

Modelo de decisión para la gestión de inventarios en logística humanitaria en la etapa posdesastre de sismos en Bucaramanga basado en autómatas celulares probabilísticos.

Víctor Alfonso Sanabria Ruiz

Trabajo de grado para optar el título de Magíster en Ingeniería Industrial

Director

Henry Lamos Díaz

Ph.D en Física-Matemática

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Maestría en Ingeniería Industrial

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A Dios por tantas bendiciones y llenarme de fortaleza para vencer todos los obstáculos en mi vida.

A mi papá por darme tantas lecciones de vida, que con su humildad y sencillez me hizo una persona de bien y que desde el cielo me guía, ilumina mis pasos y cuida de mí.

A mi madre por todo el esfuerzo y sacrificio para brindarme todo el amor, la comprensión, el apoyo incondicional y la confianza cada momento de mi vida y sobre todo en mis estudios universitarios.

A mis hermanos, Carlos, Jairo, Yanet, Ludy y Naty que con su amor me han enseñado a salir adelante, gracias por la paciencia y el apoyo incondicional.

A la familia Ruiz Florián por todo su apoyo en los momentos de dificultad y alegrías, gracias familia por darme el ejemplo de amor y humildad.

A mí director Henry Lamos Díaz por brindarme la oportunidad, su conocimiento y orientación para ser un mejor profesional.

Agradecimientos

A Laura Escobar, te agradezco por tu desinteresada ayuda, por echarme una mano cuando siempre la necesité, por aportar considerablemente en mi proyecto. Te agradezco no solo por la ayuda brindada, sino por los buenos momentos en los que convivimos en la maestría.

A Leonardo Talero y Julio Camacho ambos partes importantes del proceso de aprendizaje durante la maestría, gracias por todo el apoyo y buenos momentos.

A Daniel Orlando Martínez, Yuly Ramírez, Karin Aguilar y David Puentes por la motivación y apoyo fundamental en el crecimiento profesional en la maestría.

A Paola y Alejandra por la amistad incondicional, confianza y el apoyo que me han brindado durante la etapa profesional.

Al grupo OPALO por abrirme las puertas en la investigación, brindándome las herramientas necesarias la realización del proyecto de maestría creciendo como profesional.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Justificación y Planteamiento del Problema	17
2. Hipótesis	21
3. Objetivos.....	22
3.1 Objetivo General.....	22
3.2 Objetivos Específicos.....	22
4. Marco Teórico.....	23
4.1 Gestión de desastres.....	23
4.2 Gestión de inventarios en logística Humanitaria	23
4.3 Modelo general de inventario	25
4.3.1 Modelos de inventario.....	26
4.3.1.1 Revisión periódica.	26
4.3.1.2 Sistema de revision de orden fijo.....	27
4.4 Transbordo lateral	28
4.5 Sistema Dinámico.	29
4.7 Autómata Celular	33
4.9 Autómata Celular probabilístico.....	39

5. Revisión de la literatura	44
5.1 Gestión de Inventario	47
5.2 Transbordo lateral en la cadena de suministro.....	48
5.3 Modelos Estocásticos.....	51
5.4 Autómatas Celulares aplicados al modelo de logística e inventario en posdesastres.....	54
5.4.1 Autómatas Celulares en la gestión de desastres.....	54
5.5 Redes Sociales en la Gestión de desastres.....	55
7. Formulación de los modelos Matemáticos	59
7.1.1 Características del modelo de revisión periódica.....	62
7.1.2 Características del modelo de revision de orden fija.....	64
8. Obtención de soluciones a partir de los Modelos	66
8.1 Situación de Estudio	66
8.1.2 Simulación bajo el modelo de inventario de revisión Periódica.....	67
8.1.3 Simulación bajo el modelo de inventario de revisión de orden fija.....	72
8.1.4 Transbordo Lateral.....	79
9. Modelo de Automatas Celualres Probabilisticos	81
9.1 Modelo basado en gestión de inventarios en logística humanitaria.....	82
10. Modelo de Validación.....	91
10.1 Validación bajo el modelo de revision periódica.....	91
10.1.2 Simulación de inventario sin entrega periódica ni transbordo lateral.....	95

10.1.3 Simulación de inventario con entrega periódica, pero sin transbordo lateral.	96
10.1.5 Simulación de inventario con entrega periódica y transbordo lateral.	108
10.2 Validación bajo el modelo de revisión de orden fija.	110
10.2.1 Simulación de inventario sin entrega periódica ni transbordo lateral.	114
10.2.2 Simulación de inventario con entrega periódica, pero sin transbordo lateral.	115
10.2.3 Simulación de inventario sin entrega periódica, pero con transbordo lateral.	116
10.2.4 Simulación de inventario con entrega periódica y transbordo lateral.	117
11. Redes Sociales	120
11.1 Procesamiento de lenguaje Natural.....	122
12. Conclusiones.....	134
Referencias Bibliográficas	137

Lista de Tablas

Tabla 1.Revisión de literatura	45
Tabla 2. Condiciones para el Modelo	67
Tabla 3. Simulación de la demanda bajo distribución normal.....	68
Tabla 4. Condiciones del modelo.....	69
Tabla 5. Condiciones para el Modelo	73
Tabla 6. Simulación de la demanda bajo distribución normal.....	73
Tabla 7.ondiciones para la simulación del modelo de revisión de orden fijo.....	75
Tabla 8mulación de Monte Carlo, Parámetros	87
Tabla 9Parámetros inventario periódico.	92
Tabla 10 Probabilidades de transición	93
Tabla 11Variables de probabilidad	98
Tabla 12 Parámetros inventario de orden fijo.....	112
Tabla 13 Probabilidades de transición	113

Lista de Figuras

Figura 1. Modelo base de Inventario de Revision periódica	26
Figura 2. Modelo base de Inventario de Revision de Orden Fija.	27
Figura 3. Un ejemplo de una red de distribución de múltiples ubicaciones.	29
Figura 4. Descripción de un sistema dinámico.	31
Figura 5 vecindad de Von Newman.....	35
Figura 6 Juego de la vida	36
Figura 7 Matriz unidimensional con dos estados: normal (0) y anormal (1).....	38
Figura 8 Reparación probabilística por unidades normales.....	39
Figura 9 Modelo de autómata celular probabilístico	41
Figura 10 Transición probabilidades para una celda central y las celdas vecinas más cercanas. 43	
Figura 11 Desarrollo de patrones en blanco y negro generados por simulaciones de Monte Carlo.	44
Figura 12. Distribución y agrupamiento de Albergues.	58
Figura 13 Stock de seguridad con Demanda Probabilística.....	64
Figura 14. Distribución Normal de la demanda.....	68
Figura 15. simulación del inventario	69
Figura 16 Simulación del modelo de inventario “revisión periódica”.....	71
Figura 17. Distribución Normal de la demanda.....	73
Figura 18. Simulación de Inventarios	76
Figura 19 Simulación modelo de inventario de orden fija.....	78
Figura 20. Proceso de un autómata celular probabilístico con sus probabilidades de transición. 84	
Figura 21. Escenario 1	88

Figura 22. Escenario 2	88
Figura 23. Escenario 3	89
Figura 24. Escenario 4	89
Figura 25 transición de estados.....	94
Figura 26. Evolución de Probabilidad de un Albergue escenario.....	95
Figura 27 Evolución del inventario en un Albergue escenario 2.....	97
Figura 28 Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h = 0.9$ y $p_5 = 0.2$	100
Figura 29 Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h = 0.5$ y $p_5 = 0.2$	100
Figura 30 Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h = 0.9$ y $p_5 = 0.5$	101
Figura 31 Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h = 0.5$ y $p_5 = 0.5$	102
Figura 32 Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h = 0.9$	104
Figura 33 Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h = 0.5$	105
Figura 34 Evolución de probabilidad de un albergue en estado normal.....	106
Figura 35 Evolución de probabilidad de un albergue en estado anormal.....	107
Figura 36 Evolución de Probabilidad de un Albergue en estado Normal.....	108
Figura 37 Evolución de Probabilidad de un Albergue en estado Anormal.....	109
Figura 38 Evolución de un albergue escenario 1	114
Figura 39 Evolución de un albergue escenario 3, con $p_h = 0.9$	116
Figura 40 Evolución de un albergue escenario 3, con $p_h = 0.5$	117
Figura 41 Evolución de un albergue escenario 4, con $p_h = 0.9$	118
Figura 42 Evolución de un albergue escenario 4, con $p_h = 0.5$	118
Figura 43. Metodología para el descubrimiento de conocimiento en base de datos.....	122
Figura 44 Nube de Palabras	123

Figura 45 Numero óptimo de tópicos	126
Figura 46 Asociación del término Damnificados con otras palabras	127
Figura 47 Asociación del término ayudar con otras palabras	128
Figura 48 Asociación del término apoyando con otras palabras	129
Figura 49 Asociación del término donaciones con otras palabras	130
Figura 50 Asociación del término hospital con otras palabras	131
Figura 51 Asociación del término prioridad con otras palabras	132
Figura 52 13 temas de interés a partir de la base de datos	133

Lista de Apéndices

Ver los apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca

UIS

Apéndice A designación de grupos de albergues.

Apéndice B Validación bajo el modelo de revisión periódica.

Apéndice C. Validación bajo el modelo de revisión de orden fija.

Apéndice D Simulación gestión de inventario revisión periódica de albergues.

Apéndice E Simulación gestión de inventario revisión periódica de albergues.

Apéndice F Simulación gestión de inventario revisión periódica de albergues.

Apéndice G Simulación gestión de inventario revisión periódica de albergues.

Apéndice H Simulación gestión de inventario de orden fija de albergues.

Apéndice I Simulación gestión de inventario de orden fija de albergues.

Apéndice J Simulación gestión de inventario de orden fija de albergues.

Apéndice K Simulación gestión de inventario de orden fija de albergues.

Resumen

Título: Modelo de decisión para la gestión de inventarios en logística humanitaria en la etapa posdesastre de sismos en Bucaramanga basado en autómatas celulares probabilísticos.*

Autor: Víctor Alfonso Sanabria Ruiz**

Palabras Clave: Autómatas Celulares Probabilísticos, Gestión de Inventarios, Logística Humanitaria, Minería de texto

Descripción: De acuerdo a la Red Sismológica Nacional de Colombia, en la zona de Santander existe la llamada falla Santa Marta-Bucaramanga. El Servicio Geológico Colombiano reporta la posible existencia de una antigua zona de subducción, inserción de una placa debajo de otra, con sismicidad alta de Boyacá a Norte de Santander. Según análisis de la Red Sismológica de Colombia, se presentaron en el 2016 cerca de 11 mil movimientos telúricos y en los primeros nueve meses del 2017 ya había superado esta cifra de los cuales el 50% de los movimientos se registraron en Santander, incrementando el riesgo ante un sismo de gran magnitud. Desabastecimientos, pérdidas económicas y humanas, están dentro de los factores más posibles de ocurrencia. Así que una buena gestión de riesgo ante un desastre sísmico necesita de herramientas fiables que apoyen a los diferentes actores en el proceso de toma de decisiones.

Ahora bien, se propone un enfoque de sistema dinámico mediante el uso de autómatas celulares probabilísticos, gestión de inventarios y el transbordo lateral, que permiten modelar la interacción del sistema; se considera que de esta manera se puede mejorar la efectividad de las actividades de ayuda entre albergues. Así, que se presenta un modelo de decisión orientado a la gestión de inventarios en logística humanitaria en la fase de posdesastres ante un posible sismo; el modelo propuesto vincula inventarios de demanda estocástica con revisión periódica y de orden fija para la toma de decisiones en las fases de posdesastres en el proceso de gestión de suministros con transbordo lateral, de igual forma se realiza una simulación con autómatas celulares probabilísticos bajo diferentes escenarios enfocado en la distribución humanitaria, por ultimo las redes sociales hacen una parte importante en la toma de decisiones refiriéndose a la información y emociones expresadas a la hora del evento.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: PhD. Henry Lamos Díaz.

Abstract

Title: Decision model for inventory management in humanitarian logistics in the post-disaster phase of earthquakes in Bucaramanga based on probabilistic cellular automata*

Author: Víctor Alfonso Sanabria Ruiz¹

Key Words: Probabilistic Cellular Automata, Inventory management, Humanitarian Logistics, Text mining

Description: According to the National Seismological Network of Colombia, in the Santander area there is the so-called Santa Marta-Bucaramanga fault. The Colombian Geological Service reports the possible existence of an old subduction zone, insertion of one plate under another, with high seismicity from Boyacá to Norte de Santander. According to the analysis of the Colombian Seismological Network, there were about 11 thousand earthquakes in 2016 and in the first nine months of 2017 this figure had already exceeded, of which 50% of the movements were registered in Santander, increasing the risk before an earthquake of great magnitude. Shortages, economic and human losses, are among the most possible factors of occurrence. So good risk management in the event of a seismic disaster needs reliable tools that support the different actors in the decision-making process.

