71,15 | 6,85 | 85,57 | 1,69 | 30,72 | 43,59 |
| 19 | 174 | 46,88 | 71,15 | 8,08 | 81,64 | 1,92 | 27,26 | 47,68 |
| 20 | 168 | 46,77 | 73,08 | 7,08 | 84,44 | 1,54 | 30,89 | 43,41 |
| 21 | 176 | 39,32 | 74,04 | 7,92 | 86,79 | 1,31 | 30,57 | 43,51 |
| 22 | 360 | 43,57 | 70,19 | 6,85 | 82,89 | 2,08 | 32,76 | 40,60 |
| 23 | 202 | 36,42 | 76,92 | 6,92 | 86,81 | 1,38 | 28,29 | 47,09 |
| 24 | 145 | 39,97 | 74,04 | 7,31 | 85,28 | 1,69 | 28,85 | 45,23 |
| 25 | 177 | 41,67 | 75,00 | 7,31 | 86,18 | 1,54 | 30,79 | 41,66 |
| 26 | 540 | 49,46 | 75,00 | 6,85 | 75,73 | 2,62 | 29,32 | 45,45 |
| 27 | 182 | 39,74 | 73,08 | 7,46 | 84,16 | 1,62 | 33,95 | 37,92 |
| 28 | 208 | 38,84 | 74,04 | 7,46 | 86,18 | 1,69 | 30,82 | 40,07 |
| 29 | 369 | 51,27 | 72,12 | 6,54 | 75,79 | 2,15 | 29,56 | 44,60 |
| 30 | 181 | 40,36 | 75,96 | 6,85 | 84,38 | 1,77 | 28,48 | 47,40 |
| Mejor | 145 | 36,26 | 76,92 | 8,08 | 87,26 | 1,23 | 33,95 | 37,92 |
| Media | 259,5 | 42,78 | 73,013 | 7,0953333 | 83,378333 | 1,8343333 | 30,233667 | 43,801333 |
| Desv. | 127,02097 | 4,6788622 | 2,141999 | 0,427194 | 3,5072822 | 0,3398751 | 1,643368 | 2,6751355 |
| CV % | 48,948352 | 10,937032 | 2,9337227 | 6,0207742 | 4,2064671 | 18,528533 | 5,4355565 | 6,1074294 |

Tabla G.32. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de la probabilidad de coordinación de 30%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 151 | 30,71 | 76,92 | 8,31 | 88,20 | 0,77 | 32,84 | 38,49 |
| 2 | 185 | 42,65 | 75,00 | 7,92 | 82,38 | 1,92 | 34,22 | 36,20 |
| 3 | 338 | 42,74 | 77,88 | 8,00 | 82,78 | 1,62 | 32,14 | 40,48 |
| 4 | 165 | 29,75 | 75,96 | 8,38 | 88,22 | 1,31 | 31,24 | 41,47 |
| 5 | 167 | 38,06 | 76,92 | 8,08 | 86,40 | 1,38 | 33,21 | 37,13 |
| 6 | 273 | 37,98 | 74,04 | 8,00 | 85,76 | 1,46 | 33,11 | 40,12 |
| 7 | 222 | 31,50 | 76,92 | 8,23 | 87,44 | 1,08 | 31,85 | 41,15 |
| 8 | 210 | 33,51 | 76,92 | 7,92 | 86,40 | 1,31 | 33,46 | 39,18 |
| 9 | 144 | 27,72 | 76,92 | 8,15 | 87,87 | 0,85 | 32,07 | 38,27 |
| 10 | 226 | 38,37 | 78,85 | 8,38 | 86,56 | 1,38 | 35,91 | 36,63 |
| 11 | 277 | 41,57 | 75,00 | 7,62 | 83,95 | 1,69 | 34,22 | 36,93 |
| 12 | 215 | 36,55 | 77,88 | 8,08 | 87,33 | 1,38 | 31,96 | 39,15 |
| 13 | 219 | 33,53 | 74,04 | 7,92 | 86,51 | 1,46 | 32,75 | 39,75 |
| 14 | 202 | 38,38 | 74,04 | 7,85 | 85,30 | 1,69 | 35,49 | 33,11 |
| 15 | 182 | 34,04 | 75,00 | 8,00 | 86,70 | 1,08 | 32,88 | 35,81 |
| 16 | 166 | 35,81 | 76,92 | 8,08 | 87,37 | 1,46 | 35,52 | 34,05 |
| 17 | 156 | 34,96 | 76,92 | 8,38 | 87,80 | 1,15 | 34,86 | 36,49 |
| 18 | 175 | 29,11 | 76,92 | 8,54 | 88,49 | 1,08 | 31,51 | 42,77 |
| 19 | 166 | 32,01 | 75,96 | 8,38 | 87,19 | 1,46 | 33,42 | 37,62 |
| 20 | 175 | 34,43 | 75,96 | 8,00 | 88,76 | 1,23 | 34,15 | 36,20 |
| 21 | 163 | 42,17 | 77,88 | 7,92 | 86,79 | 1,31 | 35,43 | 35,63 |
| 22 | 173 | 31,46 | 77,88 | 8,54 | 86,78 | 1,15 | 32,77 | 37,76 |
| 23 | 132 | 27,60 | 76,92 | 7,38 | 88,15 | 1,23 | 32,19 | 39,03 |
| 24 | 189 | 39,66 | 77,88 | 8,62 | 86,29 | 1,46 | 34,57 | 35,59 |
| 25 | 316 | 40,52 | 76,92 | 7,85 | 80,83 | 2,08 | 35,32 | 33,72 |
| 26 | 165 | 34,63 | 77,88 | 8,00 | 87,27 | 1,00 | 32,44 | 38,95 |
| 27 | 184 | 27,86 | 75,96 | 8,15 | 87,38 | 1,31 | 31,88 | 39,68 |
| 28 | 181 | 38,21 | 76,92 | 7,92 | 88,19 | 1,69 | 33,25 | 38,13 |
| 29 | 156 | 32,05 | 75,00 | 8,38 | 87,62 | 1,00 | 31,63 | 41,24 |
| 30 | 173 | 37,30 | 76,92 | 7,77 | 87,20 | 1,31 | 33,66 | 37,36 |
| Mejor | 132 | 27,6 | 78,85 | 8,62 | 88,76 | 0,77 | 35,91 | 33,11 |
| Media | 194,86667 | 35,161333 | 76,504333 | 8,0916667 | 86,597 | 1,3433333 | 33,331667 | 37,936333 |
| Desv. | 49,153337 | 4,5926251 | 1,2782846 | 0,2821968 | 1,8700786 | 0,2939779 | 1,3614725 | 2,3768619 |
| CV % | 25,224087 | 13,061578 | 1,6708657 | 3,4874996 | 2,159519 | 21,884209 | 4,0846218 | 6,2653969 |

Tabla G.33. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de la probabilidad de coordinación de 40%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 209 | 34,41 | 77,88 | 8,08 | 86,79 | 1,31 | 36,23 | 31,46 |
| 2 | 223 | 30,44 | 77,88 | 8,38 | 84,71 | 1,46 | 35,87 | 33,82 |
| 3 | 163 | 31,34 | 77,88 | 8,69 | 86,62 | 1,08 | 36,79 | 31,94 |
| 4 | 214 | 32,08 | 78,85 | 8,38 | 85,64 | 1,31 | 35,84 | 33,47 |
| 5 | 159 | 28,80 | 77,88 | 8,38 | 87,43 | 1,00 | 36,26 | 33,98 |
| 6 | 191 | 37,78 | 76,92 | 8,23 | 84,58 | 1,46 | 37,11 | 31,45 |
| 7 | 140 | 29,82 | 78,85 | 8,77 | 89,24 | 0,92 | 34,75 | 33,54 |
| 8 | 179 | 30,12 | 76,92 | 8,92 | 87,36 | 0,62 | 38,22 | 29,56 |
| 9 | 181 | 30,81 | 76,92 | 8,46 | 88,13 | 1,23 | 35,70 | 32,96 |
| 10 | 170 | 30,15 | 76,92 | 8,69 | 87,41 | 1,15 | 36,92 | 31,73 |
| 11 | 168 | 35,10 | 76,92 | 8,00 | 84,30 | 1,77 | 36,82 | 34,56 |
| 12 | 269 | 37,12 | 77,88 | 8,38 | 85,50 | 1,38 | 37,34 | 31,36 |
| 13 | 139 | 32,13 | 75,00 | 8,69 | 87,15 | 1,31 | 35,58 | 33,55 |
| 14 | 162 | 32,24 | 76,92 | 8,77 | 87,39 | 1,31 | 37,11 | 31,70 |
| 15 | 154 | 26,98 | 77,88 | 9,38 | 88,02 | 0,77 | 35,72 | 33,46 |
| 16 | 232 | 32,15 | 77,88 | 8,15 | 87,48 | 1,31 | 38,46 | 28,51 |
| 17 | 148 | 37,80 | 75,96 | 8,00 | 85,69 | 1,62 | 38,01 | 30,67 |
| 18 | 172 | 27,93 | 75,96 | 8,77 | 88,87 | 1,08 | 34,00 | 34,56 |
| 19 | 208 | 36,85 | 76,92 | 8,46 | 85,46 | 1,46 | 39,28 | 27,57 |
| 20 | 202 | 39,27 | 76,92 | 7,77 | 79,44 | 2,00 | 38,02 | 28,91 |
| 21 | 170 | 28,92 | 76,92 | 8,54 | 88,13 | 1,00 | 35,92 | 31,61 |
| 22 | 259 | 33,29 | 75,96 | 8,69 | 86,43 | 1,15 | 35,96 | 32,87 |
| 23 | 153 | 33,40 | 78,85 | 8,54 | 86,90 | 1,31 | 37,28 | 28,06 |
| 24 | 159 | 30,43 | 78,85 | 8,38 | 88,22 | 0,69 | 37,70 | 28,79 |
| 25 | 163 | 33,22 | 77,88 | 8,31 | 86,25 | 1,38 | 35,24 | 34,43 |
| 26 | 197 | 27,38 | 77,88 | 8,85 | 88,13 | 0,77 | 37,73 | 30,51 |
| 27 | 137 | 28,23 | 78,85 | 8,77 | 86,93 | 1,38 | 36,60 | 33,48 |
| 28 | 216 | 28,31 | 77,88 | 8,62 | 87,10 | 0,92 | 34,20 | 36,22 |
| 29 | 184 | 30,29 | 78,85 | 8,54 | 88,42 | 0,77 | 36,21 | 31,57 |
| 30 | 219 | 33,80 | 77,88 | 8,77 | 87,85 | 0,92 | 37,80 | 30,44 |
| Mejor | 137 | 26,98 | 78,85 | 9,38 | 89,24 | 0,62 | 39,28 | 27,57 |
| Media | 184,66667 | 32,019667 | 77,498 | 8,512 | 86,719 | 1,1946667 | 36,622333 | 31,891333 |
| Desv. | 34,40262 | 3,3504981 | 0,9985451 | 0,3276394 | 1,8658812 | 0,3223912 | 1,2553875 | 2,179044 |
| CV % | 18,629577 | 10,463876 | 1,2884786 | 3,8491473 | 2,1516406 | 26,985871 | 3,4279288 | 6,8327152 |

Tabla G.34. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de la probabilidad de coordinación de 50%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 137 | 29,76 | 78,85 | 8,62 | 88,84 | 1,00 | 37,34 | 31,29 |
| 2 | 124 | 33,14 | 77,88 | 8,08 | 87,38 | 1,08 | 38,58 | 28,34 |
| 3 | 182 | 32,78 | 77,88 | 8,92 | 87,55 | 0,92 | 38,09 | 29,70 |
| 4 | 182 | 40,08 | 78,85 | 8,54 | 85,27 | 1,54 | 41,07 | 23,29 |
| 5 | 199 | 29,18 | 78,85 | 8,46 | 88,34 | 1,00 | 39,13 | 28,41 |
| 6 | 167 | 32,90 | 78,85 | 8,77 | 88,91 | 1,31 | 41,06 | 24,82 |
| 7 | 163 | 25,01 | 78,85 | 8,15 | 89,29 | 0,92 | 38,26 | 32,26 |
| 8 | 322 | 35,42 | 78,85 | 8,54 | 82,74 | 1,38 | 41,80 | 26,12 |
| 9 | 172 | 31,43 | 78,85 | 9,00 | 88,93 | 0,62 | 42,41 | 23,13 |
| 10 | 168 | 34,96 | 77,88 | 8,15 | 88,82 | 1,31 | 38,84 | 28,73 |
| 11 | 129 | 27,38 | 76,92 | 8,54 | 88,61 | 1,08 | 36,42 | 32,47 |
| 12 | 187 | 37,62 | 77,88 | 8,46 | 89,15 | 1,00 | 41,28 | 25,36 |
| 13 | 155 | 37,56 | 77,88 | 8,08 | 86,45 | 1,54 | 41,33 | 23,27 |
| 14 | 164 | 34,02 | 78,85 | 8,62 | 86,93 | 1,46 | 38,68 | 27,48 |
| 15 | 201 | 38,66 | 77,88 | 8,15 | 86,99 | 1,54 | 39,83 | 26,94 |
| 16 | 122 | 28,34 | 78,85 | 8,69 | 89,39 | 0,92 | 38,22 | 28,51 |
| 17 | 153 | 26,28 | 78,85 | 9,00 | 88,81 | 0,77 | 37,95 | 27,80 |
| 18 | 148 | 34,69 | 78,85 | 8,38 | 89,07 | 0,62 | 42,97 | 20,61 |
| 19 | 181 | 44,35 | 77,88 | 8,31 | 83,84 | 1,54 | 41,61 | 25,50 |
| 20 | 152 | 33,61 | 78,85 | 8,31 | 88,01 | 1,31 | 40,98 | 25,43 |
| 21 | 146 | 32,31 | 78,85 | 8,85 | 88,67 | 1,08 | 39,84 | 27,33 |
| 22 | 204 | 32,61 | 76,92 | 8,46 | 86,70 | 1,15 | 37,97 | 28,58 |
| 23 | 154 | 31,51 | 78,85 | 8,46 | 87,28 | 1,38 | 39,10 | 26,59 |
| 24 | 161 | 29,09 | 78,85 | 8,54 | 89,61 | 0,69 | 38,51 | 29,05 |
| 25 | 151 | 27,63 | 77,88 | 9,00 | 89,27 | 0,62 | 37,81 | 28,83 |
| 26 | 138 | 38,68 | 77,88 | 8,46 | 86,55 | 1,46 | 40,33 | 26,45 |
| 27 | 149 | 36,74 | 78,85 | 8,62 | 87,07 | 1,15 | 41,78 | 22,85 |
| 28 | 179 | 35,63 | 78,85 | 8,69 | 88,30 | 1,00 | 42,08 | 22,30 |
| 29 | 185 | 32,36 | 77,88 | 8,69 | 87,90 | 0,92 | 39,91 | 28,62 |
| 30 | 167 | 32,97 | 77,88 | 8,38 | 89,21 | 1,15 | 40,98 | 25,08 |
| Mejor | 122 | 25,01 | 78,85 | 9 | 89,61 | 0,62 | 42,97 | 20,61 |
| Media | 168,06667 | 33,223333 | 78,365667 | 8,5306667 | 87,796 | 1,1153333 | 39,805333 | 26,838 |
| Desv. | 36,348821 | 4,3789263 | 0,6091921 | 0,2678643 | 1,6400622 | 0,2913788 | 1,72541 | 2,9071486 |
| CV % | 21,627621 | 13,180274 | 0,7773712 | 3,1400156 | 1,8680375 | 26,124818 | 4,3346201 | 10,83221 |

Tabla G.35. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de la probabilidad de coordinación de 60%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| 1 | 157 | 32,07 | 78,85 | 8,38 | 87,21 | 0,85 | 41,44 | 24,85 |
| 2 | 193 | 36,43 | 78,85 | 8,54 | 87,60 | 0,92 | 44,03 | 20,04 |
| 3 | 171 | 32,50 | 77,88 | 8,00 | 89,44 | 1,00 | 43,52 | 21,23 |
| 4 | 177 | 38,38 | 77,88 | 8,31 | 83,25 | 1,54 | 41,27 | 21,38 |
| 5 | 231 | 39,05 | 78,85 | 8,15 | 83,80 | 1,31 | 40,62 | 25,96 |
| 6 | 160 | 37,16 | 78,85 | 8,31 | 87,46 | 1,31 | 42,30 | 23,74 |
| 7 | 156 | 38,23 | 78,85 | 8,31 | 87,64 | 1,15 | 43,00 | 20,76 |
| 8 | 367 | 37,38 | 77,88 | 8,23 | 87,06 | 1,15 | 42,73 | 23,78 |
| 9 | 175 | 35,62 | 77,88 | 8,62 | 88,41 | 0,92 | 42,32 | 22,98 |
| 10 | 149 | 34,15 | 78,85 | 7,92 | 87,70 | 1,23 | 42,16 | 23,37 |
| 11 | 142 | 34,44 | 77,88 | 8,23 | 88,05 | 0,69 | 42,59 | 21,75 |
| 12 | 230 | 40,50 | 77,88 | 7,77 | 83,57 | 1,85 | 42,05 | 18,52 |
| 13 | 173 | 36,46 | 77,88 | 8,31 | 85,33 | 1,23 | 42,59 | 22,34 |
| 14 | 169 | 35,24 | 78,85 | 8,00 | 89,35 | 1,08 | 43,37 | 19,48 |
| 15 | 223 | 35,37 | 78,85 | 8,23 | 86,01 | 1,15 | 42,78 | 23,07 |
| 16 | 185 | 42,10 | 76,92 | 7,69 | 81,11 | 1,54 | 43,99 | 21,23 |
| 17 | 145 | 31,22 | 77,88 | 8,08 | 89,00 | 1,23 | 43,55 | 19,43 |
| 18 | 165 | 30,04 | 78,85 | 8,15 | 90,03 | 0,77 | 40,53 | 24,72 |
| 19 | 178 | 37,35 | 78,85 | 8,54 | 85,97 | 1,15 | 42,44 | 21,49 |
| 20 | 169 | 43,00 | 78,85 | 8,38 | 86,99 | 1,62 | 42,67 | 22,43 |
| 21 | 159 | 33,85 | 77,88 | 8,23 | 88,38 | 1,08 | 42,91 | 20,95 |
| 22 | 238 | 44,17 | 78,85 | 8,23 | 87,38 | 1,15 | 47,17 | 16,09 |
| 23 | 221 | 36,88 | 78,85 | 7,92 | 88,08 | 1,46 | 45,07 | 19,20 |
| 24 | 108 | 31,55 | 77,88 | 7,69 | 87,06 | 1,08 | 43,38 | 21,22 |
| 25 | 183 | 43,98 | 78,85 | 8,31 | 83,76 | 1,38 | 45,04 | 19,72 |
| 26 | 165 | 34,47 | 77,88 | 7,92 | 88,22 | 1,23 | 42,11 | 23,61 |
| 27 | 244 | 40,98 | 78,85 | 7,62 | 86,97 | 1,23 | 42,89 | 22,25 |
| 28 | 144 | 30,90 | 78,85 | 8,46 | 88,48 | 1,23 | 41,34 | 24,13 |
| 29 | 192 | 33,56 | 78,85 | 8,38 | 89,87 | 1,31 | 42,63 | 24,51 |
| 30 | 141 | 33,24 | 78,85 | 8,31 | 88,95 | 1,31 | 41,60 | 23,39 |
| Mejor | 108 | 30,04 | 78,85 | 8,62 | 90,03 | 0,69 | 47,17 | 16,09 |
| Media | 183,66667 | 36,342333 | 78,43 | 8,174 | 87,071 | 1,205 | 42,803 | 21,920667 |
| Desv. | 47,503418 | 3,911716 | 0,5503228 | 0,2629619 | 2,1507037 | 0,2493543 | 1,3628498 | 2,1887738 |
| CV % | 25,86393 | 10,763525 | 0,7016738 | 3,217053 | 2,4700575 | 20,693306 | 3,1840054 | 9,9849781 |