Now, a dynamic system approach is proposed through the use of probabilistic cellular automata, inventory management and lateral transshipment, which allow modeling the interaction of the system; It is considered that in this way the effectiveness of aid activities between shelters can be improved. Thus, a decision model oriented to inventory management in humanitarian logistics in the post-disaster phase is presented in the event of a possible earthquake; The proposed model links stochastic demand inventories with periodic and fixed order review for decision-making in the post-disaster phases of the supply management process with lateral transshipment, in the same way a simulation is carried out with probabilistic cellular automata under different scenarios. focused on humanitarian distribution, finally, social networks play an important part in decision-making referring to the information and emotions expressed at the time of the event.

* Degree Work

¹ Faculty of Physicomechanical Engineering, Insutrial and Busisess School. Director: Ph.D. Henry Lamos Díaz

Introducción

De acuerdo a la Red Sismológica Nacional de Colombia, en la zona de Santander existe la llamada falla Santa Marta-Bucaramanga. El Servicio Geológico Colombiano reporta la posible existencia de una antigua zona de subducción, inserción de una placa debajo de otra, con sismicidad alta de Boyacá a Norte de Santander. Según análisis de la Red Sismológica de Colombia, La zona del Pacífico, alrededor de las cordilleras y en la Costa Caribe, son zonas con alta sismicidad que se presentan con frecuencia. Hay regiones con potencial para que los sismos se presenten y puedan ser mayores como, por ejemplo, en los límites entre Chocó y Antioquia, en La Mesa de Los Santos (Santander) las condiciones geológicas hacen que se presenten mucho estos fenómenos incrementando el riesgo ante un sismo de gran magnitud. Desabastecimientos, pérdidas económicas y humanas, están dentro de los factores más posibles de ocurrencia. Así que una buena gestión de riesgo ante un desastre sísmico necesita de herramientas fiables que apoyen a los diferentes actores en el proceso de toma de decisiones. Modelos como los sistemas complejos son un factor importante en la logística humanitaria y es aquí donde la investigación de operaciones juega un papel importante en la planificación y respuesta.

Las operaciones de logística e inventario, han sido cada vez más reconocidas en el sector humanitario en los últimos años. Un problema a considerar es el nivel de inventario que debido a condiciones caóticas que se presentan después de un desastre provoca inestabilidad en los albergues, en lo que respecta a la cantidad de inventario óptimo que se debe manejar para satisfacer las necesidades. Hay tareas de alta complejidad en la información como en el modelo de las realidades en este contexto, involucrando almacenamiento, gestión de inventarios, transporte y funciones de distribución. Las políticas como el transbordo lateral, modelos de revisión de orden

fija, modelos de inventario periódico, sistemas dinámicos y las redes sociales hacen a este modelo una herramienta importante para la toma de decisiones refiriéndose a la información y emociones expresadas a la hora del evento. Todo esto permite una posible caracterización de la demanda, y así los equipos de emergencia puedan intervenir de forma eficaz ante un posible sismo en la ciudad de Bucaramanga.

Ahora bien, se propone un enfoque de sistema dinámico mediante el uso de autómatas celulares probabilísticos, que permiten modelar la interacción del sistema. Se considera que de esta manera se puede mejorar la efectividad de las actividades de ayuda entre albergues. Así, que el presente trabajo propone diseñar un modelo de decisión orientado a la gestión de inventarios en logística humanitaria en la fase de posdesastres ante un posible sismo, considerando diferentes escenarios posibles que se pueden presentar ante un evento en la ciudad de Bucaramanga, de igual forma se desarrollará un estudio en minería de texto y así verificar que tan viable son las redes sociales para proporcionar información en un evento posdesastres.

Este documento está organizado así: en la sección 1 se presenta el planteamiento del problema y la justificación del mismo; la sección 2 se plantea la hipótesis a corroborar; posteriormente en la sección 3 se define los objetivos que persigue la investigación; en la sección 4 representa un marco teórico de los temas principales del proyecto; seguidamente en la sección 5 se presenta un resumen de la revisión de literatura realizada sobre el tema propuesto; la designación de grupos de albergues se encuentra en la sección 6; en la sección 7 se realiza la formulación de los modelos matemáticos; así como el capítulo 8, 9 y 10 contiene, respectivamente, solución a partir del modelo matemático, Modelo de Autómata Celular Probabilístico y la validación del

modelo; en el capítulo 11, se encuentra el análisis de las redes sociales; finalmente las conclusiones aparecen en la sección 12.

1. Justificación y Planteamiento del Problema

Los terremotos son los desastres naturales que más vidas han cobrado en los últimos años, según el centro para la Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres CRED. Entre 1998 y 2017 los desastres relacionados con el clima y la geofísica dejaron víctimas a más de 1.3 millones de personas y dejaron otros 4.400 millones de heridos, Personas sin hogar, desplazados o que necesitan asistencia de emergencia. Si bien la mayoría de las víctimas se debieron a eventos geofísicos, principalmente terremotos y tsunamis, el 91% de todos los desastres fueron causados por inundaciones, tormentas, sequías, olas de calor y otros fenómenos meteorológicos extremos (Wallemacq, P. 2018). En el siglo XXI, los terremotos y los tsunamis han sido los desastres más mortales, tendencia que continuó en 2018. Desastres como en el sudeste de Asia y Melanesia, específicamente en Indonesia y Papúa Nueva Guinea respectivamente, en los primeros meses del año una serie de terremotos en Papúa Nueva Guinea dejó 181 víctimas y afectó a más de medio millón de personas, muchas de las cuales vivían en tierras altas remotas a las que era difícil llegar con ayuda y operaciones de rescate. En Indonesia, la isla de Lombok sufrió múltiples terremotos, el más mortal fue el 5 de agosto en el que murieron 564 personas. El 28 de septiembre, un terremoto provocó flujos de lodo y un tsunami en la isla de Sulawesi, que provocó la muerte a 3,400 personas, lo que lo convirtió en el desastre más mortal de 2018 (Guha-Sapir, 2019). Así mismo, en el norte de la isla de Célebes Indonesia, un terremoto de magnitud 7,5, provocó un tsunami que afectó las ciudades de Palu y Donggala, Fallecieron 2.256 personas. Además, hubo alrededor de 1.300 desaparecidos, más de 200 mil fueron desplazadas y miles de edificios sufrieron daños, la respuesta a este evento, requirió un desplazamiento enorme de recursos por parte de las Naciones Unidas y

organismos internacionales. Uno de los grandes desafíos fue la consecución de información y procedimientos adecuados para la distribución de recursos a los albergues. (Diario el Comercio 2018).

La ciudad de Bucaramanga ubicada en el departamento de Santander, es el área con mayor actividad sísmica del país, de acuerdo a la Red Sismológica Nacional de Colombia. Dentro de la administración municipal, se encuentran estudios geotécnicos tomados en cuenta en el Plan de Ordenamiento Territorial POT (2013-2027) y el Plan de la Gestión del Riesgo de Desastres PMGRD de Bucaramanga 2013, manifestando que la ciudad se encuentra en una zona vulnerable frente a un evento sísmico. además, factores como la acelerada urbanización y la baja prevención al momento de construir en cuanto a los requerimientos mínimos para asegurar una construcción sísmo resistente, hacen que las posibles pérdidas y número de afectados sean considerables.

Así mismo, después de un desastre natural, pueden presentar varias situaciones, como: desabastecimiento, pérdidas económicas, víctimas mortales y múltiples heridos, entre otras. Estas situaciones provocan desplazamientos de personas afectadas a los puntos de albergue para recibir su ayuda. Ante este entorno, el objetivo común para todas las operaciones de socorro es acceder a las personas necesitadas y entregar la ayuda a tiempo. La entrega, dependerá de la ubicación, el momento, el tipo y la intensidad del desastre. En función del tipo y la intensidad del desastre, puede haber diferencias significativas en las necesidades de las víctimas en cada uno de los albergues disponibles.

Lo anterior implica que durante y después de un desastre, es difícil recopilar información confiada, como la demanda, el estado de las vías de acceso, cantidad de personas que llegan a recibir ayuda y el estado de los albergues después de presentarse el evento, son algunos de los factores que se pueden presentar, llevando a posibles desequilibrios en el nivel de inventario. Por tanto, la cadena de suministro y los tomadores de decisiones deben diseñar un modelo para proporcionar las provisiones adecuadas con la calidad adecuada en el momento adecuado y el lugar correcto, apoyando la planeación estratégica de la atención y respuesta.

Debido a la condición caótica en ese momento, el nivel de inventario de socorro en cada uno de los albergues varía significativamente y algunos de ellos pueden carecer de elementos importantes. Generalmente, los países en desarrollo y las comunidades más pobres suelen verse más afectados por un posible sismo. La escasez y hambruna son aristas de la logística humanitaria; por ello se convierte en el centro de análisis de este trabajo a partir del estudio de un modelo de decisión basado en autómatas celulares probabilísticos y políticas de inventario.

Finalmente, el estudio del problema planteado es relevante, ya que permite seguir fortaleciendo la línea de investigación de logística humanitaria del grupo de investigación OPALO de la escuela de Estudios Industriales y Empresariales en su línea de investigación en la gestión de la cadena de suministros en lo que se refiere al modelado, simulación y optimización de sistemas de producción en logística humanitaria la cual se ha venido trabajando a lo largo de los últimos años en proyectos de maestría como: Aguilar (2016), desarrollando una herramienta computacional que integró las decisiones de localización y ruteo para la planeación de la evacuación en desastres por sismos en la ciudad de Bucaramanga empleando un enfoque

optimización evolutiva multiobjetivo. Así mismo, Martínez (2017), continuo la línea de investigación diseñando un sistema de apoyo a la toma de decisiones para actividades logísticas involucradas en un contexto de desastres sísmicos en la ciudad de Bucaramanga en lo que se describe a selección de albergues temporales, asignación de población afectada y distribución de ayudas humanitarias, combinando modelos de Aprendizaje Automático. Este proyecto continua con la línea de investigación enfocada en un modelo de gestión y distribución de inventarios de socorro en un contexto de posdesastres por sismos en la ciudad de Bucaramanga basado en modelos de gestión de inventarios, transbordo lateral y autómatas celulares probabilísticos, haciendo referencia a que las anteriores investigaciones a pesar que tuvieron en cuenta la distribución de ayudas humanitarias con su vulnerabilidad de las rutas este modelo plantea un transbordo lateral que posiblemente pueda ayudar a la distribución de inventario manteniendo los niveles adecuados en cada uno de los albergues sin que haya escases de inventario, permitiendo que se generen nuevas investigaciones a partir de nuevos proyectos enfocadas a un desarrollo para la ciudad.

2. Hipótesis

El problema de gestión de inventarios en caso de desastres, resuelto mediante Autómatas celulares probabilísticos y redes sociales, puede mejorar el desequilibrio en el nivel de inventario en cada ubicación de almacenamiento o albergue.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Diseñar un modelo de decisión orientado a la gestión de inventarios en logística humanitaria en la fase de posdesastres ante un posible sismo mediante autómatas celulares probabilísticos para la ciudad de Bucaramanga.

3.2 Objetivos Específicos

- Revisar en la literatura los modelos de sistemas de inventario en la gestión de desastres naturales para identificar la aplicación de los autómatas celulares probabilísticos en la distribución de suministros.
- Desarrollar modelos de inventarios con demanda estocástica y revisión de orden fija para la toma de decisiones en las fases de posdesastres en el proceso de gestión de suministros con transbordo lateral.
- Construir un modelo de Autómata celular Probabilístico para describir el comportamiento de la distribución de inventario en la respuesta ante desastres por sismos en la ciudad de Bucaramanga.
- Validar el modelo construido mediante instancias (escenarios) para verificar la coherencia de los resultados.

4. Marco Teórico

4.1 Gestión de desastres

Es la función que abarca una gama de procesos que incluyen preparación, planificación, adquisición, transporte, almacenamiento y seguimiento de activos. Así como información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo con el fin de aliviar el sufrimiento de las personas vulnerables. Sin embargo, varios factores pueden obstruir los flujos de socorro e información en las operaciones. Los problemas, como la escasez logística, la imprevisibilidad de la ocurrencia de desastres, la demanda y el inventario social, significan que las cadenas de suministro humanitario deben diseñarse para proporcionar los suministros correctos con la calidad y el momento adecuado para el cliente final. (Minie, S. M., et al. ,2017)

4.2 Gestión de inventarios en logística Humanitaria

Las actividades de gestión de inventarios se encuentran enmarcadas dentro de la logística humanitaria como la planificación, coordinación y control de flujos. Las dos primeras contemplan actividades a realizar previas al evento disruptivo que permiten una reducción de los efectos esperados como la planificación y coordinación en el medio y largo plazo. Buscando proporcionar servicios básicos a una comunidad de forma permanente, contribuyendo a su auto-suficiencia y a resolver problemas crónicos o estructurales de la misma. La actividad siguiente toma lugar después de la ocurrencia del desastre y tiene como objetivo el control de flujos. Lo cual es una tarea difícil debido a las variaciones en la demanda, los tiempos de entrega y localización. Son acciones, que

tienen lugar en el corto plazo y que buscan suministrar de forma puntual ayudas humanitarias necesarias para la supervivencia a la población afectada por una catástrofe humanitaria. (gallego, R. C., y Viñas, J. B. 2011).

De igual forma los desastres naturales a menudo resultan en un gran número de personas evacuadas que están temporalmente alojadas en escuelas, iglesias y otros albergues. La repentina afluencia de personas que buscan refugio crea demandas de suministros de emergencia, que deben entregarse rápidamente. Por eso, el sistema de inventarios es una actividad transversal a la cadena de abastecimiento que constituye uno de los aspectos logísticos más complejos en cualquier sector de la economía. Las inversiones en los inventarios son cuantiosas y el control de capital asociado a las materias primas, los inventarios en proceso y los productos finales, constituyen una potencialidad para lograr mejoramientos en el sistema (Gutiérrez, V., y Vidal, C. J. 2008).

Las características de los sistemas de inventarios de ayuda en casos de desastre son importantes para su gestión, debido a que consisten en reforzar la capacidad Nacional, de forma que la administración de los suministros sea eficaz, desde el momento en que los donantes ofrecen la ayuda hasta la llegada de esta y su distribución en la zona afectada por el desastre. A medida que aumenta la frecuencia de los desastres, la gestión de inventarios de ayuda es un área que cada vez es más importante para la investigación científica. Décadas de trabajo por parte de investigadores académicos ha proporcionado un enorme conocimiento sobre la gestión de inventarios en tiendas minoristas, instalaciones de producción, almacenes y otras instalaciones empresariales. En el nivel macro, los economistas han estudiado durante mucho tiempo la relación entre los niveles de inventario agregados y el comportamiento económico. Sin embargo, la

investigación de inventario de socorro humanitario ha sido muy limitada, una excepción está en el área de servicios de salud. La comunidad médica ha estudiado el manejo de las reservas de medicamentos, sangre y suministros médicos durante bastante tiempo (Bechtel, G. A., Hansberry, A. H., y Gray-Brown, D., 2000). Alguno de los modelos que han sido aplicados en el área de servicios de salud se pretenden adaptar como modelos para la gestión de inventarios de socorro en casos de desastre.

4.3 Modelo general de inventario

Todas las organizaciones tienen algún sistema de planificación y control de inventarios. Los bancos tienen métodos para controlar su inventario de caja. Los hospitales tienen métodos para controlar los suministros de sangre y de fármacos, los organismos de socorro la finalidad principal es determinar el nivel de existencias adecuado para minimizar las roturas de stocks y poder atender en todo momento a la demanda. Los organismos oficiales, los colegios y, por supuesto, casi todas las organizaciones de fabricación, producción y servicio se preocupan por planificar y controlar sus inventarios.

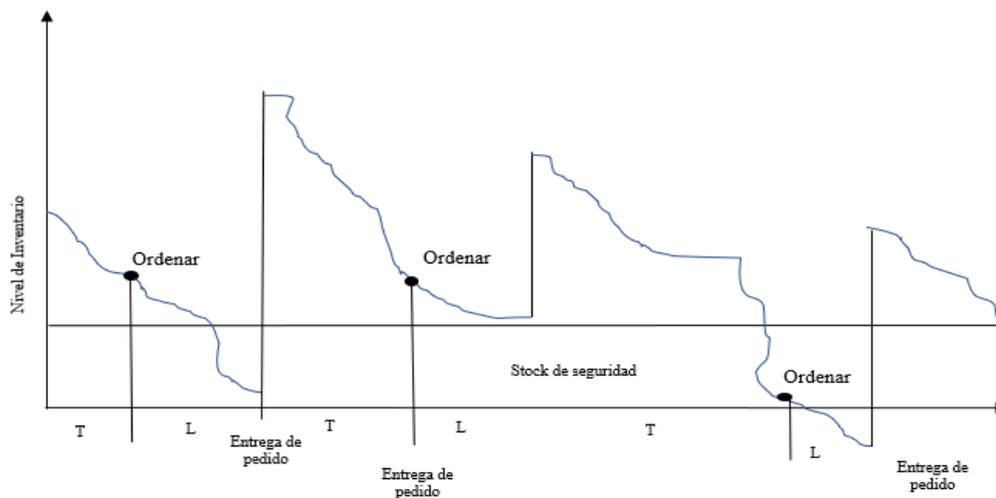
La naturaleza del problema de los inventarios consiste en colocar y recibir en forma repetida pedidos u órdenes de determinados tamaños a intervalos de tiempo establecidos. Desde este punto de vista, una política de inventario contesta las dos siguientes preguntas: ¿cuánto pedir? y ¿cuándo pedir? el sistema de inventario se puede basar en la revisión periódica, por ejemplo, pedir cada semana o cada mes, cuando se reciben nuevos pedidos al iniciar cada periodo.

4.3.1 Modelos de inventario

4.3.1.1 Revisión periódica. Un sistema de revisión periódica del inventario (conocido también como modelo P) es aquel en el cual el inventario de un ítem es revisado cada intervalo de tiempo fijo, y se realiza una orden por el monto apropiado, es decir, el tamaño de pedido varia con el comportamiento de la demanda, para el modelo la pregunta relevante es ¿cuánto ordenar? En la figura 1 se evidencia las características básicas del inventario con revisión periódica.

Figura 1.

Modelo base de Inventario de Revision periódica



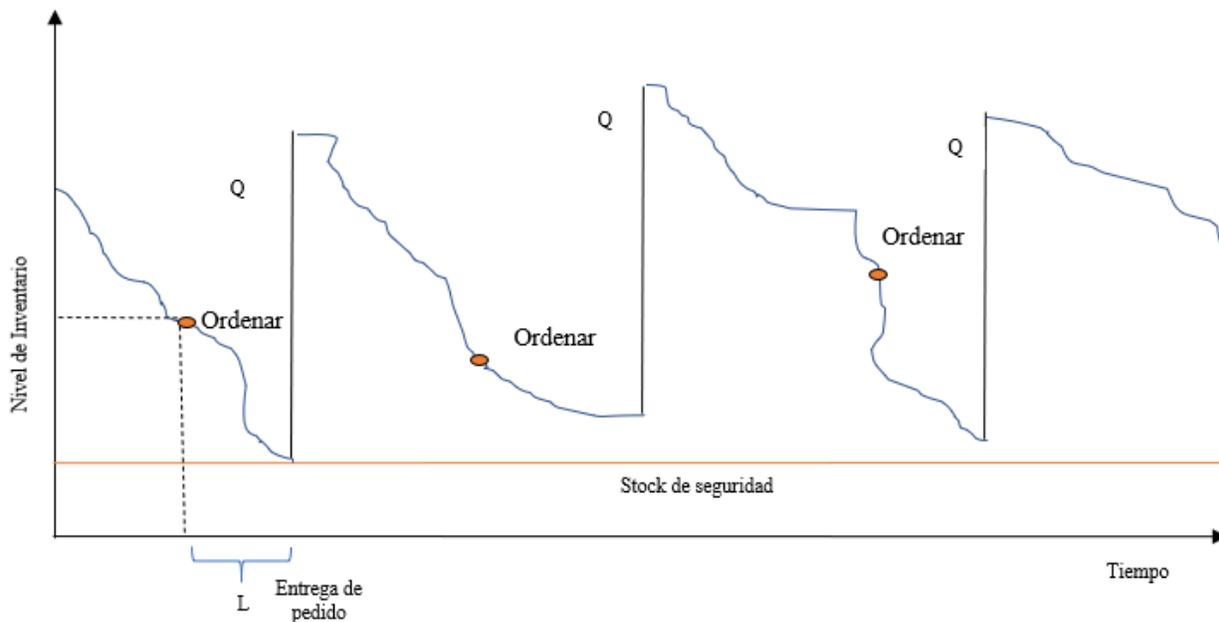
Los pedidos son realizados cada intervalo de tiempo fijo (T) y la reposición tarda exactamente L unidades de tiempo en ser entregadas. El tamaño de los pedidos es variable y está influenciado por el volumen de productos que se dispone en inventarios al momento de emitir el pedido.

4.3.1.2 Sistema de revision de orden fijo. También se denomina sistema Q, sistema de punto de reorden o sistema de cantidad de pedido fijo. En este tipo de sistema de control de inventario, cada vez que se realiza el retiro de un artículo, se efectúa el control del inventario restante, en otras palabras, se revisa el nivel del inventario resultante teniendo en cuenta que:

- Si el inventario resultante está por debajo de determinado nivel, se coloca un nuevo orden.
- Si el inventario resultante no está por debajo del nivel, sigue consumiéndose.

Figura 2.

Modelo base de Inventario de Revision de Orden Fija.



Si la cantidad de artículos llega a un nivel específico en el inventario, se solicita una nueva orden de pedido y se denomina como Q. Ese nivel específico es lo que se conoce como **punto de reorden** o punto de reposición.

Hay que tener en cuenta que esta Q , siempre va a ser fija, pero el tiempo entre uno y otra Q es variable; si no fuere así se estaría ante un **modelo determinístico**, que es cuando se conoce con certeza la demanda y el lead time.

4.4 Transbordo lateral

Los transbordos laterales dentro de un sistema de inventario son movimientos de existencias entre ubicaciones del mismo escalón, que atribuye a un solo centro de distribución que funge como el repositorio central entre el proveedor del inventario y los puntos de albergues. Se pueden identificar dos líneas principales de literatura sobre transbordos laterales que difieren en el momento de los transbordos. Los transbordos laterales pueden restringirse para que se realicen en momentos predeterminados antes de que se realice toda la demanda, o pueden realizarse en cualquier momento para responder a desabastecimientos o desabastecimientos potenciales. Estos transbordos son: transbordo proactivo y transbordo reactivo. En los modelos de transbordo proactivo, los transbordos laterales se utilizan para redistribuir el stock entre todos los puntos de almacenamiento en un escalón en momentos predeterminados en el tiempo.

Estos transbordos pueden llevarse a cabo periódicamente en puntos predeterminados para redistribuir proactivamente las existencias, o pueden usarse de manera reactiva como un método para satisfacer la demanda que no puede satisfacerse con las existencias disponibles.

El reabastecimiento desde un albergue cercano y no desde el centro de distribución, puede resultar mejor para el rendimiento del servicio del sistema, dichos envíos entre albergues se

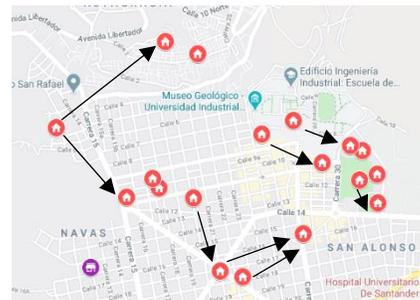
denominan transbordos laterales (de emergencia) dentro del mismo escalón, que permiten agrupar sus inventarios permitiendo reducir los niveles de inventarios y los costos mientras logran los niveles de servicio requeridos, como se ilustran gráficamente en la (Figura. 3a). Esto debido a las personas afectadas que acuden a los albergues y agotan sus existencias dependiendo de las necesidades, el agotamiento del stock ocurre más rápido en algunos albergues que en otros. Para evitar situaciones de desabastecimiento, los albergues pueden compartir sus inventarios, si la cantidad del producto en un albergue es insuficiente para satisfacer las demandas de las personas en los próximos días, los kits de ayuda pueden transferirse desde otros albergues en la red de distribución del mismo escalón (Figura. 3b).

Figura 3.

Un ejemplo de una red de distribución de múltiples ubicaciones.



a. Distribución desde el centro de distribución



b. Transbordo Lateral

En el trabajo, se analizará esta situación particular y se desarrollará un modelo de autómatas celulares probabilísticos para un problema de transbordo lateral y de envío directo del centro de distribución.

4.5 Sistema Dinámico.

Un sistema se define como una colección de elementos que continuamente interactúan para formar un conjunto unificado. El término dinámico hace referencia al cambio a lo largo del tiempo.

Si algo es dinámico, es porque se está modificando constantemente. A partir de esto un sistema dinámico es aquel en el cual las variables se modifican para producir cambios a lo largo del tiempo. La manera por la cual los elementos o las variables de un sistema cambian con el tiempo se denomina comportamiento del sistema, realizan intercambios cuantificables entre sí (materia, información, energía...etc.) de acuerdo a unas reglas o “leyes” utilizadas para describir el comportamiento de los sistemas complejos dinámicos, por lo general mediante el empleo de las ecuaciones diferenciales o ecuaciones de diferencia. Cuando se emplean las ecuaciones diferenciales, la teoría se llama sistemas dinámicos continuos, lo cual es expresado como una ecuación diferencial ordinaria, por ejemplo:

$$\frac{dx}{dt} = ax(1 - x) \quad (1)$$

x es la variable que cambia con el tiempo t . La variable cambiante x es normalmente un número real. Estos sistemas se utilizan, por ejemplo, en dinámica poblacional, en la que se estudia la evolución de una población con el paso de los días, años, o generaciones.