Tabla G.36. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de la probabilidad de coordinación de 70%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | 162 | 37,01 | 78,85 | 8,15 | 85,39 | 1,23 | 44,93 | 15,81 |
| 2 | 141 | 46,25 | 77,88 | 7,46 | 84,25 | 1,77 | 46,28 | 15,53 |
| 3 | 224 | 34,54 | 78,85 | 7,92 | 87,74 | 1,23 | 44,38 | 21,68 |
| 4 | 171 | 41,77 | 78,85 | 7,62 | 83,53 | 1,38 | 46,34 | 18,49 |
| 5 | 189 | 47,15 | 78,85 | 6,77 | 82,52 | 1,77 | 46,96 | 16,11 |
| 6 | 180 | 39,38 | 76,92 | 7,31 | 81,98 | 1,62 | 46,44 | 15,74 |
| 7 | 164 | 51,12 | 78,85 | 6,38 | 70,00 | 3,15 | 44,58 | 18,59 |
| 8 | 192 | 41,67 | 78,85 | 6,31 | 87,07 | 1,69 | 47,35 | 16,41 |
| 9 | 138 | 40,81 | 78,85 | 7,46 | 82,60 | 1,62 | 47,20 | 18,99 |
| 10 | 183 | 40,27 | 77,88 | 7,08 | 83,38 | 1,69 | 45,12 | 18,19 |
| 11 | 147 | 39,01 | 77,88 | 7,38 | 81,64 | 1,92 | 44,91 | 18,01 |
| 12 | 205 | 49,35 | 78,85 | 6,77 | 76,13 | 2,15 | 48,65 | 9,92 |
| 13 | 326 | 43,55 | 78,85 | 7,31 | 82,95 | 1,77 | 47,16 | 14,24 |
| 14 | 173 | 44,81 | 77,88 | 7,08 | 81,55 | 1,54 | 47,42 | 15,27 |
| 15 | 363 | 47,44 | 77,88 | 7,46 | 82,29 | 1,85 | 46,52 | 15,05 |
| 16 | 159 | 41,38 | 78,85 | 7,54 | 86,61 | 1,54 | 44,82 | 20,94 |
| 17 | 325 | 48,26 | 78,85 | 6,77 | 81,31 | 2,08 | 48,78 | 12,44 |
| 18 | 348 | 39,95 | 77,88 | 7,23 | 87,10 | 1,31 | 46,36 | 17,14 |
| 19 | 172 | 42,37 | 78,85 | 7,46 | 78,11 | 1,62 | 46,90 | 13,75 |
| 20 | 157 | 44,09 | 78,85 | 7,08 | 82,80 | 1,54 | 46,57 | 14,73 |
| 21 | 294 | 41,94 | 77,88 | 7,23 | 85,71 | 1,62 | 44,47 | 20,43 |
| 22 | 263 | 36,14 | 78,85 | 7,85 | 86,42 | 1,15 | 45,35 | 17,67 |
| 23 | 364 | 45,35 | 77,88 | 6,85 | 85,35 | 2,00 | 48,78 | 13,25 |
| 24 | 172 | 37,92 | 78,85 | 7,31 | 82,95 | 1,69 | 45,61 | 19,05 |
| 25 | 181 | 42,46 | 78,85 | 7,38 | 88,03 | 1,46 | 47,25 | 15,19 |
| 26 | 149 | 32,52 | 78,85 | 7,69 | 85,28 | 1,00 | 43,36 | 19,64 |
| 27 | 155 | 42,00 | 78,85 | 7,46 | 87,78 | 0,92 | 45,42 | 20,22 |
| 28 | 326 | 50,29 | 78,85 | 6,62 | 76,04 | 2,77 | 45,59 | 16,18 |
| 29 | 353 | 45,21 | 78,85 | 7,00 | 84,73 | 1,85 | 47,92 | 14,58 |
| 30 | 184 | 46,78 | 78,85 | 6,77 | 77,23 | 2,69 | 48,20 | 15,82 |
| Mejor | 138 | 32,52 | 78,85 | 8,15 | 88,03 | 0,92 | 48,78 | 9,92 |
| Media | 218,66667 | 42,693 | 78,527 | 7,223333 | 82,949 | 1,720667 | 46,32067 | 16,63533 |
| Desv. | 77,630128 | 4,588756 | 0,529223 | 0,437322 | 4,102277 | 0,491906 | 1,42008 | 2,697176 |
| CV % | 35,501583 | 10,74826 | 0,673938 | 6,054297 | 4,945541 | 28,58813 | 3,065759 | 16,21354 |

Tabla G.37. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de la probabilidad de coordinación de 80%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | 353 | 40,67 | 78,85 | 6,15 | 83,05 | 1,62 | 48,87 | 12,93 |
| 2 | 170 | 48,25 | 78,85 | 5,77 | 79,37 | 2,00 | 51,50 | 10,87 |
| 3 | 601 | 51,28 | 78,85 | 5,23 | 72,27 | 3,46 | 50,38 | 11,34 |
| 4 | 150 | 42,95 | 78,85 | 6,00 | 82,61 | 2,08 | 47,85 | 14,40 |
| 5 | 531 | 49,75 | 78,85 | 5,54 | 79,57 | 2,54 | 50,65 | 11,04 |
| 6 | 323 | 47,88 | 77,88 | 6,31 | 82,57 | 1,69 | 48,90 | 14,37 |
| 7 | 495 | 52,99 | 76,92 | 5,31 | 72,97 | 3,00 | 51,52 | 9,77 |
| 8 | 184 | 40,76 | 76,92 | 5,85 | 87,88 | 2,00 | 49,87 | 14,64 |
| 9 | 302 | 54,52 | 78,85 | 5,85 | 79,77 | 2,62 | 50,83 | 11,34 |
| 10 | 193 | 49,56 | 78,85 | 5,92 | 84,64 | 1,69 | 51,51 | 10,34 |
| 11 | 168 | 46,63 | 78,85 | 6,15 | 82,72 | 2,00 | 48,61 | 11,87 |
| 12 | 347 | 52,31 | 77,88 | 6,00 | 77,29 | 2,92 | 52,80 | 8,16 |
| 13 | 175 | 37,71 | 78,85 | 6,69 | 88,78 | 1,15 | 48,23 | 12,69 |
| 14 | 537 | 50,98 | 77,88 | 6,08 | 76,91 | 2,46 | 48,03 | 15,23 |
| 15 | 351 | 48,12 | 78,85 | 6,38 | 81,56 | 2,08 | 47,23 | 15,18 |
| 16 | 371 | 51,52 | 77,88 | 5,77 | 80,61 | 2,46 | 50,18 | 12,30 |
| 17 | 328 | 46,60 | 78,85 | 6,38 | 80,41 | 2,08 | 48,39 | 11,38 |
| 18 | 342 | 57,36 | 75,96 | 5,69 | 74,45 | 3,00 | 49,19 | 14,23 |
| 19 | 421 | 45,50 | 78,85 | 6,08 | 78,34 | 2,23 | 50,72 | 12,26 |
| 20 | 522 | 39,62 | 78,85 | 6,08 | 86,37 | 1,77 | 49,78 | 14,19 |
| 21 | 156 | 52,21 | 77,88 | 5,69 | 71,71 | 3,08 | 48,15 | 13,03 |
| 22 | 341 | 47,66 | 78,85 | 5,85 | 75,64 | 2,62 | 48,81 | 15,03 |
| 23 | 169 | 55,49 | 78,85 | 5,85 | 70,21 | 3,08 | 48,28 | 14,59 |
| 24 | 316 | 44,03 | 78,85 | 5,31 | 74,79 | 2,46 | 48,95 | 14,97 |
| 25 | 151 | 46,46 | 78,85 | 6,62 | 82,69 | 1,92 | 46,99 | 17,58 |
| 26 | 317 | 51,31 | 77,88 | 5,62 | 73,46 | 3,15 | 50,18 | 11,28 |
| 27 | 518 | 48,12 | 78,85 | 5,23 | 77,25 | 2,38 | 49,46 | 12,25 |
| 28 | 241 | 46,71 | 78,85 | 5,85 | 74,55 | 2,77 | 49,20 | 15,76 |
| 29 | 183 | 46,28 | 77,88 | 6,23 | 76,89 | 2,77 | 48,60 | 13,98 |
| 30 | 348 | 40,60 | 78,85 | 6,69 | 85,87 | 1,85 | 47,07 | 15,49 |
| Mejor | 150 | 37,71 | 78,85 | 6,69 | 88,78 | 1,15 | 52,8 | 8,16 |
| Media | 320,13333 | 47,79433 | 78,39867 | 5,939 | 79,17333 | 2,364333 | 49,35767 | 13,083 |
| Desv. | 135,48603 | 4,878572 | 0,749187 | 0,399908 | 4,969778 | 0,553657 | 1,445797 | 2,106182 |
| CV % | 42,32175 | 10,20743 | 0,955612 | 6,733595 | 6,277086 | 23,41703 | 2,929225 | 16,09861 |

Tabla G.38. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de la probabilidad de coordinación de 90%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | 184 | 57,94 | 78,85 | 4,00 | 68,84 | 3,54 | 53,37 | 9,29 |
| 2 | 346 | 61,47 | 78,85 | 3,77 | 65,12 | 3,77 | 48,70 | 11,85 |
| 3 | 1202 | 49,48 | 78,85 | 3,54 | 78,48 | 3,00 | 51,16 | 10,10 |
| 4 | 546 | 62,59 | 77,88 | 3,38 | 64,63 | 4,31 | 52,82 | 9,11 |
| 5 | - | 58,23 | 74,04 | 3,46 | 66,36 | 4,54 | 50,51 | 8,73 |
| 6 | 365 | 47,65 | 78,85 | 4,46 | 85,45 | 1,92 | 50,99 | 11,18 |
| 7 | 816 | 54,02 | 78,85 | 4,69 | 64,60 | 2,92 | 52,23 | 10,16 |
| 8 | 348 | 63,39 | 78,85 | 3,62 | 65,30 | 3,69 | 52,99 | 9,90 |
| 9 | 898 | 63,69 | 77,88 | 3,38 | 60,91 | 4,31 | 52,49 | 8,61 |
| 10 | - | 64,95 | 72,12 | 3,77 | 55,44 | 4,15 | 52,69 | 7,42 |
| 11 | 724 | 62,98 | 77,88 | 3,46 | 66,29 | 4,23 | 51,32 | 12,13 |
| 12 | - | 62,52 | 74,04 | 3,08 | 66,34 | 4,23 | 53,87 | 6,17 |
| 13 | 743 | 52,84 | 77,88 | 4,15 | 77,43 | 2,85 | 52,78 | 11,85 |
| 14 | 526 | 58,10 | 78,85 | 3,46 | 65,75 | 4,31 | 51,59 | 11,74 |
| 15 | 1018 | 56,48 | 77,88 | 3,77 | 71,50 | 3,15 | 51,12 | 11,20 |
| 16 | - | 65,80 | 74,04 | 3,46 | 63,64 | 4,62 | 54,22 | 8,68 |
| 17 | - | 66,93 | 71,15 | 3,85 | 51,44 | 4,85 | 53,15 | 8,84 |
| 18 | - | 70,13 | 73,08 | 3,54 | 49,14 | 5,08 | 53,32 | 8,71 |
| 19 | 1032 | 60,77 | 75,96 | 4,23 | 66,42 | 3,62 | 54,42 | 9,75 |
| 20 | - | 53,84 | 78,85 | 4,46 | 69,32 | 3,46 | 53,05 | 8,07 |
| 21 | 546 | 54,16 | 78,85 | 3,69 | 74,29 | 3,38 | 52,86 | 9,53 |
| 22 | 1096 | 63,92 | 77,88 | 3,23 | 64,50 | 4,00 | 52,19 | 9,21 |
| 23 | 1427 | 61,38 | 76,92 | 3,77 | 65,76 | 3,54 | 53,07 | 9,63 |
| 24 | - | 70,99 | 66,35 | 3,54 | 49,39 | 4,77 | 52,36 | 8,70 |
| 25 | - | 68,11 | 73,08 | 2,69 | 56,22 | 4,77 | 52,00 | 11,95 |
| 26 | 357 | 48,55 | 78,85 | 4,46 | 81,30 | 2,15 | 52,31 | 7,03 |
| 27 | 1049 | 63,41 | 76,92 | 3,77 | 65,16 | 4,23 | 52,52 | 12,10 |
| 28 | 876 | 62,62 | 76,92 | 3,54 | 57,42 | 4,69 | 55,14 | 6,78 |
| 29 | 1431 | 64,43 | 77,88 | 3,31 | 57,43 | 4,31 | 54,55 | 8,24 |
| 30 | 513 | 55,53 | 78,85 | 4,46 | 76,54 | 3,00 | 53,31 | 10,66 |
| Mejor | - | 47,65 | 78,85 | 4,69 | 85,45 | 1,92 | 55,14 | 6,17 |
| Media | - | 60,23 | 76,571 | 3,733 | 65,68033 | 3,846333 | 52,57 | 9,577333 |
| Desv. | - | 6,146681 | 3,034996 | 0,462371 | 8,88898 | 0,797342 | 1,317581 | 1,663409 |
| CV % | - | 10,20535 | 3,963637 | 12,38605 | 13,5337 | 20,72994 | 2,506337 | 17,36819 |

Tabla G.39. Resultados de 30 corridas del modelo de simulación bajo el escenario de la probabilidad de coordinación de 100%.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|---------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 1 | - | 69,33 | 74,04 | 1,00 | 56,07 | 5,31 | 56,24 | 5,12 |
| 2 | - | 63,22 | 74,04 | 1,15 | 62,04 | 5,69 | 57,28 | 5,40 |
| 3 | - | 73,33 | 66,35 | 0,85 | 47,35 | 5,46 | 57,31 | 4,90 |
| 4 | - | 69,46 | 74,04 | 1,08 | 53,51 | 4,92 | 58,07 | 5,29 |
| 5 | - | 72,25 | 66,35 | 0,92 | 51,43 | 5,15 | 57,60 | 4,48 |
| 6 | - | 76,16 | 58,65 | 0,77 | 47,68 | 5,38 | 58,09 | 5,49 |
| 7 | - | 74,54 | 74,04 | 0,92 | 43,27 | 6,08 | 57,79 | 4,31 |
| 8 | - | 69,60 | 66,35 | 0,92 | 53,90 | 5,38 | 56,34 | 4,84 |
| 9 | 1080 | 71,78 | 78,85 | 1,15 | 50,98 | 5,08 | 57,53 | 5,15 |
| 10 | - | 71,99 | 66,35 | 0,92 | 50,05 | 5,38 | 57,15 | 5,28 |
| 11 | - | 73,36 | 66,35 | 1,00 | 42,18 | 6,46 | 58,42 | 4,01 |
| 12 | - | 78,17 | 50,96 | 0,62 | 36,79 | 6,38 | 59,33 | 4,16 |
| 13 | 1039 | 70,07 | 78,85 | 1,23 | 46,69 | 5,85 | 56,12 | 6,69 |
| 14 | - | 69,71 | 66,35 | 0,85 | 52,85 | 5,77 | 58,31 | 4,71 |
| 15 | - | 74,70 | 52,88 | 0,69 | 44,08 | 6,46 | 58,47 | 4,79 |
| 16 | - | 68,29 | 74,04 | 1,00 | 54,97 | 5,38 | 57,82 | 4,93 |
| 17 | - | 74,27 | 66,35 | 0,85 | 47,42 | 5,69 | 56,29 | 5,42 |
| 18 | - | 70,45 | 66,35 | 1,00 | 50,42 | 5,62 | 55,52 | 5,39 |
| 19 | - | 72,19 | 66,35 | 0,92 | 49,42 | 5,77 | 58,57 | 5,34 |
| 20 | 560 | 68,60 | 78,85 | 1,15 | 54,80 | 5,15 | 57,21 | 5,30 |
| 21 | - | 76,30 | 52,88 | 0,69 | 38,87 | 6,15 | 59,27 | 3,97 |
| 22 | - | 73,10 | 66,35 | 0,85 | 47,12 | 5,46 | 58,09 | 5,14 |
| 23 | - | 71,00 | 66,35 | 0,85 | 52,08 | 5,15 | 57,48 | 5,28 |
| 24 | - | 70,44 | 66,35 | 1,00 | 53,29 | 5,46 | 56,00 | 5,21 |
| 25 | - | 68,11 | 74,04 | 1,08 | 53,61 | 5,46 | 56,92 | 5,34 |
| 26 | - | 67,57 | 66,35 | 0,92 | 61,60 | 4,77 | 56,28 | 6,68 |
| 27 | - | 68,89 | 74,04 | 1,08 | 52,54 | 5,62 | 55,85 | 5,76 |
| 28 | - | 68,53 | 66,35 | 1,00 | 54,38 | 4,77 | 56,54 | 5,85 |
| 29 | - | 74,66 | 66,35 | 0,92 | 50,75 | 5,08 | 56,35 | 4,91 |
| 30 | - | 69,98 | 66,35 | 0,92 | 51,91 | 5,46 | 57,77 | 4,98 |
| Mejor | - | 63,22 | 78,85 | 1,23 | 62,04 | 4,77 | 59,33 | 3,97 |
| Media | - | 71,335 | 67,72667 | 0,943333 | 50,40167 | 5,524667 | 57,33367 | 5,137333 |
| Desv. | - | 3,154919 | 7,155587 | 0,143415 | 5,677099 | 0,453026 | 1,01856 | 0,629022 |
| CV % | - | 4,422681 | 10,56539 | 15,20299 | 11,26371 | 8,200062 | 1,776549 | 12,24413 |

Con base en este procedimiento se ha logrado tomar las respuestas de los funcionarios entrevistados, respecto de los asuntos concernientes a las relaciones inter-

organizacionales a nivel local, y con ello se ha obtenido un valor global que cubija los distintos factores involucrados para representar la voluntad o propensión para trabajar coordinadamente o, en otras palabras, estimar la probabilidad de coordinación ($PC_i(t)$) que cada agente modelado tendrá como valor inicial en el MBA. Los valores de probabilidad de coordinación obtenidos en la última columna de la tabla E.14 equivalen a los presentados en la tabla 5.7 del capítulo 5, y representan los valores iniciales de la variable probabilidad de coordinación para el modelo de simulación MBA descrito y trabajado en los capítulos 6 y 7.