Cuando se emplean ecuaciones de diferencia, la teoría se llama sistemas dinámicos discretos si el tiempo se mide en pequeños lapsos; estos son modelados como relaciones recursivas, tal como la ecuación logística:

$$x_{t+1} = ax_t(1 - x_t) \quad (2)$$

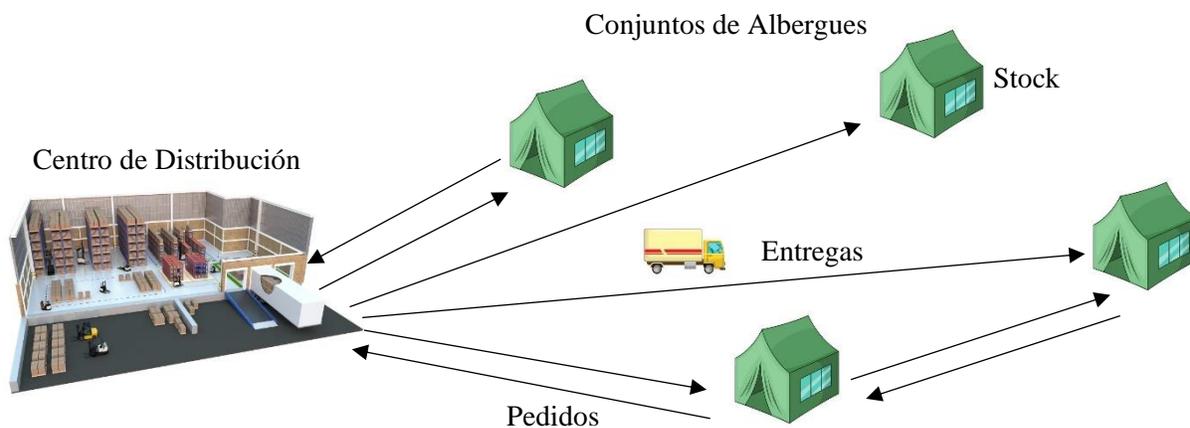
t denota los pasos discretos del tiempo y x es la variable que cambia con este.

Un sistema dinámico tiene un estado determinado por un conjunto de números reales, o más generalmente por un conjunto de puntos en un adecuado espacio de estado. Pequeños cambios en el estado del sistema corresponden a pequeños cambios en los números. Los números son también las coordenadas de un espacio. La regla de evolución del sistema dinámico es una regla fija que describe lo que los estados futuros se derivan de la situación actual. La regla puede ser determinista (para un intervalo de tiempo dado sólo un estado futuro se deduce de la situación actual) o estocástico (la evolución del estado está sujeto a perturbaciones aleatorias).

El sistema queda definido por un estado, que es un conjunto de variables (variables de estado) que describen su situación. Por poner un ejemplo, unos albergues en una situación de emergencia pueden quedar definidos por las cantidades en stock que requieren, mediante el siguiente ejemplo se pueden definir los siguientes intercambios.

Figura 4.

Descripción de un sistema dinámico.



En la figura 4 Aún se pueden incluir más factores que interactúen, expectativas de los damnificados, costos de transporte, disponibilidad de ciertos recursos críticos, disponibilidad de

personal, red de proveedores, donantes, distribuidores, personas afectadas y los organismos de socorro, que se preocupan colectivamente por la distribución de ayudas humanitarias para cubrir las diferentes necesidades que pueden ocurrir ante un posible desastre.

4.6 Sistemas complejos

Los sistemas complejos se caracterizan fundamentalmente porque su comportamiento es imprevisible:

- En primer lugar, **está compuesto por una gran cantidad de elementos relativamente idénticos**. Por ejemplo, las células en un organismo, o las personas en una sociedad.
- En segundo lugar, **la interacción entre sus elementos es local** y origina un comportamiento emergente que no puede explicarse a partir de dichos elementos tomados aisladamente. Un desierto puede contener billones de granos de arena, pero sus interacciones son excesivamente simples comparadas con las que se verifican en las abejas de un enjambre.
- Por último, es **muy difícil predecir su evolución dinámica futura**; o sea, es prácticamente imposible vaticinar lo que ocurrirá más allá de un cierto horizonte temporal.

En la naturaleza se pueden encontrar una gran cantidad de ejemplos de sistemas complejos que se extienden desde la física hasta la neurología, desde la economía hasta la biología molecular,

desde la sociología hasta las matemáticas. Por ese motivo, esta clase de sistemas no constituye un caso raro ni excepcional, sino que se manifiesta en la inmensa mayoría de los fenómenos que se observan a diario. Sin embargo, y a pesar de su gran diversidad y abundancia, se pueden identificar conductas dinámicas genéricas, no importa su naturaleza (física, química, biológica o social); entre ellas, las leyes de crecimiento, la autoorganización y los procesos colectivos emergentes. Como ejemplos de sistemas complejos se pueden mencionar -entre otros- una célula, un cerebro, un organismo, una computadora, un ecosistema, una sociedad de insectos, un sistema inmunológico o una economía de mercado.

4.7 Autómata Celular

Un autómata celular (A.C.) es un modelo matemático para un sistema dinámico que evoluciona en pasos discretos. Es adecuado para modelar sistemas naturales que puedan ser descritos como una colección masiva de objetos simples que interactúen localmente unos con otros. Los autómatas celulares son estructuras ideales para construir modelos computacionales de sistemas dinámicos o complejos; es posible, por ejemplo, lograr modelos que representen con suma fidelidad algunas leyes de la Física. El aspecto que más caracteriza a los autómatas celulares es su capacidad para dotar al conjunto de elementos del sistema, visto como un todo, con una serie de propiedades emergentes inducidas por su propia dinámica. (González L. D y Chaves F. J, 2006)

Los autómatas celulares se han utilizado para modelar una amplia gama de fenómenos físicos que incluyen flujos de tráfico, epidemias de enfermedades, crecimiento estocástico, dinámica depredador-presa, invasión de poblaciones, terremotos y dinámica de los mercados de

valores. Los modelos de autómatas celulares pueden ser deterministas o probabilísticos, según el componente para actualizar las reglas. Puede ser posible combinar el poder de la teoría del inventario empresarial, los autómatas celulares probabilísticos y el modelo de red de autorreparación para construir un modelo de logística e inventario aplicable a situaciones de ayuda humanitaria.

Mediante el siguiente ejemplo se presenta el modelo del autómata celular para profundizar en este, se recomienda leer la definición completa en (Vargas-Forero., 2019). El autómata celular se define como una tupla (G, S, N, R) , es decir, un conjunto ordenado de objetos caracterizados por:

- (G): la rejilla
- (S): los estados que pueden tomar una celda
- (N): la vecindad
- (R): reglas de transición

Para entender el comportamiento del autómata celular se representa mediante el juego de la vida, se observará el comportamiento de las celdas en $t = 6$, mediante el lenguaje de programación Python. lo cual se define como:

4.7.1 (G) Rejilla o cuadrícula, donde cada celda puede contener un estado.

- Cada celda es cuadrada, consta de un tablero plano infinito y tiene una medida de 100 *100.

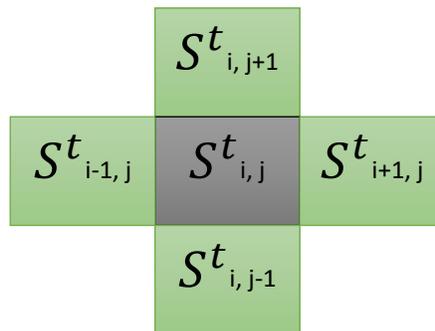
4.7.2 (S) Conjunto finito de estados que puede tomar una celda.

- cada celda puede tener dos estados: “**viva**” o “**muerta**”. El jugador puede disponer en el inicio del juego las casillas vivas como prefiera.

4.7.3 (N) Vecindad correspondiente a cada celda Para el ejemplo del juego de la vida se tomó como base la vecindad de Von Newman. Esta vecindad contiene celdas en la diagonal como se presenta en la Figura 5. Para entender un poco más el concepto ver Wolfram (1986).

Figura 5

vecindad de Von Newman



4.7.4. (R) Reglas de transición que definen el modelo del autómata celular.

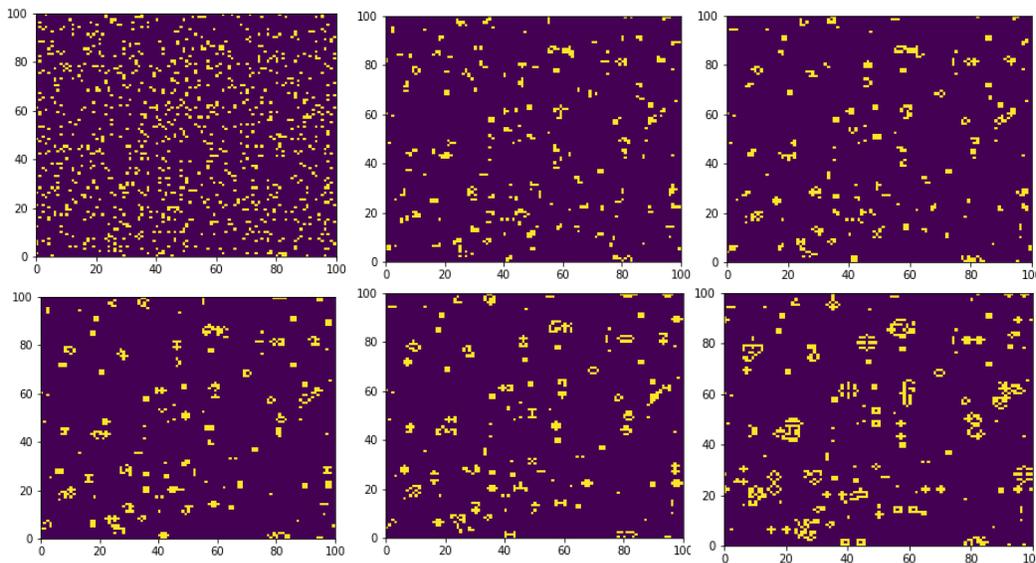
- Se debe tener presente las reglas de transición del comportamiento que estas van a seguir. Las reglas básicas son tres:
1. Una celda muerta con exactamente tres celas vecinas vivas se convierte en una celda viva. Esto se llama nacimiento.

2. Una casilla con dos o tres vecinos vivos permanece viva (se dice que sobrevive).
3. En cualquier otro caso, la casilla morirá ya sea por superpoblación (si tiene más de tres vecinos vivos) o de soledad/aislamiento (si tiene menos de dos vecinos vivos).

Al aplicar las reglas de transición se presenta a continuación en la figura 6 el resultado del juego de la vida después de un tiempo $t=6$

Figura 6

Juego de la vida



El Juego de la vida es un claro ejemplo de **Sistema Complejo**, es decir, un sistema que, como resultado de la interacción de sus distintos elementos, en este caso las casillas vivas y muertas, **surgen nuevas propiedades o elementos que no estaban previstos inicialmente**. Ha

sido utilizada para **comprender mejor el comportamiento caótico de las poblaciones**: células, bacterias, termitas y hasta atascos de tráfico (Vargas-Forero, V., Muñoz-Ceballos, L., y García-Baños, Á. 2020)

4.8 Modelo de Autorreparación

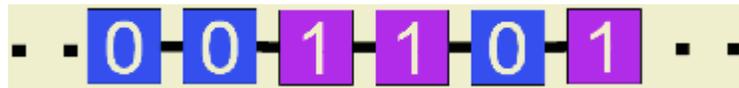
Una red de autorreparación consta de nodos capaces de reparar otros nodos donde la tasa de éxito de la reparación depende del estado (normal o anormal) del nodo de reparación. La red de autorreparación puede equipararse a un autómata celular probabilístico. Debido a la distinción entre reparación por nodos normales y nodos anormales, las probabilidades de transición como un autómata celular probabilístico exhiben simetría.

Para el ejemplo se considera autómatas celulares probabilística específicamente, para modelar la situación en la que las computadoras en una LAN se reparan mutuamente copiando su contenido. En el modelo, el sistema consta de unidades capaces de reparar otras unidades conectadas. Se llaman a las unidades conectadas como unidades vecinas según la terminología del autómata celular. La reparación se puede realizar copiando su contenido a las demás unidades, desde la aplicación a una red informática por LAN en nuestra mente. Aunque la reparación y las pruebas mutuas pueden realizarse de forma asincrónica, el modelo considera las interacciones sincrónicas para simplificar y para comparar con los modelos Autómatas Celulares probabilísticos existentes. Sin embargo, cada unidad intenta reparar sus unidades adyacentes, ya que la reparación se realiza al copiarlo, lo que podría hacer que las unidades adyacentes sean anormales en lugar de normales.

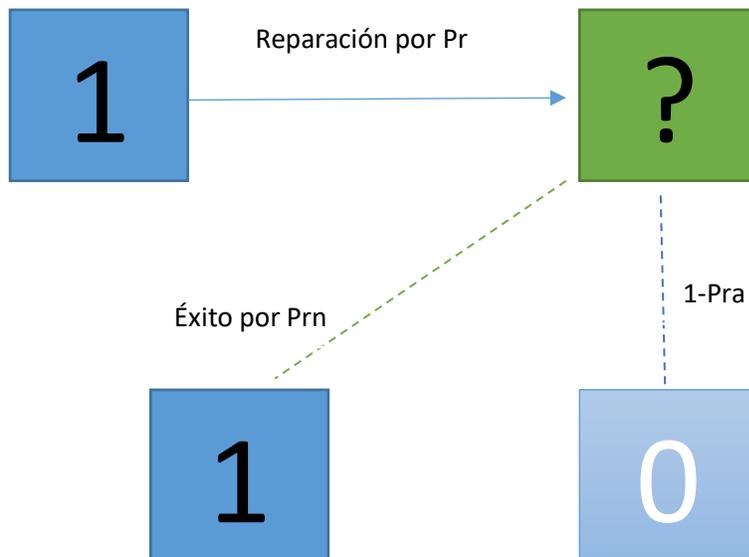
Cada unidad intenta reparar las unidades adyacentes de forma síncrona con una probabilidad Pr . Como se muestra en la Figura 7 que denota 0 o 1, la reparación será exitosa con la probabilidad Pr_n cuando la realice una unidad normal, pero con la probabilidad Pra cuando sea realizada por una unidad anormal ($Pra < Pr_n$). Se asume $Pr_n = 1$. Las unidades reparadas serán normales cuando toda la reparación sea exitosa. Por lo tanto, cuando la reparación la realizan las dos unidades adyacentes, todas estas dos reparaciones deben ser exitosas para que la unidad reparada sea normal.

Figura 7

Matriz unidimensional con dos estados: normal (0) y anormal (1).



Cada unidad intenta reparar las unidades adyacentes de forma síncrona con una probabilidad Pr . Como se muestra en la Figura 8, la reparación será exitosa con la probabilidad Pr_n cuando la realice una unidad normal, pero con la probabilidad Pra cuando sea realizada por una unidad anormal ($Pra < Pr_n$). Para esto, se asume que $Pr_n = 1$. Las unidades reparadas serán normales cuando toda la reparación sea exitosa. Por lo tanto, cuando la reparación la realizan las dos unidades adyacentes, todas estas dos reparaciones deben ser exitosas para que la unidad reparada sea normal. (Yoshiteru Ishida 2005)

Figura 8*Reparación probabilística por unidades normales***4.9 Autómata Celular probabilístico**

Un autómata celular probabilístico. Se define como el conjunto de reglas que el autómata celular, se aplica de manera uniforme a todas las celdas del espacio celular, pero cada cambio de estado tiene una probabilidad de ocurrencia; se denominara como AC probabilístico uniforme (ACPU)

Sea M un AC probabilístico

$$M = \{G, S, N, R, P\} \quad (3)$$

P es una función $P: R \rightarrow S$. la probabilidad de que una transición R origine el nuevo

estado s se denotara con, $p(R,s)$. Los componentes G, S, N, R ; mantienen el significado de la sección 4.7, a excepción de la función $P: R \times S \rightarrow S$. Representa la probabilidad de que la transición R produzca cambio de estado de s a s' se denota por $p(R, s' | s)$ y la probabilidad de que no se produzca cambio es $1 - p(R, s' | s)$.

Un autómata celular probabilístico comprende una red de celdas, cada una de las cuales puede tomar distintos valores de estado, la regla de transición local probabilística que especifica en cualquier paso de tiempo discreto el estado de la célula en función de los estados en pasos de tiempo anteriores de las células dentro de un vecindario dado, como lo muestra el siguiente ejemplo.

Se considera un modelo de autómata celular probabilístico en el que dos patrones en blanco y negro en desarrollo se describen solo por la interacción del vecino más cercano. Los patrones espacio-temporales están discretizados en dimensiones de tiempo, espacio y estado. Se utiliza una rejilla cuadrada como espacio bidimensional, y el paso de tiempo t_n se introduce mediante discretización en el espacio de tiempo. El estado de la celda (i, j) en el paso de tiempo $t_n + 1$, $S_{i,j}^{t_n+1}$, está determinado por el estado de la celda, $S_{i,j}^{t_n}$, y sus celdas vecinas más cercanas, $S_{i\pm 1, j\pm 1}^{t_n}$, en el paso de tiempo t_n . Aquí, el estado de las celdas tiene solo 2 estados disponibles (blanco y negro), lo cual es una discretización en estados. A los estados de blanco y negro se les asigna 1 y 0, respectivamente. Como dinámica de modelo, la evolución de la celda se describe mediante la probabilidad de transición. Por tanto, obtenemos la siguiente probabilidad de transición.

$$Prob(S_{i,j}^{t_n+1} = 1) = F(S_{i,j}^{t_n}, S_{i\pm 1, j\pm 1}^{t_n}) \quad (4)$$

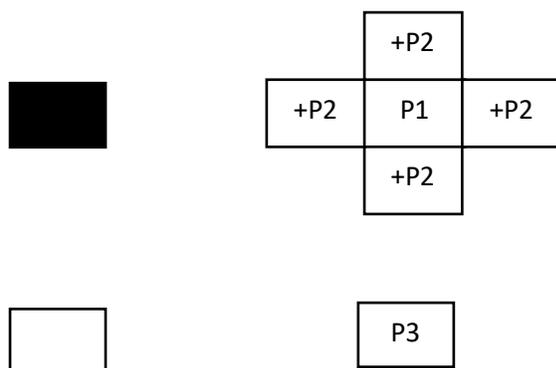
$$Prob(S_{i,j}^{tn+1} = 0) = 1 - F(S_{i,j}^{tn}, S_{i\pm 1, j\pm 1}^{tn}) \tag{5}$$

Aquí, $Prob(S_{i,j}^{tn+1} = 1)$ es la probabilidad de que el estado de la celda (i, j) sea 1 en $t_n + 1$. Como el valor del estado, 0 o 1, el modelo es aplicable a los patrones espacio-temporales complicados, como los patrones de actividad sísmica espacio-temporal. En cuanto a la aplicación del modelo a los patrones de actividad sísmica, se determina que el estado de las celdas es activo (1: negro) o inactivo (0: blanco).

En la figura 9 se muestra un modelo de autómatas celulares probabilísticos para desarrollar patrones en blanco y negro. El modelo tiene tres parámetros (p_1, p_2, p_3) que caracterizan la interacción del vecino más cercano. Se considera el significado del modelo que se muestra en la Figura 9. En caso de que sus cuatro celdas vecinas más cercanas sean los estados de 0 (blanco), el modelo probabilístico de autómatas celulares para desarrollar patrones espacio-temporales.

Figura 9

Modelo de autómatas celulares probabilísticos



La probabilidad de que la celda con el estado 1 (negro) en el paso de tiempo t_n sea el estado de 1 en $t_n + 1$ es p_1 . Las celdas con el estado 1 aumentan la probabilidad de que la celda vecina

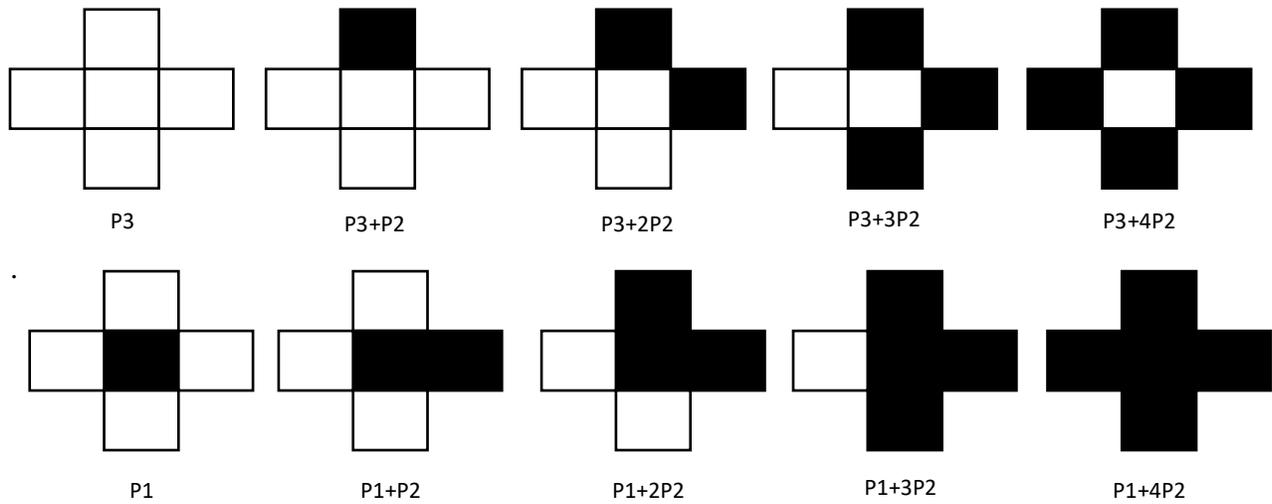
más cercana se convierta en el estado 1 en p_2 . En el caso de $p_2 > 0$, el efecto es activación y en el caso de $p_2 < 0$, el efecto es inhibición. La probabilidad de transición (en otras palabras, la probabilidad condicional) de la celda es una función de la celda y los estados de las celdas vecinas más cercanas. Cuando el número de celdas vecinas más cercanas con el estado de 1 es 4, 3, 2 o 1, la probabilidad de transición de que la celda se convierta en celda negra aumenta en $4p_2, 3p_2, 2p_2$ o p_2 , respectivamente. Si el estado de la celda es blanco, se usa p_3 en lugar de p_1 . Por lo tanto, podemos reescribir la ecuación. (6), y obtenga la probabilidad de transición en función de n y $S_{i,j}^{tn}$.

$$Prob(S_{i,j}^{tn+1} = 1) = F(S_{i,j}^{tn}, n) = F(S_{i,j}^{tn}) \quad (6)$$

Aquí, n es el número de celdas vecinas más cercanas cuyos estados son 1 (: negro) en el paso de tiempo t_n . Para simplificar, usaremos la notación de $S_{i,j}^{tn}$, que representa el estado de (i, j) y el número de sus celdas vecinas con el estado 1. ($S_{i,j}^{tn} = (S_{i,j}^{tn}, n)$). El significado de los parámetros se resume a continuación: El significado de p_1 : Si p_1 es un valor grande, la probabilidad de que la celda del estado 1 en t_n esté en el estado 1 en $t_n + 1$ es alta. El valor de p_1 no es negativo ($0 \leq p_1 \leq 1$). El significado de p_2 : El parámetro p_2 describe la interacción del vecino más cercano. En caso de $p_2 > 0$, el efecto de la interacción es la excitación. En caso de $p_2 < 0$, el efecto de la interacción es la supresión.