H. Anexo H: Análisis de sensibilidad del modelo de simulación

Como se describe en el capítulo 6, el análisis de sensibilidad del modelo se ha enfocado en cinco variables de entrada clave: las capacidades funcionales de los actores, los recursos individuales de los actores, los tiempos de ejecución de los procesos, el porcentaje de cumplimiento mínimo de los procesos, y la probabilidad de coordinación de los actores. La intención de este anexo es presentar datos y análisis complementarios a lo expuesto en el apartado respectivo del capítulo 6.

H.1 Efecto de las capacidades funcionales de los actores

Las capacidades funcionales de los actores han sido modificados de tal modo que han resultado en 10 escenarios propuestos y cuyas corridas realizadas han arrojado los datos mostrados en el anexo G. El resumen estadístico de estos datos se muestra en la tabla H.1.

Tabla H.1. Estadísticos generales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con las funciones asignadas a los actores.

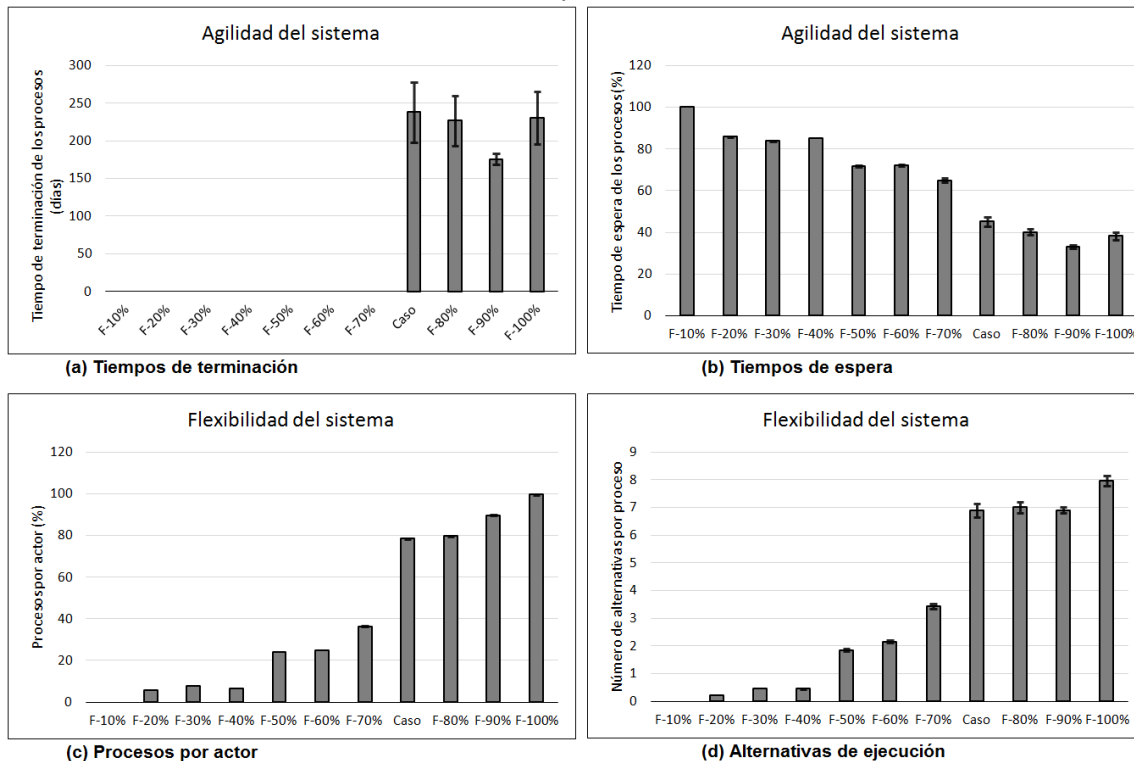
| Escenario | Tiempo de culminación de los procesos (<i>ticks</i>) | | | | % de espera de los procesos | | | | % de procesos por actor | | | | Número de alternativas por proceso | | | |
|--------------|--|-------|-----------|--------|-----------------------------|-------|-----------|--------|-------------------------|-------|-----------|--------|------------------------------------|-------|-----------|--------|
| | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) |
| Func. (10%) | - | - | - | - | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - |
| Func. (20%) | - | - | - | - | 84,27 | 85,77 | 0,74 | 0,87 | 5,77 | 5,77 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,23 | 0,00 | 0,00 |
| Func. (30%) | - | - | - | - | 82,17 | 83,78 | 0,72 | 0,86 | 7,69 | 7,69 | 0,00 | 0,00 | 0,46 | 0,46 | 0,00 | 0,00 |
| Func. (40%) | - | - | - | - | 85,20 | 85,29 | 0,06 | 0,07 | 6,73 | 6,73 | 0,00 | 0,00 | 0,46 | 0,45 | 0,02 | 5,40 |
| Func. (50%) | - | - | - | - | 69,42 | 71,89 | 1,01 | 1,41 | 24,04 | 24,04 | 0,00 | 0,00 | 2,15 | 1,86 | 0,13 | 7,27 |
| Func. (60%) | - | - | - | - | 69,78 | 72,18 | 0,97 | 1,35 | 25,00 | 25,00 | 0,00 | 0,00 | 2,46 | 2,16 | 0,15 | 7,13 |
| Func. (70%) | - | - | - | - | 61,08 | 65,02 | 2,38 | 3,66 | 36,54 | 36,41 | 0,33 | 0,91 | 3,92 | 3,43 | 0,22 | 6,55 |
| Func. (80%) | 144 | 226,7 | 88,78 | 39,15 | 31,63 | 40,14 | 3,71 | 9,24 | 79,81 | 79,68 | 0,33 | 0,42 | 8,15 | 7,01 | 0,55 | 7,79 |
| Func. (90%) | 119 | 175,7 | 19,40 | 11,04 | 28,36 | 33,08 | 2,55 | 7,70 | 90,38 | 89,74 | 0,92 | 1,03 | 7,31 | 6,91 | 0,26 | 3,83 |
| Func. (100%) | 134 | 230,1 | 93,44 | 40,60 | 29,50 | 38,33 | 4,76 | 12,42 | 100,0 | 99,58 | 0,65 | 0,65 | 8,92 | 7,96 | 0,50 | 6,23 |
| Escen. base | 129 | 238,0 | 107,1 | 45,00 | 32,98 | 45,16 | 6,25 | 13,84 | 78,85 | 78,43 | 0,70 | 0,90 | 8,23 | 6,89 | 0,66 | 9,60 |

Tabla H.1. Continuación.

| Escenario | Tasa de cumplimiento global (%) | | | | Número de incumplimientos promedio | | | | % de utilización de los recursos | | | | % de tiempo en desocupación | | | |
|--------------|---------------------------------|-------|-----------|--------|------------------------------------|-------|-----------|--------|----------------------------------|-------|-----------|--------|-----------------------------|-------|-----------|--------|
| | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) |
| Func. (10%) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | 11,38 | 11,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| Func. (20%) | 16,2 | 15,05 | 0,67 | 4,45 | 7,62 | 7,98 | 0,22 | 2,73 | 14,25 | 13,69 | 0,25 | 1,81 | 76,94 | 77,93 | 0,42 | 0,54 |
| Func. (30%) | 18,7 | 17,30 | 0,75 | 4,31 | 6,69 | 7,20 | 0,25 | 3,47 | 18,74 | 17,46 | 0,64 | 3,67 | 73,37 | 74,61 | 0,72 | 0,96 |
| Func. (40%) | 13,2 | 13,20 | 0,05 | 0,36 | 6,15 | 6,48 | 0,18 | 2,78 | 16,13 | 14,76 | 0,67 | 4,52 | 74,09 | 76,37 | 1,10 | 1,44 |
| Func. (50%) | 41,3 | 41,07 | 0,18 | 0,45 | 3,77 | 4,12 | 0,20 | 4,83 | 31,33 | 29,63 | 1,07 | 3,60 | 51,26 | 53,93 | 1,69 | 3,13 |
| Func. (60%) | 41,9 | 41,24 | 0,60 | 1,44 | 3,85 | 4,09 | 0,18 | 4,28 | 34,80 | 31,56 | 1,40 | 4,43 | 44,86 | 49,46 | 2,15 | 4,35 |
| Func. (70%) | 48,6 | 47,22 | 0,86 | 1,83 | 3,46 | 3,77 | 0,22 | 5,78 | 38,74 | 36,62 | 1,47 | 4,01 | 28,57 | 34,28 | 2,90 | 8,46 |
| Func. (80%) | 89,9 | 85,71 | 3,58 | 4,17 | 0,85 | 1,50 | 0,45 | 29,79 | 46,01 | 43,64 | 1,39 | 3,18 | 16,03 | 19,38 | 1,67 | 8,62 |
| Func. (90%) | 90,5 | 88,38 | 1,05 | 1,19 | 0,77 | 1,15 | 0,20 | 17,47 | 46,22 | 43,52 | 1,36 | 3,12 | 15,76 | 20,13 | 1,93 | 9,61 |
| Func. (100%) | 91 | 86,61 | 3,29 | 3,80 | 0,92 | 1,68 | 0,51 | 30,19 | 51,73 | 48,56 | 1,24 | 2,56 | 9,30 | 12,99 | 2,31 | 17,7 |
| Escen. base | 88,9 | 81,84 | 4,64 | 5,67 | 0,77 | 1,92 | 0,65 | 33,88 | 51,63 | 47,26 | 1,82 | 3,86 | 11,39 | 15,29 | 2,36 | 15,4 |

La información relacionada a las corridas de simulación frente a estos escenarios se complementa con lo presentado seguidamente en las figuras H.1 y H.2.

Figura H.1. Indicadores de agilidad y flexibilidad para las variaciones de las funciones de los actores locales. Resultados para 30 corridas de simulación.

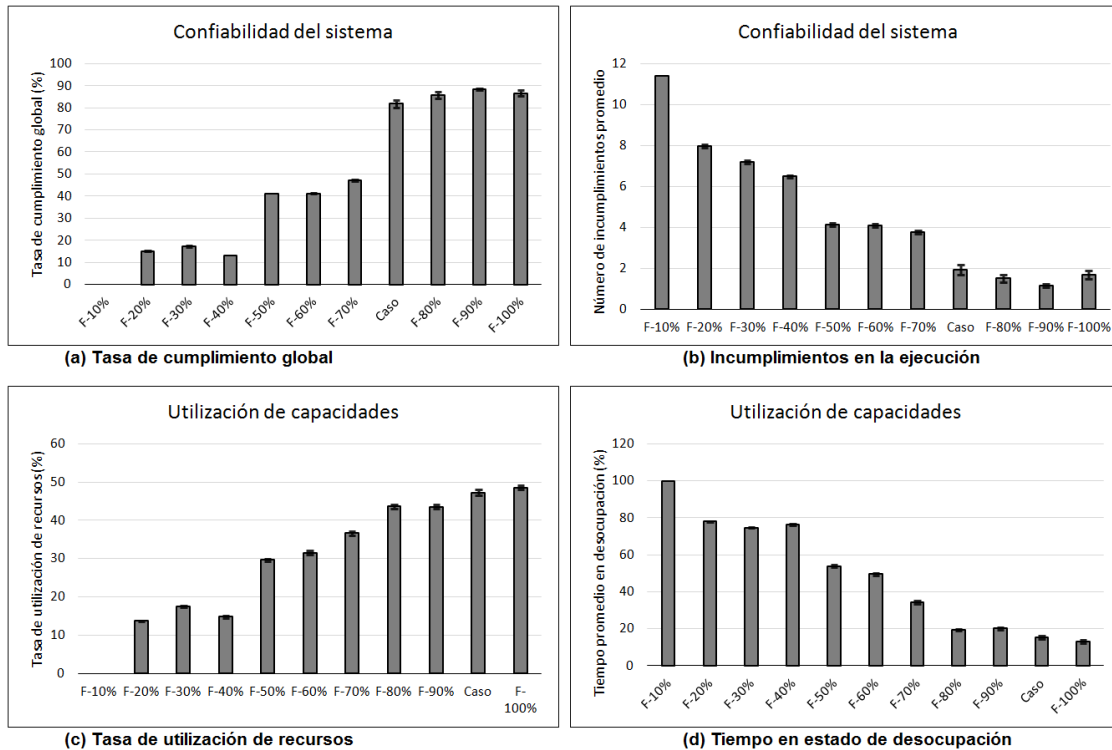


Las barras que comprenden las gráficas representan los promedios obtenidos de las 30 corridas realizadas en el modelo de simulación para cada escenario propuesto. Además, cada promedio está acompañado por su respectivo intervalo de confianza (IC), el cual se

ha asumido según lo trabajado en Basak y Gupta (2017), con un nivel de confianza del 95% (prueba de dos colas con $\alpha = 0,05$), y que se calculó con base en la ecuación (H.1).

$$IC = \bar{x} \pm t_{(1-\alpha/2;gl)} \times S / \sqrt{n}, \quad \text{con } gl = n - 1 \quad (H.1)$$

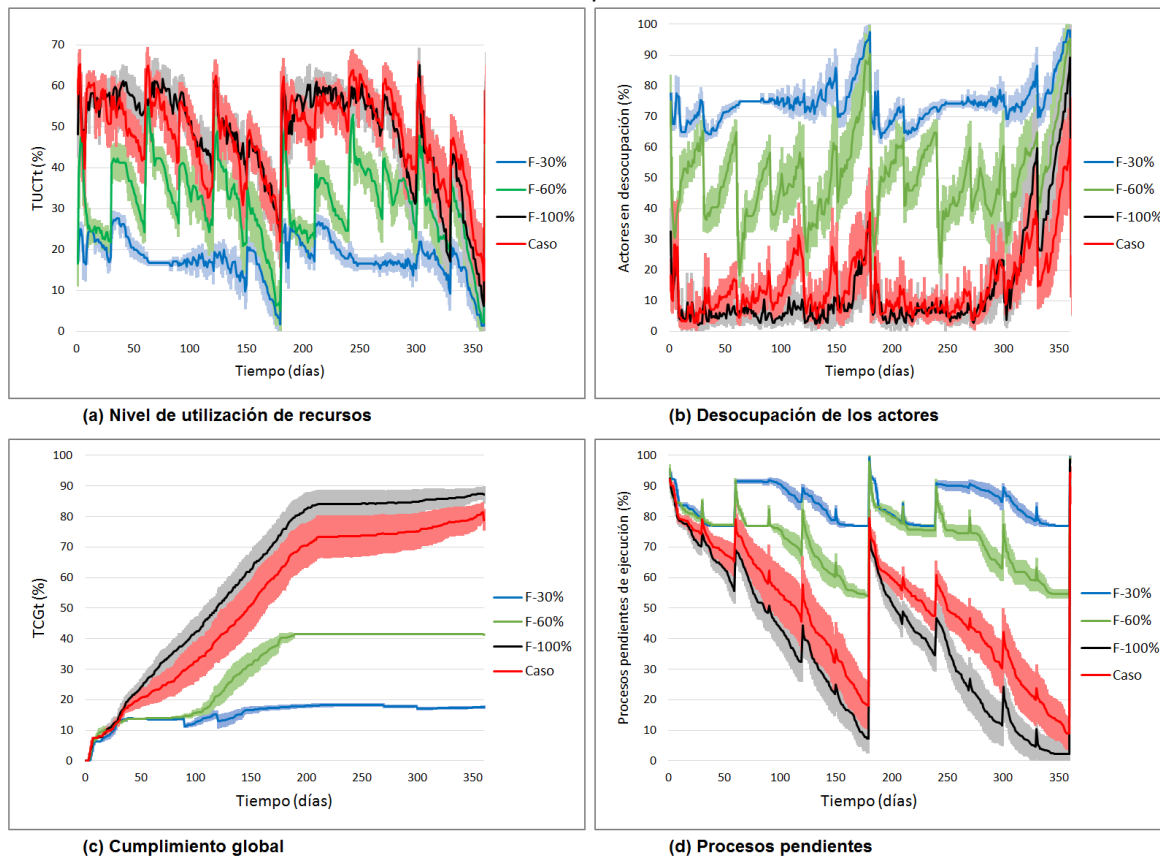
Figura H.2. Indicadores de confiabilidad y aprovechamiento de recursos para las variaciones de las funciones de los actores locales. Resultados para 30 corridas de simulación.



El modelo simulado logra dar cobertura y cumplimiento a la totalidad de los procesos de preparación cuando las funciones de los actores involucrados son altas (figura H.1a), es decir, si los actores tienen asignadas más funciones dentro del sistema de preparación. En términos globales, el desempeño del sistema mejora al incrementarse las funciones de los actores, relacionado con los menores incumplimientos (figura H.2b), mejor utilización de los recursos disponibles (figura H.2c y H.2d), al igual que una mayor flexibilidad del sistema (figura H.1c y H.1d). Como insumo complementario a la información presentada, el modelo ha sido programado de tal forma que exporta también datos de indicadores de desempeño, comportamiento y estado del sistema en el transcurso de la corrida de simulación. Ello permite construir series temporales como las mostradas en la figura H.3. Para este caso, se ha registrado el nivel promedio de los actores respecto de su nivel de utilización de los recursos individuales (figura H.3a), el nivel de desocupación de los actores locales, o tiempo ocioso (figura H.3b), el nivel de cumplimiento global de los procesos de preparación abordados (figura H.3c), y el porcentaje de procesos que permanecen en estado pendiente en el sistema (figura H.3d). Para la elaboración de estos gráficos, se representa en cada figura las 30 corridas realizadas según los escenarios propuestos, junto con sus

respectivos intervalos de confianza (calculadas a partir de la ecuación (H.1)) en cada punto del tiempo. Como se observa, se toman cuatro escenarios representativos en cada caso (funciones al 30%, 60%, 100%, y los datos originales del caso real) y se presentan los resultados obtenidos para los primeros 360 *ticks* de la simulación, lo cual busca representar el transcurso de un año real.

Figura H.3. Series de tiempo para los escenarios propuestos según las funciones de entrada de los actores locales. Resultados para 30 corridas de simulación.



De la figura H.3 se observa algunos elementos interesantes como los siguientes: cuando los actores poseen bajos niveles de funciones asignadas para cumplir los procesos (esto es, 60% en promedio por actor, o menos) el nivel de utilización de recursos es bajo, así como la alta desocupación de los actores, pues su libertad de participación en los procesos se ve restringida. Contrario sucede cuando las funciones asignadas y permitidas a los actores son altas. Inclusive el comportamiento del caso estudiado no resulta significativamente distinto del escenario del 100% de funciones para los actores involucrados (ver figuras H.3a y H.3b).