Figura 10

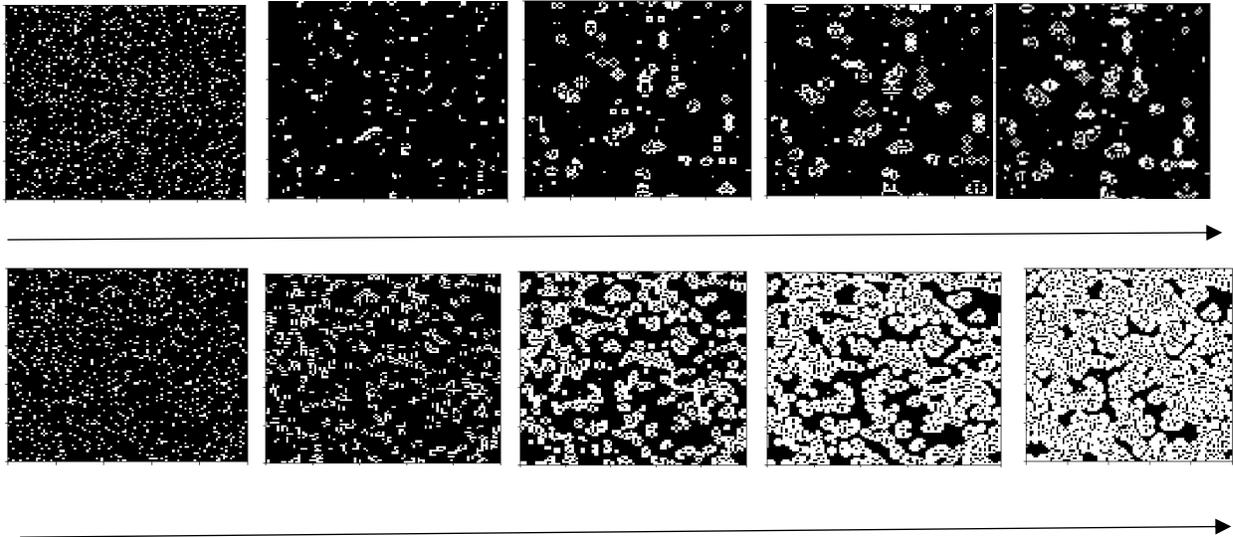
Transición probabilidades para una celda central y las celdas vecinas más cercanas



El significado de p_3 es la actividad de fondo cuando la celda está en el estado de 0 en t_n ($0 \leq p_3 \leq 1$). En la figura 10 se muestran diez estados disponibles de $S_{i,j}^{t_n}$, en lugar de $S_{i,j}^{t_n}, S_{i\pm 1,j\pm 1}^{t_n}$. Según las reglas, la probabilidad de transición $Prob(S_{i,j}^{t_n+1} = 1)$ viene dada por la función de $S_{i,j}^{t_n}$. La probabilidad de transición se muestra en la parte inferior de la plantilla en la Figura 11. Existe la posibilidad de que la probabilidad de transición calculada por la regla mostrada en la Figura 10 sea mayor que 1 para algún conjunto de parámetros de (p_1, p_2, p_3) . En tal caso, la probabilidad de transición se asigna a 1. (Hirata, T., Posadas, A. M., Ogawa, A., y Harada, Y. 2002).

Figura 11

Desarrollo de patrones en blanco y negro generados por simulaciones de Monte Carlo.



La Figura 11 es el desarrollo de patrones en blanco y negro obtenidos por simulación de Monte Carlo. Se utilizan celdas de 100×100 para generar patrones en blanco y negro de desarrollo artificial. En la simulación de Monte Carlo, una de las 100×100 celdas se eligen al azar y el estado de la celda elegida está actualizado con la probabilidad de acuerdo con la Ecuación. (6) (ver Figura. 10).

5. Revisión de la literatura

A partir de la revisión de literatura se busca conocer y explorar sobre el concepto de gestión de Inventario y Autómatas Celulares Probabilísticos aplicado al sector de logística humanitaria después de la ocurrencia del fenómeno catastrófico (época de posdesastres). El conocimiento adquirido nos ayuda a identificar las oportunidades de su uso, los diferentes retos que aparecen y casos de aplicación.

Mediante el Artículo guía “Humanitarian Logistics and Inventory Model Based on

Probabilistic Cellular Automata” se realizó una revisión de bola de nieve, obteniendo resultados en lo que respecta a la gestión de inventarios en logística humanitaria para una situación de posdesastres.

Tabla 1.

Revisión de literatura.

Autor	Artículo	Enfoque	Veces citado	Año
Whybark, D. Clay	Problemas en la gestión de los inventarios de socorro en casos de desastre	Este ensayo trata sobre los inventarios que se llevan a cabo para el socorro en casos de desastre y la necesidad de investigar su gestión. Aunque el pronóstico es difícil.	81	2007
Jabbarzadeh, Armin; Fahimnia, Behnam; Seuring, Stefan	Diseño dinámico de la red de la cadena de suministro para el suministro de sangre en desastres: un modelo robusto con aplicaciones en el mundo real	Este documento presenta un modelo de diseño de red robusto para el suministro de sangre durante y después de los desastres. Se desarrolló un modelo práctico de optimización que puede ayudar en la ubicación de las instalaciones de sangre y las decisiones de asignación para múltiples períodos posteriores al desastre.	73	2014
Xanthopoulos, Anastasios ; Vlachos, Dimitrios ; Iakovou, Eleftherios	Políticas óptimas de proveedor de noticias para cadenas de suministro de doble fuente: un marco de gestión de riesgo de interrupción	Proponemos modelos de inventario genéricos de un solo período (tipo de vendedor de noticias) para capturar el compromiso entre inventario, políticas y riesgos de interrupción en una red de cadena de suministro de fuente dual tanto sin restricciones como con restricciones de nivel de servicio, donde ambos canales de suministro son susceptibles a los riesgos de interrupción.	67	2012

Continuación tabla 1 revisión de literatura

Allon, Gad; Van Mieghem, Jan A.	Global Dual Sourcing: Asignación de sobretensiones base a medida para la producción cercana y en alta mar	Cuando se diseña una estrategia de aprovisionamiento en la práctica, una tarea clave es determinar las tasas de pedido promedio que se asignan a cada fuente, ya que eso afecta el costo y la administración del proveedor.	62	2010
Dong, Lingxiu ; Tomlin, Brian	Gestión del riesgo de interrupción: la interacción entre operaciones y seguros	Modelamos una empresa de fabricación que puede comprar seguros de BI, invertir en inventarios y disponer de fuentes de emergencia. Al permitir que la prima del seguro dependa de las decisiones operativas y de seguros de la empresa, caracterizamos el deducible y el límite de cobertura óptimos, así como el inventario óptimo.	57	2012

En esta revisión se identificó que el autor que ha trabajado más en el tema de gestión de inventarios en logística humanitaria y autómatas celulares probabilísticos “Nur Budi Mulyono” destacando los siguientes trabajos.

- Mulyono, N. B. (2011, November). Balancing supply system after disaster.
- Mulyono, N. B., & Ishida, Y. (2011). Mutual Support Model for Autonomous Lateral Supply Transshipment System
- Mulyono, N. B., & Ishida, Y. (2014). Humanitarian logistics and inventory model based on probabilistic cellular automata.

- Mulyono, N. B., & Ishida, Y. (2014). Clustering inventory locations to improve the performance of disaster relief operations.

5.1 Gestión de Inventario

Las actividades de gestión de inventarios se encuentran enmarcadas dentro de la logística humanitaria como la planificación, coordinación y control de flujos. Las dos primeras contemplan actividades a realizar previas al evento disruptivo que permiten una reducción de los efectos esperados como la planificación y coordinación en el medio-largo plazo lo cual buscan proporcionar servicios básicos a una comunidad de forma permanente, contribuyendo a su autosuficiencia y a resolver problemas crónicos o estructurales de la misma; mientras que la actividad siguiente toma lugar después de la ocurrencia del desastre y tiene como objetivo el control de flujos lo cual se hace una tarea difícil de controlar debido a las variaciones en la demanda, los tiempos de entrega y localización; son acciones que tienen lugar en el corto plazo y que buscan proporcionar de forma puntual bienes y servicios necesarios para la supervivencia a la población afectada por una catástrofe humanitaria, ya haya sido ésta causada de forma natural o por la acción del hombre. (gallego, R. C., y Viñas, J. B. 2011). De igual forma los desastres naturales a menudo resultan en un gran número de personas evacuadas que están temporalmente alojadas en escuelas, iglesias y otros albergues. La repentina afluencia de personas que buscan refugio crea demandas de suministros de emergencia, que deben entregarse rápidamente. De acuerdo a esto el sistema de inventarios es una actividad transversal a la cadena de abastecimiento que constituye uno de los aspectos logísticos más complejos en cualquier sector de la economía. (Valentina Gutiérrez y Carlos Julio Vidalb, 2008),

Whybark, D. C. (2007). Describe las características de los sistemas de inventarios de ayuda en casos de desastre importantes para su gestión, desde la adquisición hasta el almacenamiento y la distribución, la planificación eficaz de las operaciones dentro de las fases del ciclo de vida de la gestión de desastres, involucra diversas técnicas de modelos como la investigación de operaciones (OR, por sus siglas en inglés) de un conjunto de herramientas analíticas que incluyen modelos matemáticos, optimización, simulación, probabilidad y estadística, minería de datos, dinámica de sistemas, entre otros métodos que facilitan la toma de decisiones y consecuentemente permiten mejorar el rendimiento de los sistemas para llevar a cabo modelos que permitan la atención de desastres.

Décadas de trabajo por parte de investigadores académicos ha proporcionado un enorme conocimiento sobre la gestión de inventarios en tiendas minoristas, instalaciones de producción, almacenes y otras instalaciones empresariales. la investigación de inventario de socorro humanitario es muy limitada. Una excepción está en el área de servicios de salud, la comunidad médica ha estudiado el manejo de las reservas de medicamentos, sangre y suministros médicos durante bastante tiempo (Bechtel, G. A., Hansberry, A. H., y Gray-Brown, D., 2000). el enfoque de la comunidad médica se pretende adaptar como modelos para la gestión de inventarios de socorro en casos de ayuda humanitaria.

5.2 Transbordo lateral en la cadena de suministro.

De acuerdo a Baskaya, S., Ertem, M. A., y Duran, S. (2017), en su investigación, los estudios comerciales sobre transbordo lateral y decisiones de transporte no están directamente

relacionados con la respuesta a desastres, pero aún tienen algunas características comunes a los entornos de logística humanitaria. Algunas de estas características son la incertidumbre en la demanda, la existencia de posibles estados futuros y en el número de instalaciones que se establecerán como albergues temporales, están relacionadas con la incertidumbre en el tiempo, el lugar y el efecto de un desastre. La mayoría de los estudios de transbordo lateral comercial están relacionados con repuestos reparables siendo uno de los primeros estudios sobre transbordo lateral.

Las condiciones caóticas después de un desastre pueden causar desequilibrio en el nivel de inventario en cada ubicación de almacenamiento o refugio, compartir insumos necesarios entre albergues puede resultar en una mejora en la efectividad de las actividades de ayuda humanitaria e inventario donde se involucra las operaciones de transporte, comunicación y almacenamiento; estudio planteado por (Besiou, M., Stapleton, O., y Van Wassenhove, LN 2011).

S.H.W. Stanger, R. Wilding, E. Hartmann, S. Yates N, y Cotton. (2013), determinan como la cadena de suministro de sangre puede beneficiarse de los transbordos laterales en los hospitales del Reino Unido.

Paterson, C., Kiesmüller, G., Teunter, R., y Glazebrook, K. (2011); presentan en su revisión modelos de inventario con transbordos laterales, permitiendo entrega periódica en puntos predeterminados en el tiempo para redistribuir de manera proactiva el stock, o se pueden usar de manera reactiva como un método para satisfacer la demanda que no se puede compensar con el stock disponible, teniendo en cuenta la estructura de costos y el nivel de servicio lo cual influyen en el mejor método de transbordo. Así mismo Meissner, J., y Senicheva, O. V. (2018), estudian

los sistemas de inventario de ubicaciones múltiples bajo revisión periódica con múltiples oportunidades para transbordos proactivos dentro de un ciclo de orden. Si se producen desabastecimientos, la demanda se pierde sin oportunidad de realizar un pedido en espera. El objetivo del modelo es encontrar una política óptima que indique las fuentes y los destinos de los transbordos, así como el número de unidades, para maximizar el beneficio de la red.

Mulyono, N. B., y Ishida, Y. (2014). plantean un método para mejorar el rendimiento de las operaciones de transbordo lateral a través de la formación de agrupaciones de refugios antes de que ocurra el evento de desastre. La formación de grupos se basa en el algoritmo del problema de compañero de habitación estable. Para respaldar la validez del modelo, se utiliza la simulación numérica del desastre de la erupción volcánica. Los resultados muestran que la formación de conglomerados contribuye a un mejor rendimiento de la logística y el inventario de socorro. Para Axsäter, S. (1990). proporciona una técnica para modelar transbordos laterales, Considerando una revisión continua del sistema de dos niveles con un depósito y varias bases. Todos los artículos son reparables y todos los reabastecimientos son uno por uno. Las bases se dividen en varios grupos y se permiten transbordos laterales de emergencia dentro de dicho grupo, pero no entre los grupos, siendo la demanda en cada base una variable aleatoria con distribución Poisson.

Por su parte Baskaya, S., Ertem, M. A., y Duran, S. (2017), plantearon como objetivo principal el investigar la inclusión de oportunidades de transbordo lateral en la cadena de ayuda humanitaria y examinar el efecto de diferentes parámetros para minimizar la distancia promedio recorrida por artículo mientras se atiende a los beneficiarios. El modelo de envío directo (DT), el modelo de transbordo lateral (LTSP) y el modelo de transbordo lateral marítimo (MLTSP) se

desarrollan y comparan entre sí utilizando un escenario de terremoto de la vida real preparado para la ciudad de Estambul por JICA (Agencia Japonesa de Cooperación Internacional). Los modelos matemáticos desarrollados deciden las ubicaciones y la cantidad de instalaciones de socorro en casos de desastre, la cantidad de artículos de socorro para mantener en esas instalaciones y la cantidad de transbordo lateral entre las instalaciones.

5.3 Modelos Estocásticos.

La demanda y la interrupción de la red de comunicación son características de situaciones en la cadena de logística humanitaria, particularmente después de un terremoto a gran escala, presenta un desafío para el modelado del inventario de socorro. Por ejemplo, los terremotos a gran escala destruyen casas y desplazan a un gran número de personas, que llegan a los albergues para una atención inmediata. Estas personas desplazadas, que reciben el nombre de personas internamente desplazadas (IDP) (ONU, 1995), no pueden visitar el mismo punto de distribución (POD) cada vez que reciben ayuda. Por lo tanto, la naturaleza variable de las visitas de desplazados internos a los POD representa las propiedades estocásticas de la demanda de socorro en cada POD (Das, R., y Hanaoka, S. 2014)

La complejidad y la magnitud en operaciones mundiales de socorro de emergencia crean una necesidad crítica de procesos de gestión de la cadena de suministro humanitarios eficaces y eficientes. Los patrones de demanda irregulares y las restricciones inusuales inherentes a las emergencias a gran escala presentan desafíos únicos para los sistemas de suministro físico. Beamon y Kotleba, (2006), abordaron el desarrollo de un modelo de control de inventario

estocástico que determina las cantidades óptimas de pedido y los puntos de pedido para una respuesta de socorro de emergencia a largo plazo. Para Alem, D., Clark, A., y Moreno, A. (2016), en su estudio, desarrollaron un nuevo modelo de flujo de red estocástica en dos etapas para ayudar a decidir cómo suministrar rápidamente ayuda humanitaria a las víctimas de un desastre. El modelo tiene en cuenta características prácticas, como la asignación de presupuesto, el tamaño de la flota de múltiples tipos de vehículos, las adquisiciones y los distintos plazos de entrega en un horizonte dinámico. Intentando mejorar la política de cumplimiento de la demanda, el autor presento algunas extensiones del modelo a través de medidas de riesgo de vanguardia, como la semi desviación y el valor en riesgo condicional, mientras que, Ozbay, K., y Ozguven, E. E. (2007), plantearon un modelo de gestión de inventario humanitario eficiente y de respuesta rápida capaz de determinar el inventario de seguridad que evitará interrupciones. El problema de la gestión del inventario humanitario se formuló primero matemáticamente como una versión del Modelo de control de inventario húngaro, luego se propuso una solución para este modelo estocástico dependiente del tiempo mediante el uso del algoritmo de puntos de nivel p eficiente. Se proporcionaron los resultados de casos de productos básicos únicos y se realizó un análisis de sensibilidad del modelo con respecto a varios parámetros, que afectan los niveles de inventario seguro.

Para el siguiente trabajo, Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., y Al-e-Hashem, S. M. (2013), ejecutaron un enfoque de progreso estocástico no solo para las demandas, sino también los suministros, el costo de las adquisiciones y el transporte, considerando parámetros inciertos. Además, el modelo considera la incertidumbre de los lugares donde podrían presentarse esas reclamaciones y la posibilidad de que algunos de los suministros colocados previamente en el centro de distribución de socorro o proveedor hayan sido destruidos por el desastre. El modelo de

objetivos múltiples intenta minimizar la suma del valor esperado y la varianza del costo total de la cadena de socorro al tiempo que penaliza la falta de viabilidad de la solución debido a la incertidumbre de los parámetros; al mismo tiempo, el modelo apunta a maximizar los niveles de satisfacción de las áreas afectadas al minimizar la suma de la máxima escasez en las áreas afectadas. Teniendo en cuenta la evaluación global de dos objetivos, se formula y resuelve un compromiso con el modelo de desarrollo para obtener una solución de compromiso. Adicionalmente Fiedrich, F., Gehbauer, F., y Rickers, U. (2000). Plantearon que el objetivo principal del período inicial de búsqueda y rescate después de fuertes terremotos es minimizar el número total de muertes. Una dificultad importante que surge en este período es encontrar la mejor asignación de recursos disponibles a las áreas operativas. Para este problema se introduce un modelo de optimización dinámica. El modelo utiliza descripciones detalladas de las áreas operativas y de los recursos disponibles para calcular el rendimiento y la eficiencia de los recursos para diferentes tareas relacionadas con la respuesta. También se presenta un método de solución adecuado para el modelo.

Algunos de los modelos posteriores a un desastre se centran en las operaciones de socorro tras el terremoto. En estos modelos, existe un almacén central que repone los puntos de distribución que atienden directamente a los beneficiarios. Das y Hanaoka (2014) desarrollan una política de pedidos de inventario para dicho sistema, asumiendo una demanda estocástica y parámetros de tiempo de entrega, presentan un modelo para determinar la ubicación de los puntos de distribución y la cantidad de inventario a mantener para garantizar la accesibilidad y atender a los beneficiarios, también hay estudios que se centran en una sola organización humanitaria, que repone el inventario en sus instalaciones locales (puntos de distribución o refugios) desde un

almacén central.

5.4 Autómatas Celulares aplicados al modelo de logística e inventario en posdesastres.

A continuación, se presenta una revisión en la literatura de las tendencias relacionadas con autómatas celulares y los modelos de logística e inventario mediante el uso de autómatas celulares probabilísticos en el contexto de sismos.

5.4.1 Autómatas Celulares en la gestión de desastres

Con el fin de incrementar el desempeño del sistema de inventario y logística humanitaria, Mulyono et al. (2014), propone un modelo de inventario y logística humanitaria basado en autómatas celulares probabilísticos. Planteando como modelo base el modelo de autómatas celulares, ya que puede modelar la interacción dinámica entre albergues como interacción entre células. El modelo asume que el tiempo de entrega es instantáneo y que hay suficientes vehículos para las operaciones logísticas requeridas. En el modelo hay tres tipos de costos para el modelo de logística e inventario humanitario con transbordo lateral: costo de adquisición, costo de entrega y costo de "desabastecimiento".

Para dar solución al problema de desabastecimiento entre los refugios este artículo trata sobre un modelo de inventario de revisión de orden fijo con un patrón de distribución desconocido del tiempo de entrega del transporte, en el que se permite el transbordo lateral entre dos puntos de refugio. Cada punto de refugio clasificará su nivel de stock en tres categorías, que es alta, media y

baja. En caso de escasez en algún lugar, otra ubicación suministrará cierta cantidad de sus existencias con cierta probabilidad. Esta acción aumenta el riesgo de causar una escasez para ellos mismos si no se maneja con cuidado. Mulyono, et al., (2011), formula un modelo matemático, consta de tres elementos (U, T, R) donde U es un conjunto de puntos de refugio, T es una topología que conecta las unidades y R es un conjunto de reglas de interacción entre los puntos de refugio. Un conjunto de puntos de refugio U es un número finito de puntos de refugio. La topología para el sistema de inventario de transbordo lateral es red aleatoria. Se restringe el caso donde cada punto de refugio tiene un estado: normal (0), anormal (1) y necesita ayuda (-1). El estado normal representa un nivel de inventario alto, mientras que el estado de necesidad anormal y de ayuda representa un nivel de inventario medio y bajo, respectivamente.

Para finalizar, se proceda a realizar una revisión de literatura acerca del uso de las redes sociales en eventos de posdesastres y así verificar los respectivos estudios y aplicaciones que se han realizado en este contexto, a continuación, se presenta las diferentes investigaciones realizadas.

5.5 Redes Sociales en la Gestión de desastres.

Con el propósito de abordar diversos desafíos que enfrenta la logística humanitaria, debido a las circunstancias adversas en las cuales se desarrolla. En particular, la coordinación entre actores ha sido identificada como uno de los mayores problemas cuando ocurre un desastre en el control efectivo y eficiente de los flujos de productos, materiales e información desde los donadores, y organizaciones, hasta las personas afectadas con el fin de atender sus necesidades más urgentes. La aplicación de conocimientos y habilidades, más la movilización de personas y recursos, es

esencial para atender rápida y efectivamente a la población afectada. Por tal motivo la evolución de las herramientas tecnológicas puede hacer posible que la logística humanitaria cree soluciones que se ajusten a las necesidades de las personas afectadas a causa de un desastre natural, satisfaciéndolas de forma más eficaz y eficiente.

En tiempos de crisis, desastres o eventos extremos, las personas afectadas utilizan soluciones de medios sociales para compartir información sobre la situación. Por lo tanto, el uso de esta información para respaldar las operaciones humanitarias se está convirtiendo en una fuente valiosa para desarrollar una comprensión en tiempo real sobre la situación.

Los datos digitales están abrumando la potencia informática del mundo. Pero estos datos también proporcionan una gran cantidad de oportunidades. Esto es especialmente cierto cuando se trata del caso de la gestión de desastres. En los últimos años, ha habido un mayor interés de entender el papel de las redes sociales en la gestión de desastres. En lugar de ser un medio para comunicar las percepciones y advertencias de peligros, riesgos y desastres, se busca analizar los datos generados por las redes sociales, como las publicaciones de Facebook y los mensajes de Twitter, para llegar a la escala y difundir el análisis de desastres. Estos datos son voluminosos, diferentes y, cuando se utilizan de nuevas maneras para monitorear y gestionar un desastre, califican para la definición de Big Data y sus cinco V (volumen, velocidad, variabilidad, veracidad y variedad). (Joseph, J. K., Dev, K. A., Pradeepkumar, A. P., y Mohan, M. 2018).

Las redes que representan las interacciones sociales entre personas se han estudiado durante décadas. Recientemente, herramientas TIC tecnología de la información y las

comunicaciones, ha abierto nuevos modos de interacción entre individuos, como las comunicaciones de teléfonos móviles y las interacciones en línea habilitadas por Internet. Estos nuevos intercambios sociales se pueden monitorear con precisión para sistemas muy grandes, incluidos millones de individuos, cuyo estudio representa una gran oportunidad para las ciencias sociales. Las comunidades de redes sociales pueden ser círculos de amistad, grupos de personas que comparten intereses y / o actividades comunes, etc. (Meissner, J., y Senicheva, O. V. et al 2018).

Quezada, Sierra, Cano, y Díaz, (2020) realizaron un enfoque para el Análisis de Redes Sociales usando datos generados en la red social Twitter para un evento de desastre natural, analizando tres actores importantes, los usuarios, hashtags y URLs. En el presente trabajo se presenta una metodología implementada en un caso de estudio de desastre (erupción del volcán Sinabung en 2018). A partir de los análisis identificaron usuarios, temas y fuentes de información relevantes durante la ocurrencia del desastre. Los análisis ofrecen una vista general de las interacciones e impacto de los elementos más influyentes durante el evento bajo estudio, teniendo una importancia destacada en los equipos de noticia, redes sociales y centros de investigación.

A continuación, para efectuar los modelos de gestión de inventarios, se realiza una designación de grupos de albergues para facilitar la entrega de ayudas humanitarias y efectuar la validación del modelo de autómatas celulares probabilísticos.

6. Designación de grupos de albergues

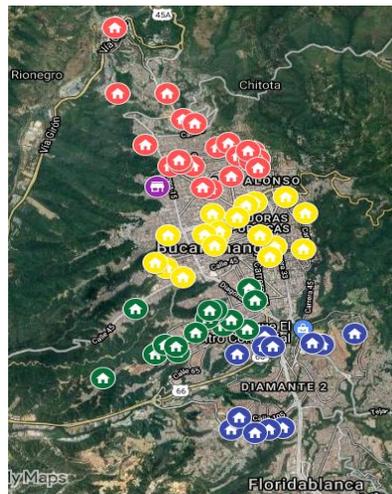
De acuerdo al conjunto de datos que contienen las distancias en km de cada uno de los albergues disponibles en la ciudad de Bucaramanga, datos obtenidos del trabajo de investigación de (Martínez et al., 2018), se designaron grupos de albergues con el fin de establecer la distribución y entrega de ayudas humanitarias, y así aplicar el modelo de gestión de inventarios bajo el escenario de entregas periódicas y revisión de orden fija en cada uno de los grupos asignados.

A continuación, en la figura 12 se presentan los resultados de los grupos obtenidos gracias al software python y bajo el algoritmo de agrupamiento kmeans.

Figura 12.

Distribución y agrupamiento de Albergues.

Grupo	Cantidad de Albergues
1	 20
2	 29
3	 18
4	 12
CD	 Centro de Distribución



A partir de esta designación de grupos de albergues, se plantea modelos de gestión de inventarios orientado a la logística humanitaria en la fase de posdesastres para posteriormente plantear un modelo de decisión mediante autómatas celulares probabilísticos.

Consultar apéndice A. designación de grupos de albergues

7. Formulación de los modelos Matemáticos

Los impactos de los desastres han atraído recientemente una mayor atención por parte de investigadores y formuladores de políticas. Sin embargo, ha habido poco consenso sobre cómo se puede desarrollar un modelo de gestión de inventario eficiente para las condiciones posteriores al desastre. Las víctimas de un desastre generalmente se reúnen en albergues durante y después de un desastre severo para garantizar su seguridad. Muchos evacuados no tienen los recursos económicos para abandonar el área del desastre o para encontrar alimentos, medicamentos y otras necesidades. Por lo tanto, sus necesidades vitales deben satisfacerse de manera eficiente durante los períodos de desastre y posteriores al desastre. Sin un stock adecuado de bienes, satisfacer las necesidades diarias de las víctimas sin interrupciones puede resultar problemático.