Por otra parte, en lo que respecta a las coberturas ofrecidas a los procesos de preparación, se observa un comportamiento similar a los aspectos anteriores, dado que las funciones asignadas de los actores, cuando estas son bajas, se logran niveles de cumplimiento global

que apenas llegan al 40%, con unos niveles promedio de porcentaje de procesos pendientes que superan el 60%. A su vez, los niveles altos de funciones asignadas a los actores, como ocurre en los escenarios del 100% y de los datos iniciales del caso real (ver figuras H.3c y H.3d), logran niveles de cumplimiento global de los procesos que llegan hasta el 80%, con un crecimiento sostenido en el tiempo, mientras que la cantidad de procesos en estado pendiente bajan de un modo considerable y significativamente, respecto de los casos donde las funciones de los actores puedan ser más restringidas.

H.2 Efecto de los recursos disponibles de los actores

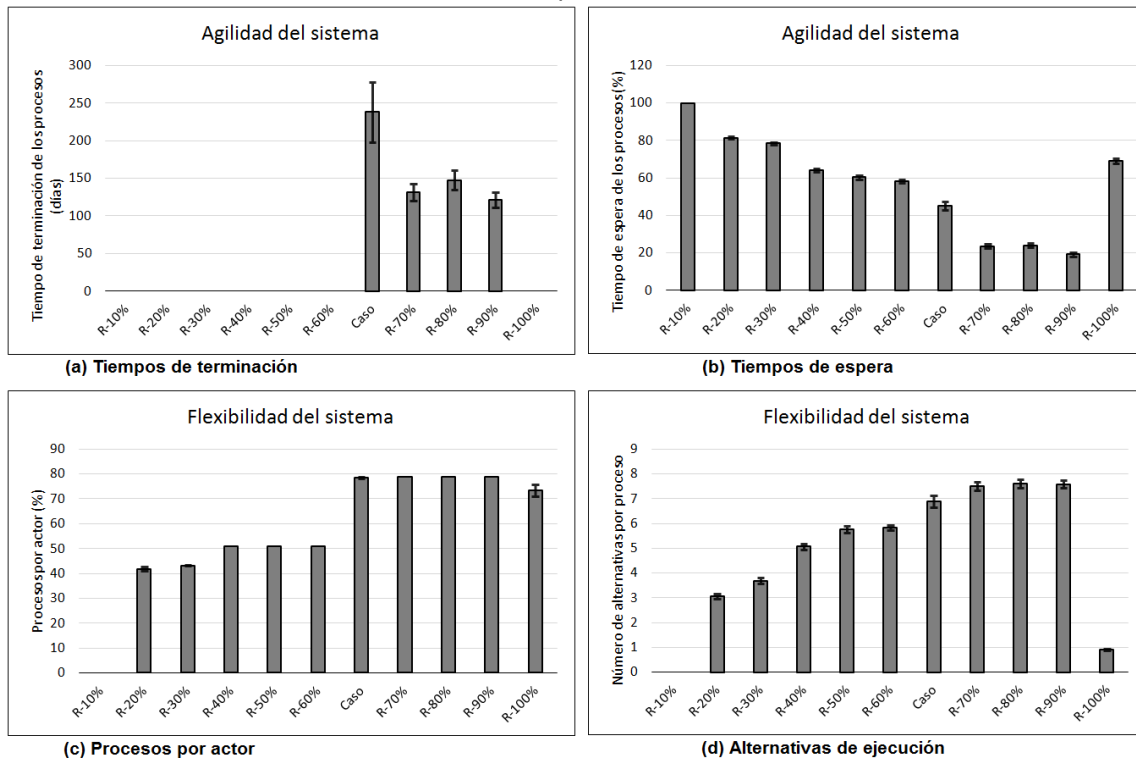
Con los diez escenarios dispuestos para los recursos disponibles de los actores locales modelados, las corridas realizadas para cada escenario se han sintetizado en estadísticos de referencia según se muestra en la tabla H.2, que complementa la información suministrada en el capítulo 6. Igualmente, los efectos identificados en el sistema modelado se vislumbran también en las figuras H.4 y H.5, que han sido elaboradas en función de los distintos indicadores de desempeño para los escenarios que aquí se discuten.

Tabla H.2. Estadísticos generales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con los recursos disponibles de los actores.

| Escenario | Tiempo de culminación de los procesos (ticks) | | | | % de espera de los procesos | | | | % de procesos por actor | | | | Número de alternativas por proceso | | | |
|---------------|---|-------|-----------|--------|------------------------------------|-------|-----------|--------|----------------------------------|-------|-----------|--------|------------------------------------|-------|-----------|--------|
| | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) |
| Recur. (10%) | - | - | - | - | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - |
| Recur. (20%) | - | - | - | - | 77,70 | 81,43 | 1,44 | 1,77 | 43,27 | 41,86 | 2,25 | 5,39 | 3,77 | 3,06 | 0,28 | 9,14 |
| Recur. (30%) | - | - | - | - | 75,32 | 78,48 | 1,66 | 2,11 | 43,27 | 43,14 | 0,42 | 0,97 | 4,31 | 3,68 | 0,32 | 8,67 |
| Recur. (40%) | - | - | - | - | 60,63 | 64,27 | 2,44 | 3,79 | 50,96 | 50,96 | 0,00 | 0,00 | 6,00 | 5,06 | 0,35 | 6,97 |
| Recur. (50%) | - | - | - | - | 53,85 | 60,29 | 3,08 | 5,11 | 50,96 | 50,96 | 0,00 | 0,00 | 6,46 | 5,76 | 0,37 | 6,44 |
| Recur. (60%) | - | - | - | - | 54,81 | 58,30 | 2,57 | 4,41 | 50,96 | 50,96 | 0,00 | 0,00 | 6,54 | 5,83 | 0,31 | 5,32 |
| Recur. (70%) | 88 | 131,5 | 30,26 | 23,01 | 17,25 | 23,60 | 3,04 | 12,89 | 78,85 | 78,85 | 0,00 | 0,00 | 8,31 | 7,51 | 0,43 | 5,69 |
| Recur. (80%) | 99 | 147,4 | 34,60 | 23,46 | 16,99 | 24,04 | 3,25 | 13,51 | 78,85 | 78,82 | 0,18 | 0,22 | 8,62 | 7,60 | 0,45 | 5,94 |
| Recur. (90%) | 74 | 121,5 | 26,68 | 21,96 | 15,33 | 19,19 | 3,44 | 17,92 | 78,85 | 78,85 | 0,00 | 0,00 | 8,54 | 7,58 | 0,41 | 5,45 |
| Recur. (100%) | - | - | - | - | 62,86 | 68,96 | 3,38 | 4,89 | 78,85 | 73,40 | 6,46 | 8,81 | 1,00 | 0,92 | 0,08 | 9,01 |
| Escen. base | 129 | 238 | 107,1 | 45,00 | 32,98 | 45,16 | 6,25 | 13,84 | 78,85 | 78,43 | 0,70 | 0,90 | 8,23 | 6,89 | 0,66 | 9,60 |
| Escenario | Tasa de cumplimiento global (%) | | | | Número de incumplimientos promedio | | | | % de utilización de los recursos | | | | % de tiempo en desocupación | | | |
| | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) |
| Recur. (10%) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | 11,38 | 11,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| Recur. (20%) | 32,1 | 25,97 | 2,61 | 10,06 | 6,54 | 7,29 | 0,36 | 4,96 | 40,23 | 37,63 | 1,14 | 3,02 | 19,20 | 23,35 | 2,28 | 9,76 |
| Recur. (30%) | 33,0 | 29,71 | 1,98 | 6,68 | 6,38 | 6,77 | 0,26 | 3,82 | 45,44 | 41,89 | 1,48 | 3,53 | 16,86 | 23,24 | 2,70 | 11,61 |
| Recur. (40%) | 56,0 | 51,42 | 2,06 | 4,00 | 2,85 | 3,87 | 0,41 | 10,71 | 44,23 | 41,56 | 1,30 | 3,12 | 16,90 | 21,25 | 2,24 | 10,52 |
| Recur. (50%) | 55,8 | 54,42 | 1,40 | 2,58 | 2,77 | 3,27 | 0,37 | 11,36 | 41,59 | 39,75 | 1,20 | 3,01 | 20,06 | 24,11 | 2,02 | 8,39 |
| Recur. (60%) | 56,3 | 54,94 | 0,88 | 1,61 | 2,69 | 3,07 | 0,21 | 6,72 | 40,38 | 38,19 | 1,67 | 4,38 | 19,17 | 24,64 | 3,18 | 12,93 |
| Recur. (70%) | 93,1 | 91,69 | 1,15 | 1,25 | 0,38 | 0,68 | 0,22 | 31,76 | 43,27 | 40,04 | 1,56 | 3,90 | 18,03 | 21,94 | 2,60 | 11,83 |
| Recur. (80%) | 94,0 | 92,78 | 0,74 | 0,80 | 0,31 | 0,64 | 0,17 | 26,52 | 41,20 | 37,95 | 2,00 | 5,28 | 17,69 | 22,66 | 2,53 | 11,14 |
| Recur. (90%) | 95,4 | 93,49 | 0,88 | 0,94 | 0,23 | 0,53 | 0,23 | 43,63 | 41,44 | 38,70 | 1,72 | 4,44 | 18,08 | 23,69 | 2,58 | 10,88 |
| Recur. (100%) | 73,9 | 60,86 | 7,29 | 11,98 | 4,23 | 5,12 | 0,48 | 9,30 | 50,62 | 49,67 | 0,71 | 1,44 | 3,99 | 4,88 | 0,59 | 12,09 |
| Escen. base | 88,9 | 81,84 | 4,64 | 5,67 | 0,77 | 1,92 | 0,65 | 33,88 | 51,63 | 47,26 | 1,82 | 3,86 | 11,39 | 15,29 | 2,36 | 15,45 |

En la figura H.4 se manifiesta la fuerte influencia de los recursos sobre la posibilidad de atender y cumplir con todos los procesos de preparación considerados (figura H.4a), puesto que tan solo en tres de los diez escenarios hipotéticos sugeridos se logra cubrir los requerimientos de todos los procesos durante la simulación. Las mejoras sostenidas en otros indicadores de agilidad (como en los tiempos de espera), y en términos de la flexibilidad (como en el número de procesos por actor y alternativas encontradas por proceso), se colman cuando los recursos dispuestos para los actores son totales, es decir, cuando todos los actores poseen recursos de todos los tipos posibles en el sistema planteado. Este fenómeno se advierte y se refuerza con la figura H.5.

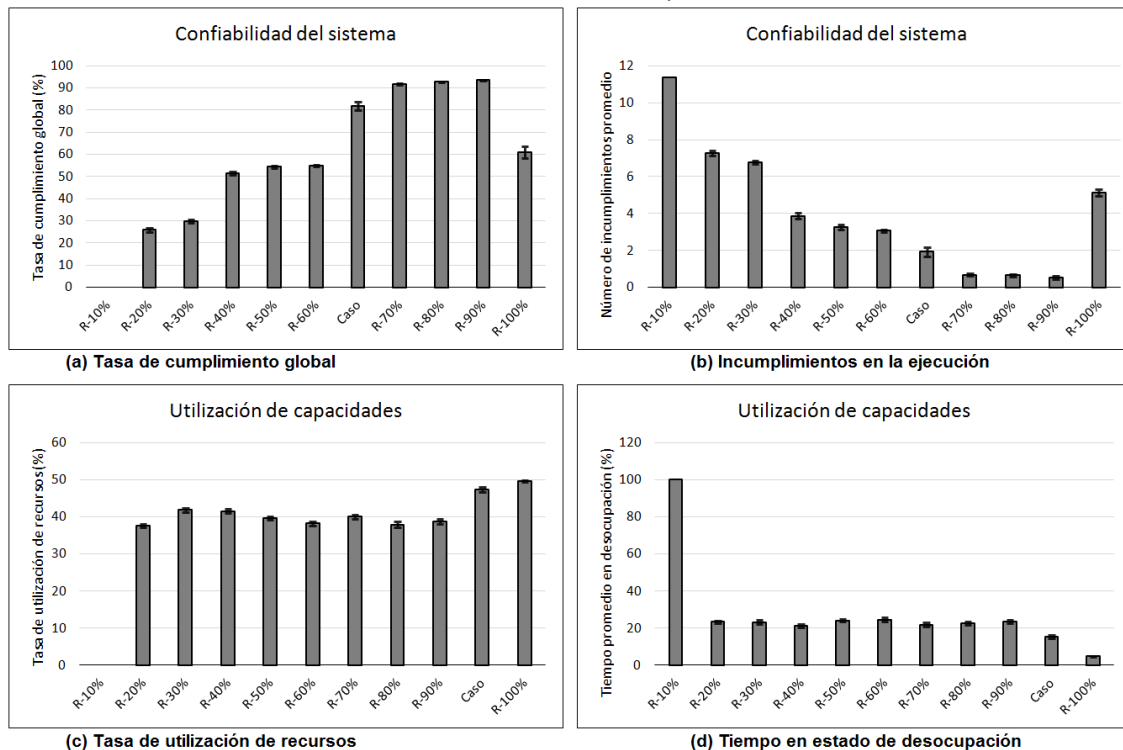
Figura H.4. Indicadores de agilidad y flexibilidad para las variaciones de los recursos de los actores locales. Resultados para 30 corridas de simulación.



El efecto del 100% de los recursos mencionados antes, se repite para los indicadores relacionados con la confiabilidad del sistema, tanto para el cumplimiento global de los procesos (figura H.5a) como para el incumplimiento promedio obtenido (figura H.5b). Esta condición inesperada se presenta debido a que los actores, en la intención de participar activamente en el cumplimiento de los procesos de mayor prioridad, dirigen todos los esfuerzos y recursos posibles a estos procesos, ocupan sus recursos y esto produce un abandono no intencionado, pero resultante, al fin y al cabo, de los demás procesos que perduran como pendientes en el sistema y así transcurre durante toda la simulación. Es este el resultado global manifestado, pese a que, desde una perspectiva netamente individual, los actores parezcan estar haciendo un buen uso de sus recursos individuales

cuando están en ocupación (figura H.5c) y los mismos actores muestran tener un mínimo porcentaje de desocupación entre sí (figura H.5d). Más adelante se presenta la figura H.6 con las series temporales construidas a partir de las corridas realizadas en los escenarios propuestos, asumiendo en ellas también los intervalos de confianza respectivos.

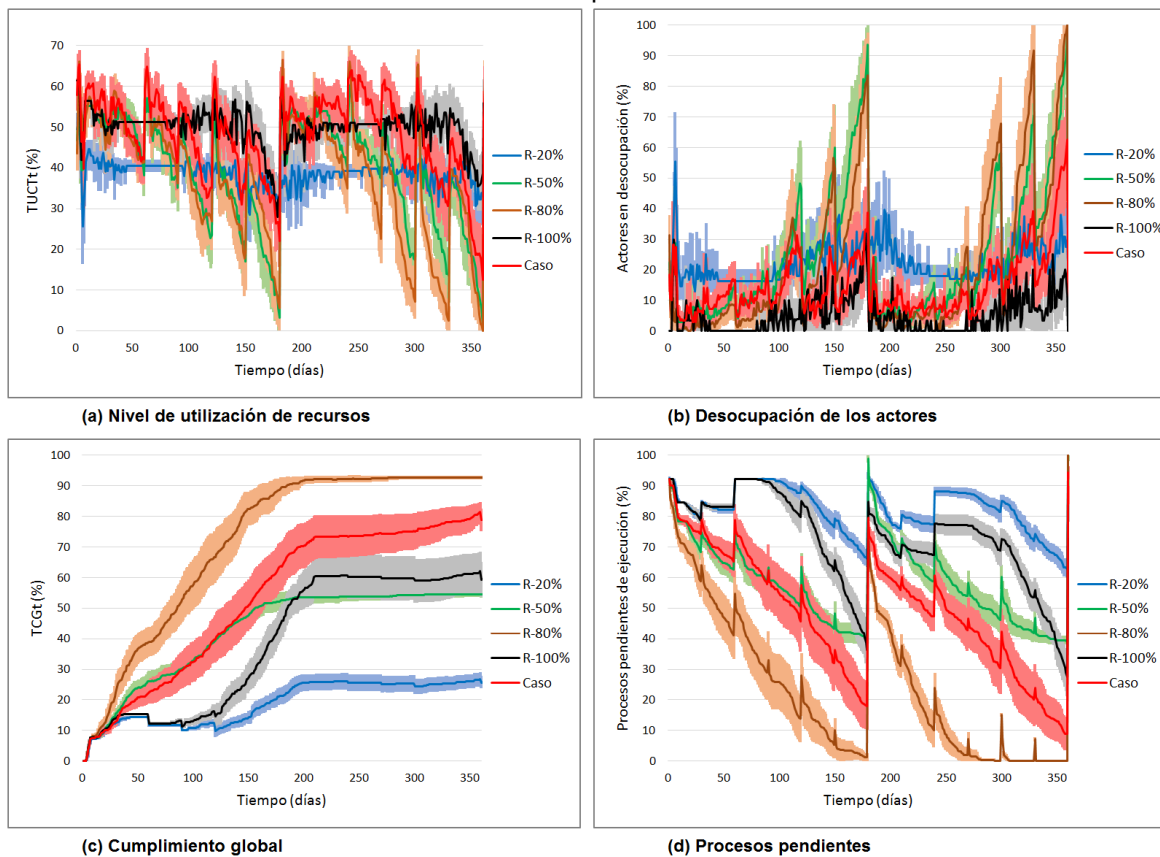
Figura H.5. Indicadores de confiabilidad y aprovechamiento de recursos para las variaciones de los recursos de los actores locales. Resultados para 30 corridas de simulación.



Los gráficos presentados en la figura H.6 ofrecen una perspectiva adicional de los efectos generados en el sistema cuando todos los actores participantes poseen individualmente absolutamente todos los recursos físicos posibles. Así, en las figuras H.6a y H.6b, el escenario de recursos del 100% para los actores ofrece resultados muy competitivos respecto de la utilización de sus respectivos recursos, así como su mínimo nivel de desocupación, lo cual permitiría suponer que su desempeño conjunto y la dinámica global del mismo sistema se comporten consecuentemente. No obstante, la respuesta contraintuitiva del sistema se refleja en el bajo cumplimiento de los procesos de preparación previstos por abarcar. De hecho, como se observa en la figura H.6c, el cumplimiento global de los procesos cuando las organizaciones poseen todos los tipos de recursos físicos posibles es comparable al comportamiento del sistema cuando los actores poseen en promedio el 50% de los recursos disponibles. En concordancia con lo expresado antes, la cantidad de procesos en estado pendiente por ejecutar, en el escenario del 100%, apenas mejora respecto del escenario del 20% (ver figura H.6d), mientras que, respecto de los demás escenarios considerados en el gráfico, posee el peor desempeño. En consecuencia, y con base en lo descrito, el modelo basado en agentes es sensible al factor de los recursos iniciales de los actores, empero, y además, su sensibilidad se exagera

cuando estas variables representan situaciones extremas, en las que tanto la escasez de recursos de parte de los actores, como la excesiva disponibilidad de los recursos que posean los actores locales involucrados, afectan negativamente el comportamiento y desempeño general del sistema de preparación.

Figura H.6. Series de tiempo para los escenarios propuestos según los recursos individuales de los actores locales. Resultados para 30 corridas de simulación.



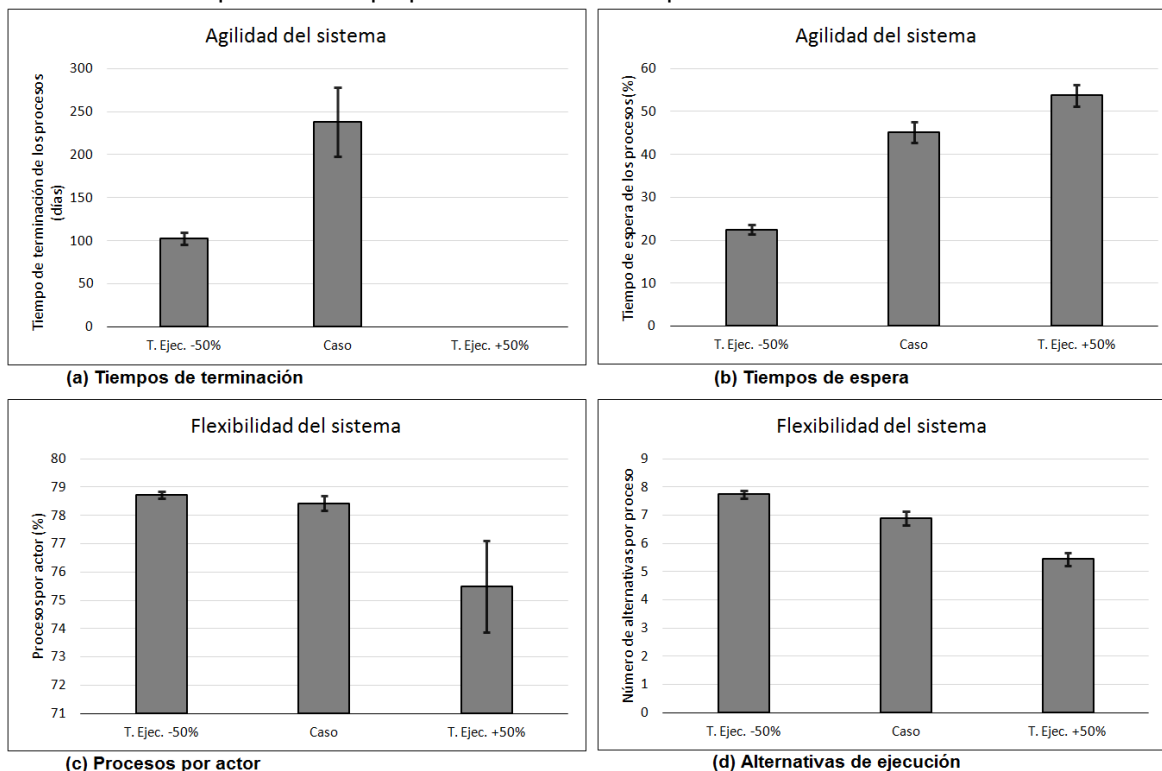
H.3 Efecto de los tiempos de ejecución de los procesos

Como se describe en el sexto capítulo, los tiempos de ejecución de los procesos han sido modificados a fin de caracterizar la sensibilidad del modelo de simulación frente a esta variable de entrada. Las 30 corridas ejecutadas por cada escenario propuesto arrojan los datos mostrados en el anexo G, y sus respectivos estadísticos de resumen se muestran seguidamente en la tabla H.3. Estos resultados se complementan con las figuras H.7 y H.8 que aparecen más adelante.

Tabla H.3. Estadísticos generales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con los tiempos de ejecución de los procesos.

| Escenario | Tiempo de culminación de los procesos (ticks) | | | | % de espera de los procesos | | | | % de procesos por actor | | | | Número de alternativas por proceso | | | |
|-----------------|---|-------|-----------|--------|------------------------------------|-------|-----------|--------|----------------------------------|-------|-----------|--------|------------------------------------|-------|-----------|--------|
| | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) |
| T. Ejec. (-50%) | 66 | 102,5 | 19,55 | 19,06 | 17,31 | 22,49 | 2,81 | 12,51 | 78,85 | 78,72 | 0,34 | 0,43 | 8,54 | 7,74 | 0,35 | 4,49 |
| T. Ejec. (+50%) | - | - | - | - | 42,37 | 53,79 | 6,80 | 12,64 | 78,85 | 75,48 | 4,34 | 5,75 | 6,31 | 5,44 | 0,60 | 10,99 |
| Escen. base | 129 | 238 | 107,1 | 45,00 | 32,98 | 45,16 | 6,25 | 13,84 | 78,85 | 78,43 | 0,70 | 0,90 | 8,23 | 6,89 | 0,66 | 9,60 |
| Escenario | Tasa de cumplimiento global (%) | | | | Número de incumplimientos promedio | | | | % de utilización de los recursos | | | | % de tiempo en desocupación | | | |
| | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) |
| T. Ejec. (-50%) | 91,6 | 90,43 | 0,79 | 0,87 | 0,00 | 0,06 | 0,06 | 110,8 | 32,31 | 29,46 | 1,28 | 4,35 | 39,12 | 44,97 | 2,47 | 5,48 |
| T. Ejec. (+50%) | 85,5 | 64,47 | 11,25 | 17,44 | 2,85 | 4,26 | 0,79 | 18,60 | 55,69 | 52,70 | 1,52 | 2,89 | 6,11 | 9,07 | 1,63 | 17,93 |
| Escen. base | 88,9 | 81,84 | 4,64 | 5,67 | 0,77 | 1,92 | 0,65 | 33,88 | 51,63 | 47,26 | 1,82 | 3,86 | 11,39 | 15,29 | 2,36 | 15,45 |

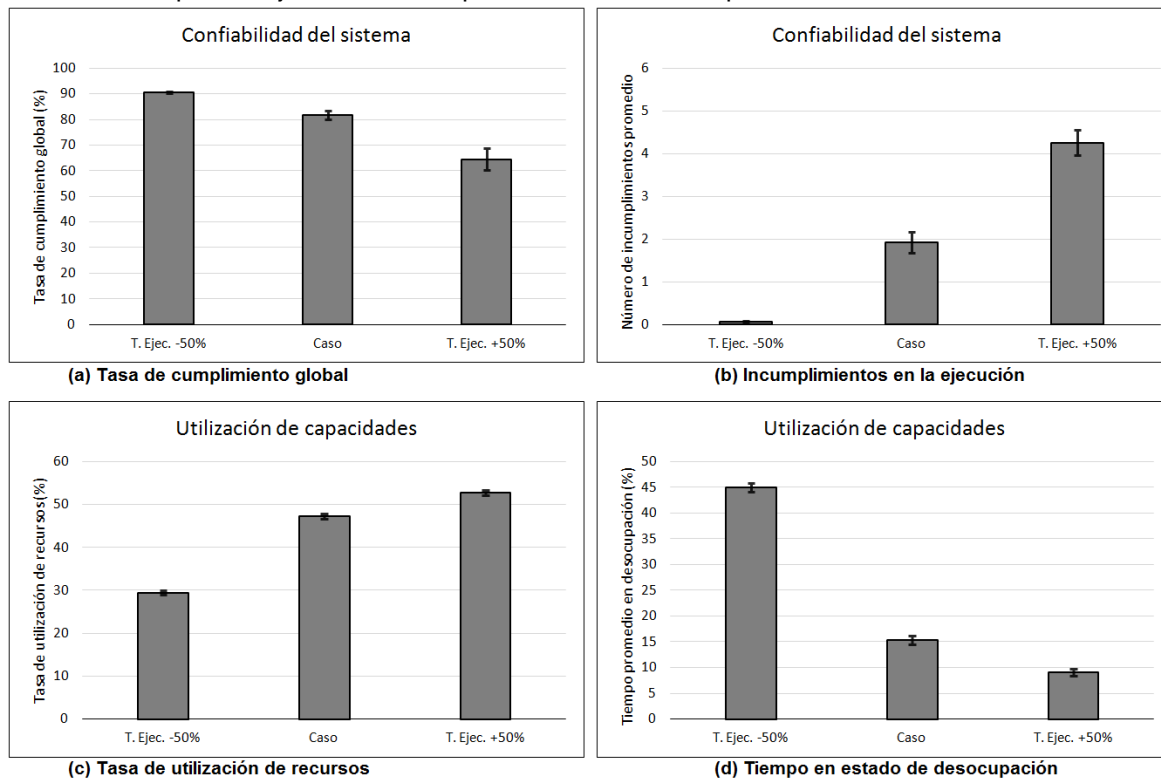
Figura H.7. Indicadores de agilidad y flexibilidad para las variaciones de los tiempos de ejecución de los procesos de preparación. Resultados para 30 corridas de simulación.



Los resultados de las corridas del modelo muestran cómo en los aspectos de agilidad y flexibilidad del sistema, los actores parecen comportarse de un modo intuitivo de manera que los indicadores son concordantes con lo esperado. En la figura H.7a se ve, por ejemplo, que con un incremento del 50% de los tiempos de ejecución de los procesos, los actores no alcanzan a abordar todos los procesos en el transcurso del periodo simulado. En cuanto al cumplimiento, el mejor escenario propuesto en el estudio es el correspondiente a los menores tiempos de ejecución, en donde se llega a obtener un incumplimiento promedio cercano a cero (figura H.8b). No obstante, se reitera lo

comentado anteriormente: al reducirse los tiempos de ejecución, la premura en el cumplimiento y la agilidad demostrada por los actores produce una ociosidad general para estos agentes y una subutilización de los recursos disponibles por estos (figuras H.8c y H.8d). En la figura H.9 se comparten las series de tiempo construidas con base en los datos exportados del modelo para los primeros 360 *ticks* –o días– de simulación.

Figura H.8. Indicadores de confiabilidad y aprovechamiento de recursos para las variaciones de los tiempos de ejecución de los procesos. Resultados para 30 corridas de simulación.

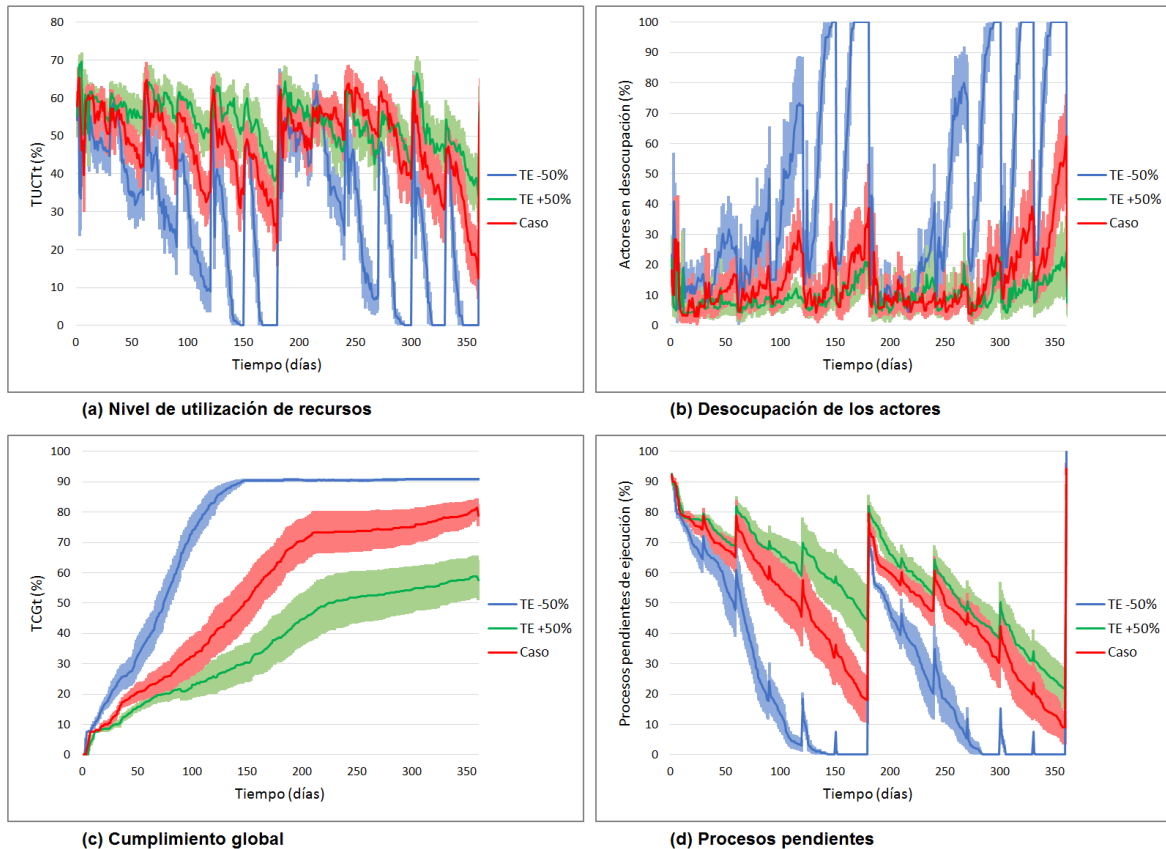


En lo que respecta a las series temporales se observa, en primer lugar, que no hay diferencias significativas en el nivel de utilización de recursos por parte de los actores para el caso de incremento de los tiempos frente al caso base modelado (ver figura H.9a), mientras que la diferencia se manifiesta en el escenario con los menores tiempos de ejecución. Igual ocurre con la desocupación de los actores (figura H.9b), donde el escenario con los tiempos reducidos causa el incremento de desocupación a causa del rápido cumplimiento ofrecido por los actores, al abordar procesos que se pueden ejecutar más rápidamente.

Sobre los cumplimientos globales, los resultados pueden ser considerados como intuitivos, pues al tener mayores tiempos de ejecución, como se observa en las series de la figura H.9c, se evidencian menores tasas de cumplimiento, mientras que, al considerar menores tiempos de ejecución y por tanto más agilidad en el cumplimiento, el indicador global de desempeño presenta mejor comportamiento. Por último, la tasa de procesos pendientes

también se ve favorecida con menores tiempos de ejecución (ver figura H.9d), mientras que los escenarios del caso base y de los tiempos incrementados en 50% no logran evidenciar diferencia significativa. En consecuencia, y con lo manifestado en estos párrafos, el modelo resulta ser sensible a la variable tiempos de ejecución de los procesos y, también, presenta comportamientos esperados de acuerdo con los indicadores propuestos y medidos en este estudio.

Figura H.9. Series de tiempo para los escenarios propuestos según los tiempos de ejecución de los procesos de preparación. Resultados para 30 corridas de simulación.



H.4 Efecto del nivel de cumplimiento mínimo de los procesos de preparación

En la tabla H.4, que se muestra en seguida, se presenta la información consolidada de las 30 réplicas realizadas en el modelo para cada escenario diseñado en función de los porcentajes de mínimo cumplimiento para los procesos. Se observa allí los efectos negativos e incrementales suscitados por elevar el criterio de ejecución. Complementariamente, se han elaborado las figuras H.10 y H.11 que muestran los comportamientos observados en los indicadores de desempeño del sistema.

Tabla H.4. Estadísticos generales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con el porcentaje mínimo de cumplimiento de los procesos.

| Escenario | Tiempo de culminación de los procesos (ticks) | | | | % de espera de los procesos | | | | % de procesos por actor | | | | Número de alternativas por proceso | | | |
|----------------|---|-------|-----------|--------|-----------------------------|-------|-----------|--------|-------------------------|-------|-----------|--------|------------------------------------|-------|-----------|--------|
| | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) |
| % Cump. (50%) | 89 | 141,0 | 28,57 | 20,26 | 12,49 | 19,08 | 3,54 | 18,57 | 78,85 | 78,72 | 0,34 | 0,43 | 8,85 | 8,02 | 0,40 | 5,01 |
| % Cump. (60%) | 89 | 158,5 | 36,96 | 23,31 | 14,36 | 22,85 | 4,42 | 19,35 | 78,85 | 78,69 | 0,45 | 0,57 | 8,46 | 7,85 | 0,38 | 4,88 |
| % Cump. (70%) | 118 | 164,3 | 30,49 | 18,55 | 25,43 | 32,72 | 4,44 | 13,58 | 78,85 | 78,69 | 0,45 | 0,57 | 8,08 | 7,38 | 0,36 | 4,93 |
| % Cump. (90%) | - | - | - | - | 79,39 | 80,89 | 0,99 | 1,22 | 23,08 | 23,08 | 0,00 | 0,00 | 3,85 | 3,49 | 0,28 | 8,04 |
| % Cump. (100%) | - | - | - | - | 83,02 | 84,70 | 0,59 | 0,69 | 23,08 | 23,08 | 0,00 | 0,00 | 2,92 | 2,44 | 0,21 | 8,66 |
| Escen. base | 129 | 238 | 107,1 | 45,00 | 32,98 | 45,16 | 6,25 | 13,84 | 78,85 | 78,43 | 0,70 | 0,90 | 8,23 | 6,89 | 0,66 | 9,60 |

| Escenario | Tasa de cumplimiento global (%) | | | | Número de incumplimientos promedio | | | | % de utilización de los recursos | | | | % de tiempo en desocupación | | | |
|----------------|---------------------------------|-------|-----------|--------|------------------------------------|-------|-----------|--------|----------------------------------|-------|-----------|--------|-----------------------------|-------|-----------|--------|
| | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) |
| % Cump. (50%) | 74,8 | 71,34 | 1,64 | 2,30 | 0,46 | 1,00 | 0,24 | 23,84 | 47,55 | 43,66 | 2,29 | 5,25 | 18,39 | 20,91 | 2,00 | 9,58 |
| % Cump. (60%) | 80,5 | 78,46 | 0,81 | 1,04 | 0,54 | 1,01 | 0,18 | 17,83 | 49,77 | 43,85 | 2,38 | 5,44 | 13,35 | 20,32 | 3,54 | 17,44 |
| % Cump. (70%) | 85 | 82,83 | 1,99 | 2,40 | 0,69 | 1,16 | 0,28 | 24,37 | 49,20 | 46,07 | 1,88 | 4,07 | 14,05 | 17,81 | 2,44 | 13,71 |
| % Cump. (90%) | 21,9 | 20,81 | 0,77 | 3,72 | 5,92 | 6,43 | 0,31 | 4,90 | 45,56 | 41,27 | 1,72 | 4,17 | 26,58 | 31,99 | 2,73 | 8,54 |
| % Cump. (100%) | 20,4 | 18,54 | 0,73 | 3,91 | 6,92 | 7,52 | 0,22 | 2,99 | 46,57 | 42,14 | 1,83 | 4,33 | 26,16 | 32,82 | 2,78 | 8,46 |
| Escen. base | 88,9 | 81,84 | 4,64 | 5,67 | 0,77 | 1,92 | 0,65 | 33,88 | 51,63 | 47,26 | 1,82 | 3,86 | 11,39 | 15,29 | 2,36 | 15,45 |

Figura H.10. Indicadores de agilidad y flexibilidad para las variaciones del porcentaje de cumplimiento mínimo de los procesos de preparación. Resultados para 30 corridas de simulación.

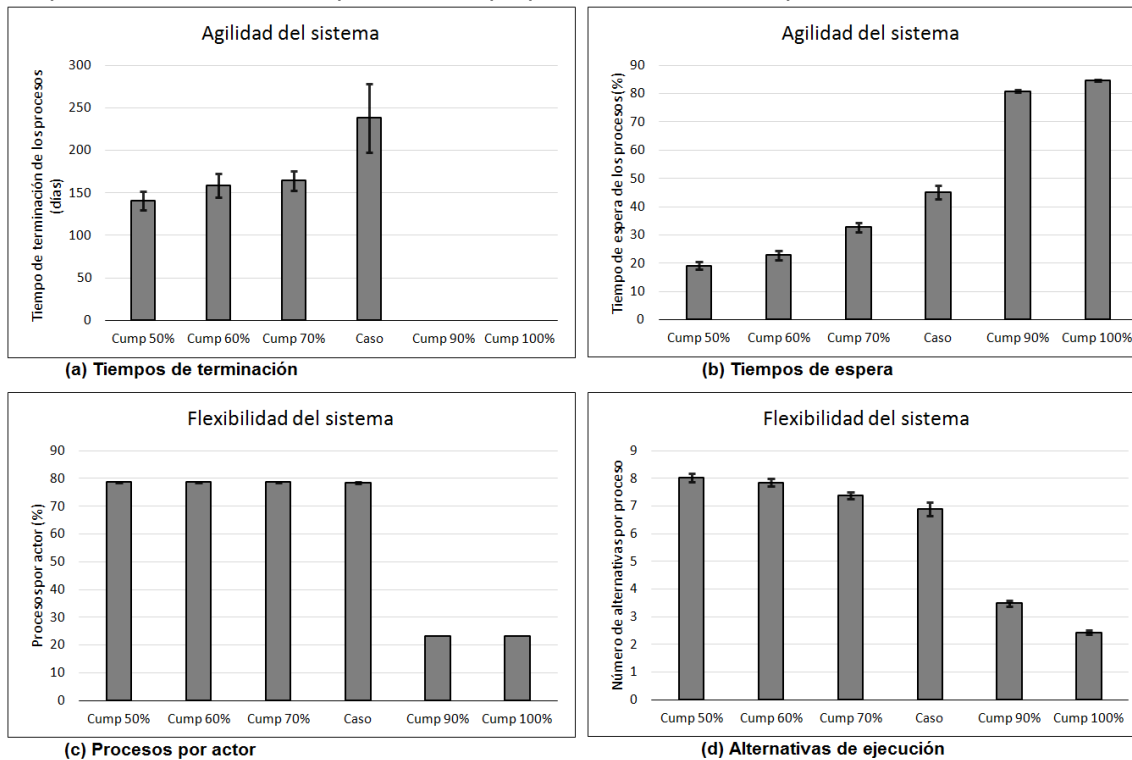
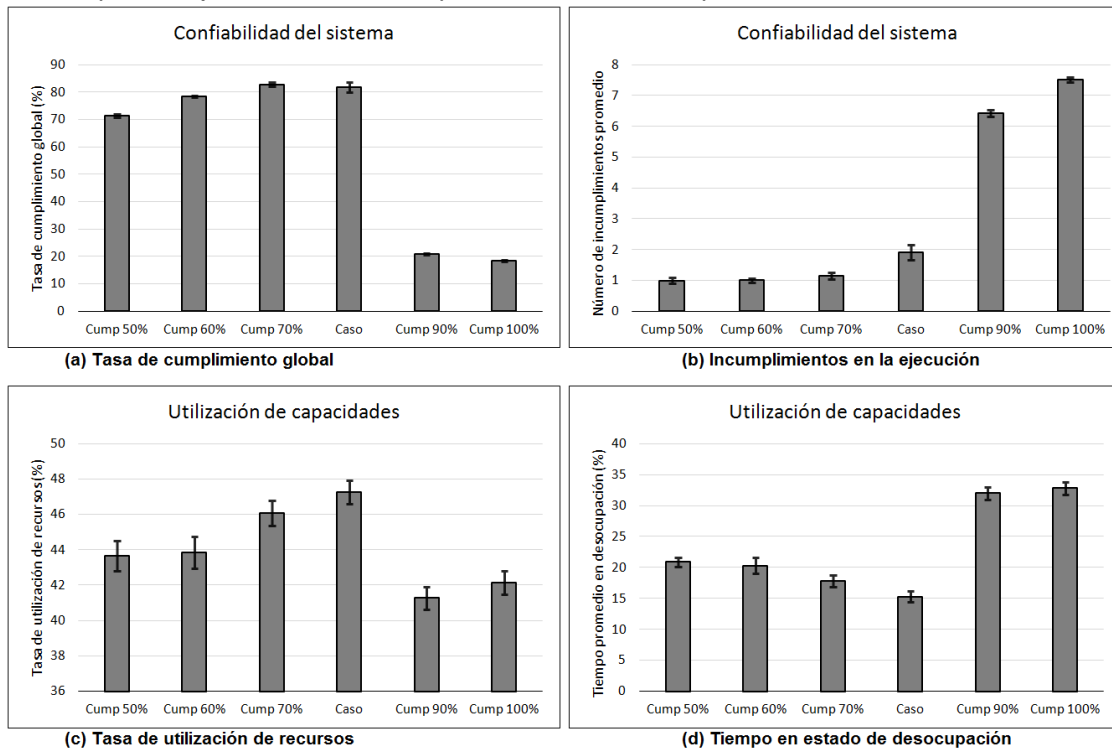


Figura H.11. Indicadores de confiabilidad y aprovechamiento de recursos para las variaciones de los porcentajes mínimos de cumplimiento. Resultados para 30 corridas de simulación.

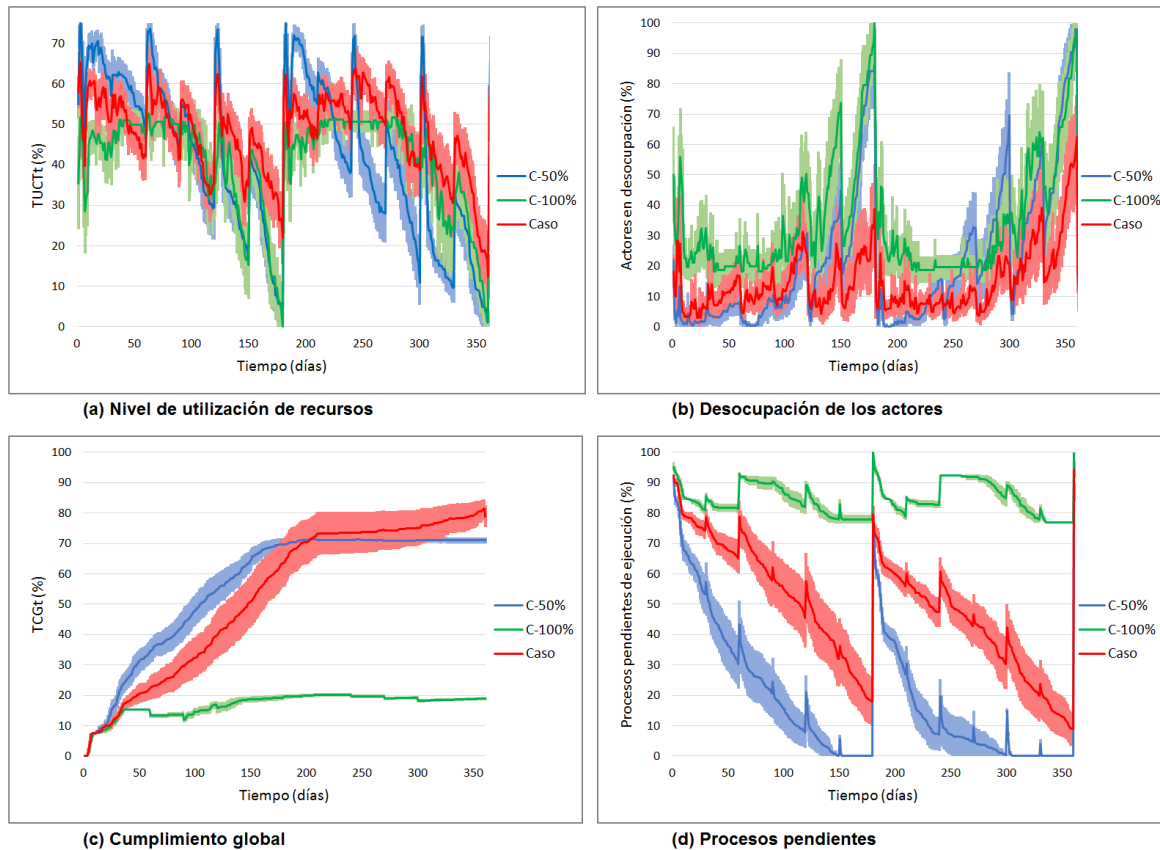


En la figura H.10 se hace patente el efecto causado en el sistema cuando los mínimos de ejecución se elevan al 90 y 100% de requisito. Ilustrativamente, el criterio del 100% representa el escenario donde la ejecución de un proceso se permite solo cuando los actores involucrados poseen la totalidad de los recursos requeridos por el proceso. Esta condición dificulta ampliar la cobertura de los procesos por parte de los actores, pues estos últimos poseen recursos limitados y además deben ocupar recursos en el cumplimiento de procesos de alta prioridad.

La concordancia de estos fenómenos se mantiene al revisar los indicadores de la figura H.11 en lo que concierne al cumplimiento global, el efecto es evidente cuando se exigen altas tasas para ejecutar los procesos. Además, la exigencia de la totalidad de recursos en un momento dado limita la posibilidad de actuación ágil de parte de los actores. De lo cual se desprende que el indicador de incumplimientos promedio de los procesos (como se observa en la figura H.11b), se dispare para los escenarios de 90 y 100%. De un modo adicional, esta restricción trae como consecuencia la subutilización de los recursos de los actores, pues, al impedirse la actuación de estos en un proceso, se reduce la posibilidad de hacer uso de sus recursos de forma continuada y, con ello, el incremento en su desocupación –como se observa en la figura H.11c y en especial la figura H.11d–.

En función del tiempo de simulación, las series temporales elaboradas a partir de los resultados de las corridas de los escenarios del 50%, 100% y el caso base, se muestran en la figura H.12.

Figura H.12. Series de tiempo para los escenarios propuestos según los porcentajes mínimos de cumplimiento de los procesos de preparación. Resultados para 30 corridas de simulación.



En relación con la utilización de los recursos (figura H.12a), no es evidente diferencias significativas entre los escenarios considerados en el gráfico; no obstante, en términos de desocupación de los actores (figura H.12b), se logra plasmar niveles superiores del escenario del 100% respecto del escenario del 50% y del caso inicial. Absolutamente más claras resultan las series de tiempo que representan las tasas de cumplimiento global (figura H.12c) y el número promedio de procesos que permanecen pendientes en el sistema (figura H.12d). En este sentido, se observa que el peor escenario es el del 100% que apenas si logra llegar a un nivel del 20% del cumplimiento global. Por su parte, el escenario del 50% es competitivo, pero al transcurrir el tiempo se muestra que su crecimiento se detiene y se estanca alrededor del 70% (ver figura H.12c). Situación que se manifiesta porque la permisividad de ejecución de los procesos es baja, con lo cual, al totalizar un indicador global no se obtienen resultados superiores. En cambio, el incremento del desempeño global del sistema es sostenido en el tiempo cuando se considera el caso inicial del estudio. Respecto de los procesos en estado pendiente, cabe mencionar que el escenario más favorable para la ejecución es cuando se permite un cumplimiento a partir del 50% de los recursos requeridos, mientras que su opuesto, es decir, el escenario del 100%, restringe las posibilidades de ejecución de los procesos y de

allí que en promedio permanezcan más procesos de preparación en espera de su ejecución, tal como se manifestaba en párrafos anteriores.

H.5 Efecto de la probabilidad de coordinación de los actores locales

Como se explica en el capítulo 6, los escenarios propuestos se han diseñado a partir de una probabilidad de coordinación de los actores de 0,0 y con incrementos de 0,1, la variable se lleva hasta el valor de 1,0. Los resultados de las 30 corridas realizadas para cada uno de los once escenarios resultantes se muestran resumidos en la tabla H.5. Asimismo, se han elaborado las figuras H.13 y H.14 como complemento a la información analizada en esta parte del trabajo investigativo.

Tabla H.5. Estadísticos generales de 30 corridas ejecutadas para los escenarios diseñados de acuerdo con la probabilidad de coordinación de los actores locales.

| Escenario | Tiempo de culminación de los procesos (ticks) | | | | % de espera de los procesos | | | | % de procesos por actor | | | | Número de alternativas por proceso | | | |
|--------------|---|-------|-----------|--------|------------------------------------|-------|-----------|--------|----------------------------------|-------|-----------|--------|------------------------------------|-------|-----------|--------|
| | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) |
| P. C. (0,0%) | - | - | - | - | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - |
| P. C. (10%) | - | - | - | - | 48,73 | 63,43 | 5,10 | 8,04 | 61,54 | 54,62 | 3,97 | 7,27 | 5,00 | 4,43 | 0,30 | 6,70 |
| P. C. (20%) | 145 | 259,5 | 127,0 | 48,95 | 36,26 | 42,78 | 4,68 | 10,94 | 76,92 | 73,01 | 2,14 | 2,93 | 8,08 | 7,10 | 0,43 | 6,02 |
| P. C. (30%) | 132 | 194,8 | 49,15 | 25,22 | 27,60 | 35,16 | 4,59 | 13,06 | 78,85 | 76,50 | 1,28 | 1,67 | 8,62 | 8,09 | 0,28 | 3,49 |
| P. C. (40%) | 137 | 184,6 | 34,40 | 18,63 | 26,98 | 32,02 | 3,35 | 10,46 | 78,85 | 77,50 | 1,00 | 1,29 | 9,38 | 8,51 | 0,33 | 3,85 |
| P. C. (50%) | 122 | 168,0 | 36,35 | 21,63 | 25,01 | 33,22 | 4,38 | 13,18 | 78,85 | 78,37 | 0,61 | 0,78 | 9,00 | 8,53 | 0,27 | 3,14 |
| P. C. (60%) | 108 | 183,6 | 47,50 | 25,86 | 30,04 | 36,34 | 3,91 | 10,76 | 78,85 | 78,43 | 0,55 | 0,70 | 8,62 | 8,17 | 0,26 | 3,22 |
| P. C. (70%) | 138 | 218,6 | 77,63 | 35,50 | 32,52 | 42,69 | 4,59 | 10,75 | 78,85 | 78,53 | 0,53 | 0,67 | 8,15 | 7,22 | 0,44 | 6,05 |
| P. C. (80%) | 150 | 320,1 | 135,4 | 42,32 | 37,71 | 47,79 | 4,88 | 10,21 | 78,85 | 78,40 | 0,75 | 0,96 | 6,69 | 5,94 | 0,40 | 6,73 |
| P. C. (90%) | - | - | - | - | 47,65 | 60,23 | 6,15 | 10,21 | 78,85 | 76,57 | 3,03 | 3,96 | 4,69 | 3,73 | 0,46 | 12,39 |
| P. C. (100%) | - | - | - | - | 63,22 | 71,34 | 3,15 | 4,42 | 78,85 | 67,73 | 7,16 | 10,57 | 1,23 | 0,94 | 0,14 | 15,20 |
| Escen. base | 129 | 238 | 107,1 | 45,00 | 32,98 | 45,16 | 6,25 | 13,84 | 78,85 | 78,43 | 0,70 | 0,90 | 8,23 | 6,89 | 0,66 | 9,60 |
| Escenario | Tasa de cumplimiento global (%) | | | | Número de incumplimientos promedio | | | | % de utilización de los recursos | | | | % de tiempo en desocupación | | | |
| | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) | Max. | Media | Desv. St. | CV (%) | Min. | Media | Desv. St. | CV (%) |
| P. C. (0,0%) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | 11,38 | 11,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| P. C. (10%) | 72,2 | 55,09 | 7,25 | 13,16 | 2,92 | 4,16 | 0,49 | 11,70 | 24,50 | 22,60 | 1,20 | 5,30 | 53,83 | 59,43 | 2,38 | 4,01 |
| P. C. (20%) | 87,2 | 83,38 | 3,51 | 4,21 | 1,23 | 1,83 | 0,34 | 18,53 | 33,95 | 30,23 | 1,64 | 5,44 | 37,92 | 43,80 | 2,68 | 6,11 |
| P. C. (30%) | 88,7 | 86,60 | 1,87 | 2,16 | 0,77 | 1,34 | 0,29 | 21,88 | 35,91 | 33,33 | 1,36 | 4,08 | 33,11 | 37,94 | 2,38 | 6,27 |
| P. C. (40%) | 89,2 | 86,72 | 1,87 | 2,15 | 0,62 | 1,19 | 0,32 | 26,99 | 39,28 | 36,62 | 1,26 | 3,43 | 27,57 | 31,89 | 2,18 | 6,83 |
| P. C. (50%) | 89,6 | 87,80 | 1,64 | 1,87 | 0,62 | 1,12 | 0,29 | 26,12 | 42,97 | 39,81 | 1,73 | 4,33 | 20,61 | 26,84 | 2,91 | 10,83 |
| P. C. (60%) | 90,0 | 87,07 | 2,15 | 2,47 | 0,69 | 1,21 | 0,25 | 20,69 | 47,17 | 42,80 | 1,36 | 3,18 | 16,09 | 21,92 | 2,19 | 9,98 |
| P. C. (70%) | 88,0 | 82,95 | 4,10 | 4,95 | 0,92 | 1,72 | 0,49 | 28,59 | 48,78 | 46,32 | 1,42 | 3,07 | 9,92 | 16,64 | 2,70 | 16,21 |
| P. C. (80%) | 88,7 | 79,17 | 4,97 | 6,28 | 1,15 | 2,36 | 0,55 | 23,42 | 52,80 | 49,36 | 1,45 | 2,93 | 8,16 | 13,08 | 2,11 | 16,10 |
| P. C. (90%) | 85,4 | 65,68 | 8,89 | 13,53 | 1,92 | 3,85 | 0,80 | 20,73 | 55,14 | 52,57 | 1,32 | 2,51 | 6,17 | 9,58 | 1,66 | 17,37 |
| P. C. (100%) | 62,0 | 50,40 | 5,68 | 11,26 | 4,77 | 5,52 | 0,45 | 8,20 | 59,33 | 57,33 | 1,02 | 1,78 | 3,97 | 5,14 | 0,63 | 12,24 |
| Escen. base | 88,9 | 81,84 | 4,64 | 5,67 | 0,77 | 1,92 | 0,65 | 33,88 | 51,63 | 47,26 | 1,82 | 3,86 | 11,39 | 15,29 | 2,36 | 15,45 |

Figura H.13. Indicadores de agilidad y flexibilidad para las variaciones de la probabilidad de coordinación de los actores locales. Resultados para 30 corridas de simulación.

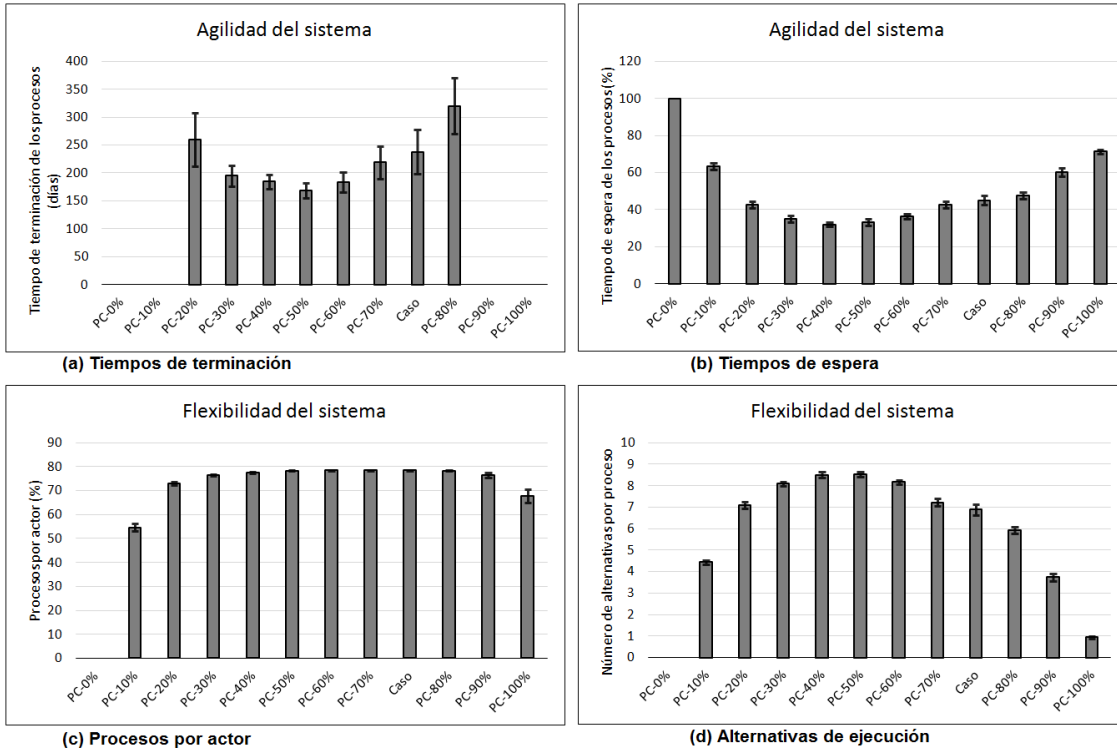
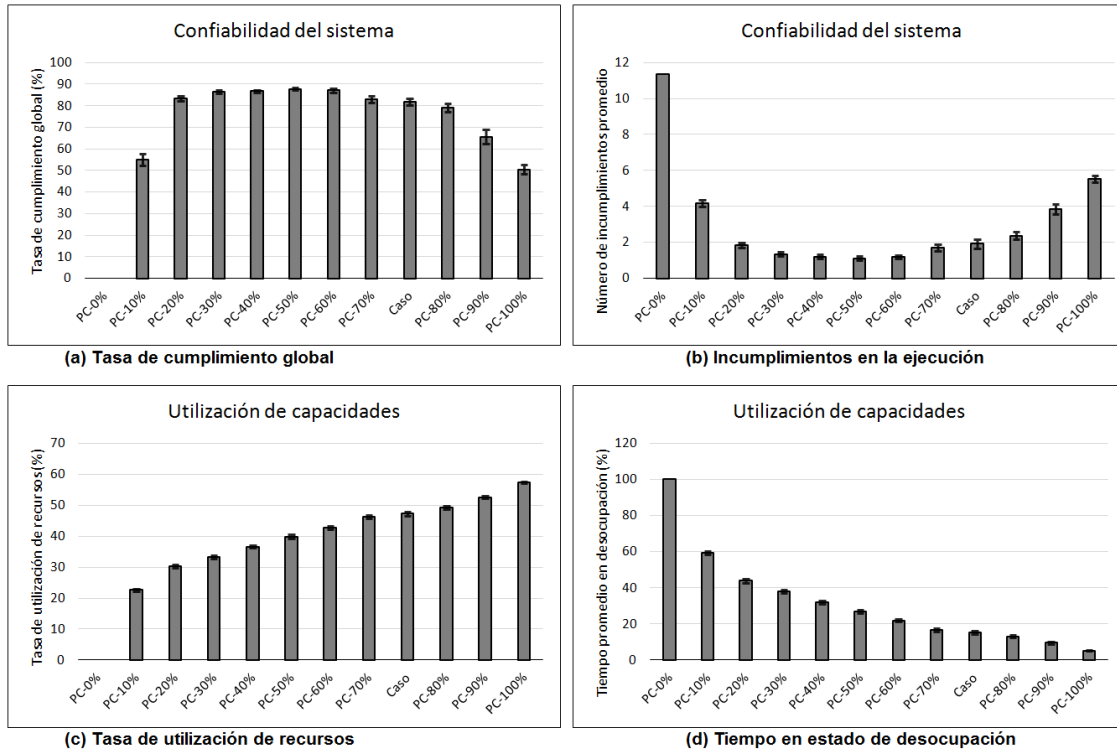


Figura H. 14. Indicadores de confiabilidad y aprovechamiento de recursos para las variaciones de la probabilidad de coordinación de los actores. Resultados para 30 corridas de simulación.

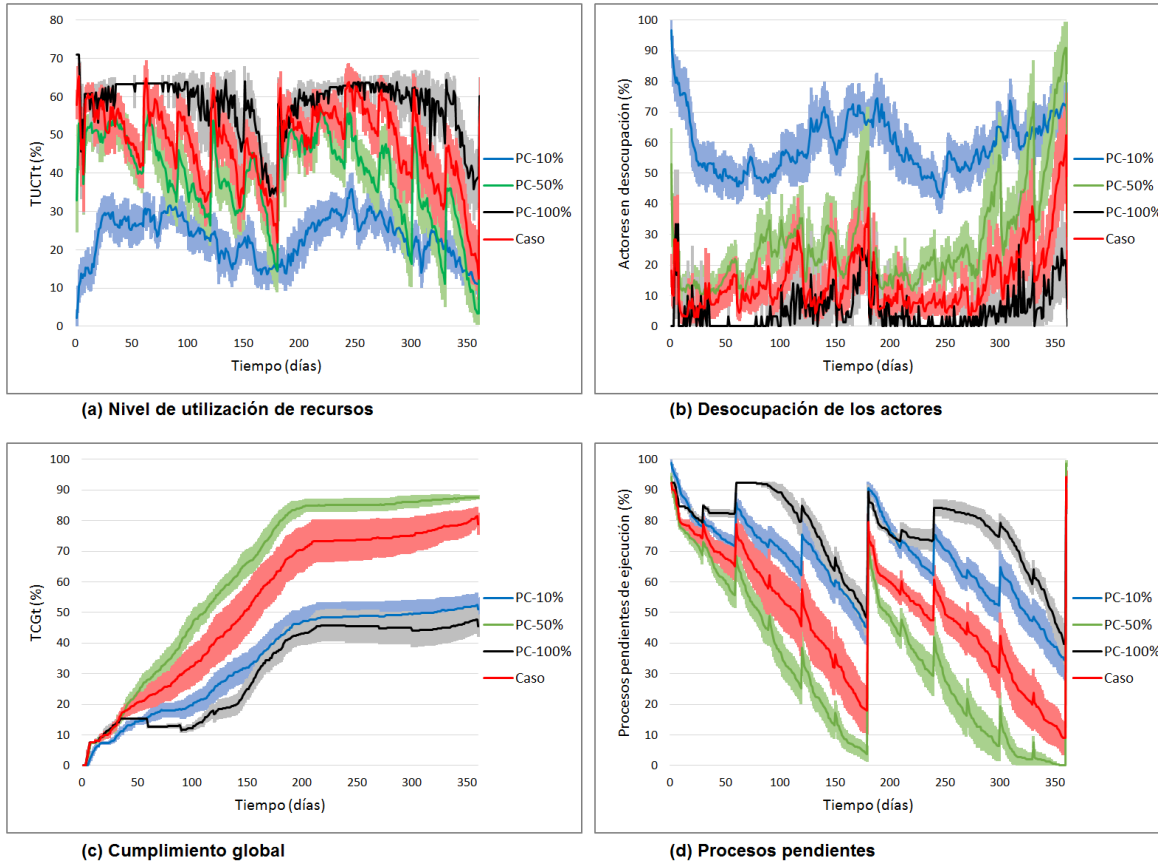


Como se evidencia en la tabla y figuras sugeridas, en el caso extremo donde los actores poseen nula vocación a la coordinación (es decir, valor de 0,0) no se logra dar cumplimiento a ninguno de los requerimientos considerados. Esto es, bajo los parámetros trabajados en el modelo, se requiere definitivamente de la inter-relación de los actores, de su coordinación, su integración, a fin de buscar el cumplimiento de los distintos procesos de preparación embebidos en el sistema modelado.

De otro lado, se puede observar en la figura H.13 que no se requieren de valores altos de probabilidad de coordinación para obtener buenos resultados. Con tan solo tener un interés por coordinar, se observa que el desempeño de los sistemas humanitarios puede mejorar significativamente (tal y como se sugiere en los trabajos de autores como Gibbons y Samaddar (2009) y de Wang y Zhang (2019)). No obstante, lo arrojado por el modelo en términos de tiempos de cumplimiento y espera de los procesos (figuras H.13a y H.13b), así como del número de alternativas identificadas por proceso (figura H.13d), y el cumplimiento global y número de incumplimientos promedio de los procesos (figuras H.14a y H.14b), demuestran el efecto negativo sobre el sistema cuando todos los actores poseen extrema voluntad y apertura para participar en los procesos de preparación de forma conjunta. Esta dinámica contrasta con la alta eficiencia de los actores que participan continua y conjuntamente entre sí (ver figuras H.14c y H.14d), lo cual no implica un buen desempeño global en el sistema o una buena cobertura de los requerimientos *per se*. Este comportamiento contraintuitivo mostrado por el sistema modelado, también se ha reflejado en las series temporales mostradas en la figura H.15, las cuales han sido construidas a partir de las corridas de simulación.

La elaboración de las series temporales ha considerado algunos escenarios particulares. Entre estos, se decidió incluir los escenarios con el 0,1 (o 10%), 0,5 (o 50%), y 1,0 (o 100%) de probabilidad de coordinación, junto con el caso base de estudio, para la conformación de la figura 6.17. Allí se observa un mejoramiento sostenido a nivel individual cuando los actores poseen mayor probabilidad de coordinación (ver figuras H.15a y H.15b), lo cual se sustenta con los desempeños particulares logrados en términos de utilización de recursos y el mínimo nivel de desocupación observado en el escenario del 100%. Ello, sin embargo, no resulta ser el escenario más efectivo en absoluto, dado que en términos globales del sistema (ver figuras H.15c y H.15d) y en concordancia con lo mostrado antes, el cumplimiento global de los procesos viene a representar el escenario con peor desempeño entre los considerados en las series de tiempo elaboradas. Asimismo, el escenario del 100% también arroja los menores desempeños (aún inferior al escenario del 10%) en lo que respecta al número de procesos que permanecen pendientes de cumplimiento en el sistema.

Figura H.15. Series de tiempo para los escenarios propuestos según las probabilidades de coordinación de los actores. Resultados para 30 corridas de simulación.



I. Anexo I: Corridas de los escenarios alternativos propuestos

A conciencia de los escenarios de simulación generados para cada tipo de mecanismo de simulación contemplado en el capítulo 7 (estos son: escenario descentralizado, escenario centralizado y escenario bajo el enfoque tipo clúster), se hizo menester correr el modelo de simulación en cierto número de réplicas con la intención de obtener información útil para la discusión comparativa de los escenarios propuestos y con esto dar sustento a la hipótesis global de la investigación. El propósito de las tablas siguientes es compartir el registro de los datos arrojados por el modelo de simulación en los términos de las variables de salida definidas desde el capítulo 4 de esta tesis.

I.1 Corridas del modelo de simulación para el escenario descentralizado

Tabla I.1. Resultados de 50 réplicas ejecutadas en el modelo de simulación para el escenario descentralizado.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|---------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-------|-------------|-------|------------|
| 1 | 361 | 47,14 | 77,88 | 6,85 | 71,69 | 2,23 | 47,04 | 14,41 |
| 2 | 360 | 50,91 | 77,88 | 6,31 | 67,91 | 2,69 | 47,43 | 15,53 |
| 3 | 250 | 42,22 | 78,85 | 6,15 | 76,08 | 2,23 | 48,66 | 14,84 |
| 4 | 158 | 29,60 | 78,85 | 7,00 | 86,00 | 1,00 | 43,94 | 22,04 |
| 5 | 359 | 49,87 | 78,85 | 7,00 | 79,03 | 2,00 | 46,37 | 17,12 |
| 6 | 149 | 37,58 | 78,85 | 7,15 | 82,52 | 1,54 | 48,04 | 14,54 |
| 7 | 177 | 33,79 | 77,88 | 7,62 | 85,59 | 1,08 | 46,04 | 17,92 |
| 8 | 132 | 44,56 | 77,88 | 6,92 | 77,28 | 2,08 | 49,30 | 14,84 |
| 9 | 169 | 41,85 | 77,88 | 7,31 | 83,89 | 1,23 | 43,83 | 19,22 |
| 10 | 196 | 39,46 | 78,85 | 7,38 | 85,34 | 1,15 | 48,11 | 15,72 |
| 11 | 514 | 50,43 | 77,88 | 6,23 | 69,46 | 2,62 | 47,67 | 14,55 |
| 12 | 898 | 53,24 | 76,92 | 6,31 | 65,96 | 2,85 | 48,37 | 13,57 |
| 13 | 212 | 39,50 | 78,85 | 7,23 | 85,51 | 1,23 | 45,52 | 18,91 |
| 14 | 520 | 46,72 | 77,88 | 6,54 | 67,25 | 2,77 | 48,25 | 12,07 |
| 15 | 145 | 36,44 | 77,88 | 7,77 | 86,51 | 1,23 | 43,49 | 20,36 |
| 16 | 152 | 45,49 | 78,85 | 6,08 | 70,76 | 2,69 | 48,87 | 12,48 |

Tabla I.1. *Continuación.*

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|---------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 17 | 184 | 40,72 | 78,85 | 6,69 | 80,76 | 2,00 | 44,68 | 17,71 |
| 18 | 173 | 52,76 | 78,85 | 6,38 | 69,05 | 3,00 | 47,98 | 15,90 |
| 19 | 191 | 45,59 | 77,88 | 7,31 | 74,78 | 1,62 | 45,70 | 13,78 |
| 20 | 182 | 40,74 | 77,88 | 7,46 | 84,98 | 1,08 | 47,58 | 15,70 |
| 21 | 179 | 48,03 | 76,92 | 6,77 | 74,02 | 1,62 | 48,13 | 14,35 |
| 22 | 187 | 35,68 | 78,85 | 7,85 | 85,19 | 0,85 | 47,21 | 16,30 |
| 23 | 313 | 47,77 | 78,85 | 6,54 | 76,66 | 2,23 | 47,39 | 15,73 |
| 24 | 189 | 36,14 | 77,88 | 7,62 | 87,28 | 0,85 | 45,51 | 17,95 |
| 25 | 180 | 41,71 | 78,85 | 6,69 | 81,40 | 1,69 | 47,68 | 10,17 |
| 26 | 178 | 35,75 | 78,85 | 6,77 | 85,63 | 0,92 | 46,07 | 17,11 |
| 27 | 181 | 46,30 | 77,88 | 7,00 | 74,93 | 1,85 | 45,92 | 17,40 |
| 28 | 1077 | 51,04 | 78,85 | 6,15 | 69,84 | 2,31 | 50,28 | 11,82 |
| 29 | 301 | 45,49 | 78,85 | 7,08 | 79,91 | 1,92 | 47,25 | 16,87 |
| 30 | 358 | 44,65 | 77,88 | 6,54 | 72,39 | 2,08 | 50,11 | 12,34 |
| 31 | 1402 | 53,66 | 77,88 | 5,54 | 63,74 | 2,92 | 51,77 | 9,94 |
| 32 | 147 | 41,46 | 78,85 | 6,77 | 77,24 | 2,23 | 46,95 | 17,65 |
| 33 | 188 | 45,56 | 78,85 | 6,15 | 72,74 | 2,23 | 47,92 | 15,35 |
| 34 | 180 | 36,68 | 78,85 | 7,46 | 84,08 | 1,31 | 45,34 | 18,92 |
| 35 | 507 | 48,78 | 78,85 | 5,54 | 72,85 | 2,69 | 48,96 | 12,01 |
| 36 | 152 | 36,78 | 77,88 | 7,15 | 83,72 | 1,38 | 43,20 | 20,52 |
| 37 | 169 | 35,86 | 76,92 | 6,69 | 79,17 | 1,69 | 45,09 | 20,72 |
| 38 | 175 | 48,75 | 75,96 | 6,54 | 66,48 | 2,92 | 48,36 | 15,31 |
| 39 | 368 | 57,21 | 77,88 | 6,31 | 66,44 | 3,15 | 48,94 | 14,35 |
| 40 | 141 | 42,87 | 78,85 | 7,00 | 80,80 | 1,54 | 46,93 | 17,14 |
| 41 | 288 | 46,89 | 78,85 | 6,92 | 78,71 | 1,62 | 46,35 | 16,09 |
| 42 | 350 | 46,27 | 78,85 | 6,77 | 78,81 | 1,92 | 47,41 | 13,49 |
| 43 | 367 | 48,65 | 78,85 | 6,38 | 70,45 | 2,69 | 46,55 | 14,57 |
| 44 | 144 | 33,33 | 77,88 | 7,54 | 76,91 | 1,77 | 47,28 | 15,18 |
| 45 | 281 | 46,23 | 78,85 | 7,15 | 78,48 | 1,77 | 49,65 | 11,19 |
| 46 | 330 | 40,20 | 78,85 | 6,54 | 81,86 | 1,77 | 48,39 | 12,93 |
| 47 | 185 | 49,07 | 77,88 | 6,69 | 74,30 | 2,38 | 47,83 | 14,55 |
| 48 | 328 | 50,95 | 76,92 | 6,15 | 70,55 | 2,46 | 46,57 | 14,13 |
| 49 | 194 | 41,23 | 77,88 | 6,77 | 81,23 | 1,54 | 47,81 | 17,76 |
| 50 | 196 | 45,08 | 78,85 | 7,23 | 77,41 | 1,54 | 48,50 | 12,97 |
| Mejor | 132 | 29,6 | 78,85 | 7,85 | 87,28 | 0,85 | 51,77 | 9,94 |
| Media | 294,34 | 43,9336 | 78,2692 | 6,7998 | 77,0714 | 1,9232 | 47,2444 | 15,5204 |
| Desv. | 240,67461 | 6,105589 | 0,703669 | 0,531519 | 6,531008 | 0,632225 | 1,765579 | 2,731873 |
| CV % | 81,767552 | 13,89731 | 0,899037 | 7,816682 | 8,47397 | 32,87357 | 3,737119 | 17,60182 |

I.2 Corridas del modelo de simulación para el escenario centralizado

Tabla I.2. Resultados de 50 réplicas ejecutadas en el modelo de simulación para el escenario centralizado.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|---------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-------|-------------|-------|------------|
| 1 | 121 | 15,46 | 68,27 | 2,77 | 84,15 | 0,62 | 32,60 | 43,23 |
| 2 | 142 | 14,71 | 67,31 | 3,15 | 83,67 | 0,62 | 32,24 | 41,47 |
| 3 | 110 | 15,09 | 70,19 | 3,46 | 83,56 | 0,92 | 34,28 | 38,73 |
| 4 | 122 | 14,17 | 65,38 | 3,00 | 83,28 | 0,85 | 33,71 | 39,64 |
| 5 | 115 | 13,93 | 67,31 | 2,85 | 83,72 | 0,69 | 33,77 | 39,53 |
| 6 | 102 | 15,18 | 67,31 | 3,38 | 83,55 | 0,62 | 32,79 | 42,10 |
| 7 | 127 | 14,36 | 69,23 | 3,15 | 84,13 | 0,92 | 32,82 | 41,96 |
| 8 | 141 | 15,26 | 68,27 | 2,92 | 84,18 | 0,62 | 34,25 | 37,89 |
| 9 | 145 | 14,91 | 64,42 | 2,77 | 83,45 | 0,54 | 34,22 | 39,40 |
| 10 | 132 | 14,16 | 69,23 | 3,38 | 83,18 | 0,85 | 32,93 | 41,26 |
| 11 | 115 | 14,44 | 68,27 | 3,31 | 83,34 | 0,77 | 33,00 | 39,89 |
| 12 | 101 | 15,26 | 68,27 | 2,92 | 84,26 | 0,46 | 32,36 | 42,23 |
| 13 | 129 | 14,75 | 68,27 | 3,23 | 83,92 | 0,54 | 34,48 | 37,26 |
| 14 | 108 | 15,00 | 70,19 | 3,15 | 83,70 | 0,85 | 33,77 | 39,60 |
| 15 | 129 | 14,44 | 67,31 | 2,62 | 82,93 | 1,00 | 33,86 | 39,31 |
| 16 | 115 | 14,95 | 69,23 | 3,08 | 82,71 | 1,08 | 33,08 | 40,39 |
| 17 | 131 | 14,35 | 69,23 | 3,38 | 84,06 | 0,69 | 33,50 | 38,98 |
| 18 | 146 | 13,97 | 67,31 | 2,85 | 84,62 | 0,38 | 33,26 | 40,36 |
| 19 | 134 | 14,73 | 67,31 | 2,92 | 83,78 | 0,85 | 32,38 | 42,58 |
| 20 | 122 | 14,51 | 70,19 | 3,15 | 83,69 | 0,77 | 35,53 | 36,05 |
| 21 | 128 | 15,36 | 70,19 | 3,08 | 83,60 | 0,85 | 33,83 | 39,92 |
| 22 | 119 | 15,10 | 69,23 | 3,23 | 84,60 | 0,54 | 31,39 | 43,57 |
| 23 | 135 | 13,72 | 71,15 | 3,38 | 83,14 | 0,92 | 31,12 | 42,59 |
| 24 | 122 | 14,35 | 66,35 | 2,62 | 83,63 | 0,69 | 35,29 | 38,08 |
| 25 | 114 | 14,50 | 68,27 | 3,08 | 83,60 | 1,00 | 34,20 | 37,40 |
| 26 | 137 | 13,50 | 64,42 | 2,38 | 83,41 | 0,69 | 32,78 | 42,27 |
| 27 | 134 | 15,01 | 71,15 | 3,69 | 82,92 | 0,85 | 33,11 | 39,62 |
| 28 | 141 | 14,98 | 67,31 | 2,69 | 83,65 | 0,69 | 31,63 | 43,15 |
| 29 | 142 | 14,25 | 70,19 | 3,00 | 84,25 | 0,38 | 35,24 | 37,30 |
| 30 | 115 | 13,92 | 66,35 | 2,54 | 83,80 | 0,46 | 32,34 | 42,04 |
| 31 | 107 | 14,52 | 65,38 | 2,54 | 83,90 | 0,69 | 32,07 | 41,63 |
| 32 | 107 | 15,53 | 64,42 | 2,69 | 83,78 | 0,62 | 33,66 | 39,84 |
| 33 | 107 | 16,10 | 70,19 | 3,31 | 83,66 | 0,85 | 33,61 | 39,71 |
| 34 | 127 | 15,49 | 66,35 | 2,92 | 83,47 | 0,77 | 32,18 | 42,66 |
| 35 | 131 | 14,75 | 66,35 | 2,62 | 83,78 | 0,62 | 35,01 | 38,70 |
| 36 | 164 | 16,40 | 68,27 | 3,08 | 83,79 | 0,85 | 37,40 | 35,06 |

Tabla I.2. *Continuación.*

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|---------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 37 | 121 | 13,79 | 61,54 | 2,77 | 84,24 | 0,77 | 32,89 | 41,33 |
| 38 | 125 | 15,00 | 67,31 | 2,77 | 83,72 | 0,62 | 32,77 | 41,50 |
| 39 | 172 | 14,62 | 69,23 | 3,15 | 83,59 | 0,92 | 32,89 | 39,90 |
| 40 | 120 | 14,88 | 67,31 | 2,77 | 83,48 | 0,77 | 33,01 | 40,42 |
| 41 | 134 | 14,81 | 66,35 | 2,92 | 84,14 | 0,46 | 33,94 | 39,88 |
| 42 | 116 | 15,09 | 66,35 | 2,85 | 84,40 | 0,38 | 32,68 | 43,93 |
| 43 | 146 | 14,39 | 66,35 | 2,69 | 83,94 | 0,77 | 32,09 | 41,97 |
| 44 | 127 | 14,46 | 67,31 | 2,77 | 83,00 | 0,92 | 33,24 | 41,97 |
| 45 | 102 | 14,56 | 68,27 | 3,00 | 83,87 | 0,69 | 32,03 | 42,95 |
| 46 | 111 | 14,43 | 72,12 | 3,85 | 83,59 | 1,08 | 32,21 | 41,35 |
| 47 | 140 | 14,33 | 68,27 | 3,15 | 83,77 | 0,69 | 33,13 | 40,17 |
| 48 | 124 | 14,39 | 63,46 | 2,54 | 84,76 | 0,23 | 35,45 | 38,94 |
| 49 | 136 | 16,58 | 72,12 | 3,54 | 83,74 | 0,85 | 35,74 | 35,71 |
| 50 | 117 | 16,55 | 72,12 | 3,77 | 84,10 | 0,54 | 34,70 | 39,37 |
| Mejor | 101 | 13,5 | 72,12 | 3,85 | 84,76 | 0,23 | 37,4 | 35,06 |
| Media | 126,16 | 14,7798 | 67,9236 | 3,0166 | 83,744 | 0,716 | 33,4092 | 40,2958 |
| Desv. | 15,081222 | 0,677265 | 2,246658 | 0,334259 | 0,43582 | 0,190531 | 1,244096 | 2,079841 |
| CV % | 11,954044 | 4,582368 | 3,307625 | 11,08065 | 0,520419 | 26,61047 | 3,723813 | 5,161434 |

I.3 Corridas del modelo de simulación para el escenario basado en el enfoque tipo clúster

Tabla I.3. Resultados de 50 réplicas ejecutadas en el modelo de simulación para el escenario tipo clúster.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|---------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|-------|-------------|-------|------------|
| 1 | 128 | 21,24 | 73,08 | 4,92 | 84,26 | 0,85 | 32,88 | 43,41 |
| 2 | 109 | 17,58 | 75,96 | 5,54 | 83,72 | 0,85 | 31,69 | 44,56 |
| 3 | 155 | 18,45 | 72,12 | 5,15 | 84,36 | 0,77 | 31,94 | 42,72 |
| 4 | 131 | 17,90 | 75,96 | 5,54 | 84,62 | 0,69 | 31,68 | 43,63 |
| 5 | 132 | 22,21 | 74,04 | 5,08 | 84,82 | 0,92 | 33,08 | 39,90 |
| 6 | 191 | 21,95 | 71,15 | 4,85 | 84,36 | 0,69 | 34,45 | 40,39 |
| 7 | 255 | 20,11 | 76,92 | 6,00 | 85,10 | 0,62 | 33,97 | 40,62 |
| 8 | 136 | 21,09 | 72,12 | 5,46 | 83,71 | 1,00 | 32,61 | 40,82 |
| 9 | 184 | 19,67 | 69,23 | 5,23 | 84,20 | 0,92 | 32,68 | 44,40 |
| 10 | 144 | 20,54 | 77,88 | 5,69 | 84,35 | 0,77 | 33,75 | 40,74 |
| 11 | 151 | 20,54 | 74,04 | 5,54 | 84,05 | 0,85 | 32,08 | 41,79 |
| 12 | 148 | 19,69 | 75,00 | 4,85 | 84,18 | 1,00 | 33,02 | 41,77 |
| 13 | 147 | 20,77 | 73,08 | 4,85 | 85,63 | 0,62 | 34,38 | 39,09 |
| 14 | 158 | 18,07 | 74,04 | 5,15 | 85,56 | 0,77 | 31,98 | 43,07 |

Tabla I.3. Continuación.

| Corrida | Tiempos de terminación | % t de espera | % proc x actor | Alternat x proc | TCG | Incump prom | TUCG | % t ocioso |
|---------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|-------------|----------|------------|
| 15 | 204 | 19,93 | 71,15 | 4,85 | 84,57 | 0,69 | 31,95 | 45,00 |
| 16 | 170 | 18,86 | 72,12 | 4,31 | 84,15 | 1,15 | 31,14 | 44,44 |
| 17 | 212 | 18,80 | 77,88 | 5,38 | 84,07 | 0,92 | 33,26 | 41,27 |
| 18 | 193 | 18,89 | 76,92 | 6,15 | 83,81 | 0,92 | 33,91 | 40,47 |
| 19 | 134 | 22,21 | 73,08 | 5,69 | 83,95 | 0,85 | 34,36 | 40,56 |
| 20 | 152 | 19,49 | 75,96 | 4,92 | 83,93 | 0,92 | 32,70 | 40,36 |
| 21 | 179 | 19,60 | 75,00 | 5,54 | 83,35 | 0,85 | 34,25 | 39,75 |
| 22 | 136 | 18,32 | 76,92 | 4,92 | 83,71 | 0,92 | 32,61 | 41,55 |
| 23 | 162 | 21,27 | 75,96 | 5,38 | 84,09 | 0,92 | 34,78 | 39,51 |
| 24 | 182 | 21,05 | 75,00 | 5,23 | 83,16 | 0,92 | 33,93 | 40,07 |
| 25 | 178 | 19,71 | 74,04 | 5,46 | 83,98 | 0,92 | 32,93 | 42,29 |
| 26 | 179 | 18,35 | 74,04 | 4,92 | 84,80 | 0,62 | 31,62 | 43,18 |
| 27 | 190 | 21,01 | 74,04 | 5,77 | 83,10 | 1,15 | 32,81 | 40,81 |
| 28 | 182 | 20,63 | 75,96 | 5,23 | 84,40 | 1,00 | 34,50 | 39,33 |
| 29 | 212 | 23,57 | 74,04 | 5,23 | 83,33 | 1,38 | 34,59 | 36,81 |
| 30 | 126 | 19,25 | 74,04 | 4,77 | 85,71 | 0,54 | 32,82 | 41,17 |
| 31 | 189 | 21,98 | 75,00 | 5,00 | 84,88 | 0,46 | 34,96 | 39,28 |
| 32 | 118 | 16,17 | 77,88 | 5,38 | 85,11 | 0,69 | 32,88 | 40,95 |
| 33 | 131 | 16,64 | 73,08 | 5,23 | 84,83 | 0,62 | 32,30 | 43,20 |
| 34 | 259 | 20,26 | 75,96 | 5,23 | 84,17 | 1,00 | 31,99 | 43,36 |
| 35 | 153 | 21,07 | 73,08 | 5,15 | 84,24 | 0,69 | 32,88 | 43,35 |
| 36 | 129 | 21,01 | 73,08 | 5,31 | 84,17 | 0,92 | 33,64 | 40,77 |
| 37 | 195 | 20,89 | 72,12 | 6,08 | 84,18 | 0,77 | 32,66 | 41,38 |
| 38 | 153 | 19,12 | 74,04 | 5,23 | 84,23 | 0,85 | 33,52 | 41,94 |
| 39 | 189 | 18,00 | 75,00 | 5,54 | 83,97 | 0,69 | 33,89 | 40,15 |
| 40 | 178 | 19,96 | 73,08 | 5,46 | 84,17 | 0,77 | 35,21 | 38,34 |
| 41 | 191 | 20,35 | 76,92 | 5,54 | 84,12 | 0,92 | 34,46 | 39,59 |
| 42 | 190 | 21,11 | 73,08 | 4,46 | 84,17 | 1,15 | 33,57 | 41,34 |
| 43 | 142 | 17,84 | 75,96 | 5,46 | 83,88 | 1,00 | 32,16 | 43,29 |
| 44 | 140 | 18,02 | 70,19 | 5,31 | 84,64 | 0,46 | 32,07 | 44,63 |
| 45 | 151 | 22,21 | 72,12 | 5,08 | 82,91 | 0,92 | 35,49 | 38,59 |
| 46 | 168 | 20,68 | 71,15 | 4,77 | 85,03 | 1,08 | 32,82 | 41,90 |
| 47 | 114 | 18,36 | 72,12 | 4,69 | 84,35 | 0,92 | 32,95 | 42,83 |
| 48 | 129 | 21,05 | 73,08 | 5,46 | 85,04 | 1,00 | 33,74 | 39,67 |
| 49 | 192 | 20,29 | 73,08 | 5,46 | 84,62 | 0,54 | 33,79 | 41,86 |
| 50 | 176 | 21,07 | 73,08 | 5,23 | 85,08 | 1,00 | 31,97 | 43,75 |
| Mejor | 109 | 16,17 | 77,88 | 6,15 | 85,71 | 0,46 | 35,49 | 36,81 |
| Media | 164,94 | 19,9366 | 74,0774 | 5,2534 | 84,2964 | 0,8488 | 33,186 | 41,473 |
| Desv. | 33,05926 | 1,560584 | 2,035542 | 0,379493 | 0,616904 | 0,187275 | 1,05727 | 1,854992 |
| CV % | 20,043204 | 7,827735 | 2,747859 | 7,223755 | 0,731827 | 22,06352 | 3,185892 | 4,472771 |

J.Anexo J: Síntesis de la difusión de resultados parciales

Ponencias en eventos nacionales

- La coordinación inter-organizacional y la importancia de la preparación de desastres en el marco de la logística humanitaria. Perspectivas de investigación. *VI Revolucionaria. Encuentro Regional en Investigación de Operaciones*. Universidad del Valle, Colombia. 5 de abril de 2019.
- Inter-organizational coordination in disaster preparedness and the case of Manizales, Colombia: research perspectives. *1st Symposium in Humanitarian Logistics & Disruptive Supply Chains*. Universidad de La Sabana, Colombia. 26 de noviembre de 2018.
- Actors and relationships that comprise the humanitarian supply chain within the preparedness stage. *V Congreso Internacional Industria y Operaciones – CIIO*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. 1 de agosto de 2018.
- Factores de influencia en la coordinación logística para la preparación y atención de desastres: una revisión de literatura. *IV Coloquio de Investigación Posgrados Ingeniería Industrial*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. 25 y 26 de octubre de 2017.

Ponencias en eventos internacionales

- Modelo de simulación basado en agentes para el problema de coordinación inter-organizacional en la preparación logística de desastres. *4º Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos – CAIP*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. 21 al 24 de octubre de 2019.
- La complejidad en los procesos de gestión de desastres: perspectivas teóricas e investigativas. *Seminario Red de Doctorandos Matemáticas UCM*. Universidad Complutense de Madrid, España. 18 de junio de 2019.
- Medidas de desempeño en la logística humanitaria: revisión de literatura. *X Simposio Internacional de Ingeniería Industrial*. Universidad Nacional de Misiones, Argentina. 27 al 29 de septiembre de 2017.

Artículos científicos publicados

- López-Vargas, J. C., & Cárdenas-Aguirre, D. M. (2021). Medidas de desempeño en la logística humanitaria: revisión de literatura. *South Florida Journal of Development*, Vol. 2, No. 2, pp. 2462-2473. Doi: <http://dx.doi.org/10.46932/sfjdv2n2-105>
- López-Vargas, J. C., & Cárdenas-Aguirre, D. M. (2018). Factores de influencia en la coordinación logística para la preparación y atención de desastres – Una revisión de literatura. *Revista EIA*, Vol. 15, No. 30, pp. 41-56. Doi: <http://dx.doi.org/10.24050/reia.v15i30.1146>
- López-Vargas, J. C., & Cárdenas-Aguirre, D. M. (2017). Gestión de la logística humanitaria en las etapas previas al desastre: revisión sistemática de la literatura. *Revista Investigación, Desarrollo e Innovación*, Vol. 7, No. 2, pp. 203-216. Doi: <http://dx.doi.org/10.19053/20278306.v7.n2.2017.6094>

Capítulo de libro

- López-Vargas, J. C., Cárdenas-Aguirre, D. M., & Meisel, J. D. (2019). Characterization of the Key Actors Involved in Humanitarian Supply Chains at the Local Level From a Theoretical and Academic Perspective. En: J. Gonzalez-Feliu, M. Chong, J. Vargas-Florez, y J. Padilla-Solis (Eds.), *Handbook of Research on Urban and Humanitarian Logistics* (pp. 216-244). IGI Global. Doi: <http://dx.doi.org/10.4018/978-1-5225-8160-4.ch011>

Formación y capacitación

- Curso virtual de *Primer respondiente*. Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá, Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. Julio de 2021.
- Seminario *Gestión del riesgo y prevención de desastres*. Escuela Superior de Educación Pública ESAP. Agosto de 2017.
- Curso de posgrado *Gestión integral del riesgo de desastres*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Marzo - abril de 2017.
- Cátedra internacional *Logística humanitaria: Ingeniería, paz y desarrollo*. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Junio - julio de 2016.