Es así como la gestión del inventario de logística humanitaria (GILH), según Whybark, (2007), es un inventario social que tiene como objetivo satisfacer las necesidades de los sobrevivientes de desastres de manera oportuna; como tal, su modelo de previsión de la demanda se basa en una evaluación rápida. Para la GILH, el tiempo de entrega (es decir, el intervalo entre la colocación de un pedido y la llegada de los productos solicitados) es un factor de control para el modelado de inventario, por consiguiente los modelos de transbordo lateral proactivos que permiten dimensionar los inventarios de acuerdo a las necesidades para una situación de desastres

adoptan dos teorías importantes a saber que serán implementadas en el proyecto: sistema de inventario de política de revision de orden fija bajo demanda estocástica y modelo de red de autorreparación. La política de pedidos de revisión de orden fija y revision periódica establece que hay un nivel de inventario predeterminado y que la entrega de los artículos necesarios se realiza cada cierto período de tiempo. El inventario objetivo (TI) de un sistema de política de revisión periódica se calcula utilizando la ecuación 7, el inventario objetivo se adquiere a partir de la interacción de cuatro variables tales como: tasa de demanda (d), período de revisión (RP), tiempo de entrega (L) y stock de seguridad (SS),

En cuanto al modelo de inventario periódico y de revision de orden fija, hay una entrega regular de nuevos artículos en horarios predeterminados. Esta operación permite que el sistema de inventario restablezca su nivel de inventario al nivel original, como se ilustra en la Figura 13. Sin esta operación, el sistema de inventario perderá su capacidad para satisfacer la demanda. A continuación, se enuncia el modelo de gestión de inventarios en el escenario de entregas regulares de nuevos artículos desde el centro de distribución empleando el modelo de revision periódica y modelo de orden fija de forma reactiva para satisfacer la demanda. Además, los modelos planteados permiten convertir los parámetros en parámetros de probabilidad que representan información clave para sustentar el modelo de autómatas celulares probabilísticos.

7.1 Modelo de inventarios con demanda estocástica

Los modelos basados en una demanda estocástica, son modelos complejos pero los más cercanos a la realidad, considerando que es poco probable que se conozca la demanda futura con

exactitud, la complejidad de los inventarios viene de la necesidad de tomar decisiones basándose en la incertidumbre de la demanda, desconocimiento provocado porque la información muchas veces se ve afectada por variaciones que eluden el control que se desea tener sobre la información, de aquí nace la necesidad de incorporar modelos matemáticos para tratar la información que se posee de forma cualitativa en una situación de posdesastres ocasionado por un posible sismo. Siendo los modelos probabilísticos los de mayor aplicación debido a sus características funcionales, se presenta los siguientes modelos que se asemejan más a la realidad en una situación de desastres.

Para empezar, los artículos para las víctimas de un desastre se pueden dividir en dos, los artículos consumibles y no consumibles. Para los productos consumibles como alimentos, medicamentos, suministros de agua y productos de aseo requieren una gestión sobre los inventarios; en el trabajo se propone el modelo de revisión de orden fija y modelo de revisión periódica durante el periodo de recuperación. Así mismo, se tiene los artículos no consumibles que se necesitan al inicio del periodo de recuperación y no se deterioran a través del tiempo, como por ejemplo ropa, mantas, refugios entre otros. Este tipo de características de artículos obligan a tener un modelo diferente de inventario.

A continuación, se define los modelos de inventario de revisión de orden fija y revisión periódica con demanda estocástica para un contexto de ayudas humanitarias.

7.1.1 Características del modelo de revisión periódica.

Parámetros:

Q = Cantidad a pedir.

T= Número de semanas entre revisiones.

L = Tiempo de entrega en semanas (tiempo entre el momento de hacer el pedido y recibirlo)

D = Demanda promedio pronosticada.

z = Número de desviaciones estándar para una probabilidad de servicio especificada.

σ_{T+L} = Desviación estándar de la demanda durante el periodo de revision y entrega.

I = Nivel de Inventario actual.

Descripción:

Se lanzan los pedidos al final de un determinado periodo. En ese momento se recuenta el inventario, pidiendo la cantidad necesaria para llevar a un nivel de inventario objetivo el cual está influenciado por varios factores como: tasa de demanda (d), tiempo entre revisión periódica (T), tiempo de entrega (L) y stock de seguridad (SS).

$$TI = D (T + L) + SS \quad (7)$$

El propósito del inventario de seguridad es cubrir la variabilidad de la demanda durante un lead time o periodo de reaprovisionamiento, y su cálculo se hará dependiendo del nivel de servicio o factor de seguridad, y de la variabilidad de la demanda durante el lead time. Teniendo en cuenta dos variables como: distribución normal Z para cierto número de nivel de confianza α y desviación estándar de la demanda (σ_{T+L}).

$$SS = Z \sigma \sqrt{T + L} \quad (8)$$

Para la entrega de artículos necesarios es de vital importancia realizar la revisión periódica, la cual consta de la cantidad de artículos (Q) que se lleva para cada reabastecimiento mediante la siguiente ecuación:

$$Q = D (T + L) + Z \sigma \sqrt{T + L} - I \quad (9)$$

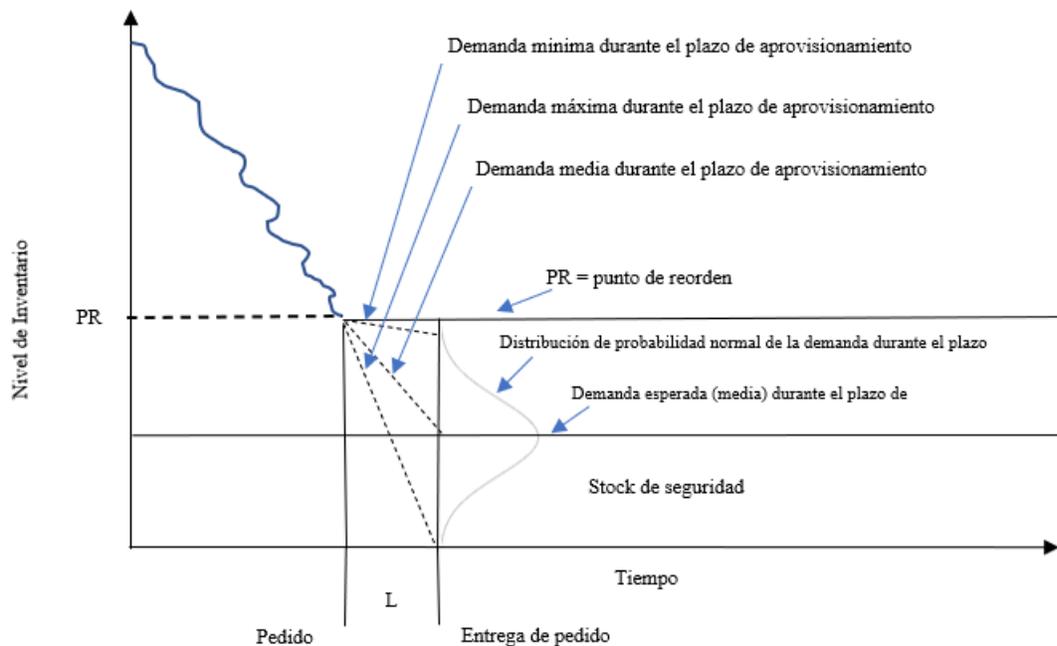
Lo que define a la cantidad de pedido como la demanda promedio durante el periodo vulnerable más el inventario de seguridad menos las existencias disponibles.

Cuando es difícil, o incluso imposible, determinar el costo de rotura de stock, se puede seguir una política de mantener disponible un stock de seguridad para cumplir con el nivel de servicio a las personas afectadas, por ejemplo, la figura 13 muestra la utilización del stock de seguridad cuando la demanda (de kits de ayuda humanitaria para los albergues) es probabilística. Se define el nivel de servicio con una satisfacción del 95% de la demanda. Se supone que la demanda durante el plazo de aprovisionamiento sigue una curva normal, solo se necesita la media y la distribución estándar de la distribución normal para definir las necesidades de inventario para cualquier nivel de servicio establecido, debido a que la demanda es desconocida lo cual puede definirse mediante una distribución de probabilidad. En logística humanitaria la gestión de inventarios mantiene un nivel de servicio adecuado ante una demanda incierta. El nivel de servicio es el complemento de la probabilidad de una rotura de stock. Por ejemplo, si la probabilidad de rotura de stock es del 0.05, el nivel de servicio es (1-0.05), es decir el 0.95. la incertidumbre de la demanda aumenta la posibilidad de rotura de stock. Un método para reducir la posibilidad de rotura de stock es mantener unidades extras en el inventario. Este inventario es llamado stock de

seguridad, el cual consiste en aumentar un cierto número de unidades al inventario para hacer frente a contingencias no previstas.

Figura 13

Stock de seguridad con Demanda Probabilística



7.1.2 Características del modelo de revisión de orden fija.

En este escenario se plantea una demanda desconocida (escenario probabilístico), es por eso que, si bien siempre se va a pedir lo mismo, se dispone de **stock de seguridad** y se revisara constantemente el nivel de inventario a fin de evitar faltantes. Así pues, al inventario o *stock* de seguridad consiste en el almacenamiento de unidades adicionales para evitar faltantes.

¿Pero y cómo elegir cuánto tener de inventario de seguridad? La opción más común es definir políticas de nivel de servicio para el inventario y a partir de ahí calcular el inventario de seguridad acorde a esa política, establecer una política nivel de servicio de inventario se define la probabilidad de no quedarnos sin inventario durante el tiempo en que se emite una orden de pedido hasta que este llega (lead time o tiempo de espera).

Por ejemplo, se define un nivel de servicio de inventario de 95%, lo que significa que hay una probabilidad de 95% de que la demanda no sea mayor que la oferta. Dicho de otra forma, la probabilidad de que haya faltantes es de 5% (100%-95).

Si la variación de la demanda con respecto al promedio no es grande, podemos darnos el lujo de tener un inventario de seguridad pequeño. Contrario a eso, si la demanda varía mucho entre un pedido y otro, conviene tener un inventario de seguridad grande para evitar faltantes.

Dicha variabilidad nos lleva a hablar de distribución de probabilidad y con esto incluir dos conceptos muy importantes en la gestión de inventarios: media y varianza.

Para expresar el inventario de seguridad, contamos con la siguiente formula:

$$IS = Z \sigma \sqrt{T + L} \quad (10)$$

El punto de reorden es igual a la demanda promedio más el inventario de seguridad. Despejando inventario de seguridad, tenemos que:

$$\text{Punto de reorden} = \text{Demanda promedio} + \text{inventario de seguridad} \quad (11)$$

Para calcular el costo total del sistema de inventario Q se necesita la cantidad óptima de pedido. Para hacerlo, antes se debe determinar la demanda anual. El cual se define las siguientes ecuaciones.

Q = cantidad optima de pedido

H = costo de mantener inventario por unidad por año.

S = costo de ordenar por orden.

d = demanda semanal.

$D = d * 52$ semanas.

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (12)$$

$$C = \frac{Q}{2}H + \frac{D}{Q}S + HZ\sigma_t \quad (13)$$

8. Obtención de soluciones a partir de los Modelos

8.1 Situación de Estudio

Para evaluar el modelo dinámico, se tomó como base un posible sismo de magnitud de momento sísmico mayor a 7 en la escala de Richter en la ciudad de Bucaramanga, estableciendo

como parámetro base la demanda. Se selecciona esta ciudad debido a la alta probabilidad de ocurrencia de un sismo de gran magnitud (mencionado anteriormente en el planteamiento del problema)

Como ya se indicó, al modelo básico establecido se le añadió la demanda como una variable auxiliar con el fin de que los recursos requeridos sean determinados para un conjunto de afectados. Para la experimentación se usaron diferentes escenarios establecidos a partir de la variación en la capacidad de los albergues en cada grupo designado, en los que se especifica las características del modelo mostrado en el numeral 6.1.1. a continuación se muestra el desarrollo del modelo de inventario bajo revisión periódica.

8.1.2 Simulación bajo el modelo de inventario de revisión Periódica.

Para efectos de la simulación de la demanda, se estableció la capacidad de los albergues en los distintos grupos ya establecidos, seguidamente se estimó un porcentaje de capacidad. De los resultados obtenidos en la tabla 3 se muestra que los datos de las demandas para el albergue cumplen estadísticamente a un nivel de significancia de 5% con una distribución normal figura 14, teniendo en cuenta los estimadores de los parámetros mostrados en la tabla 2.

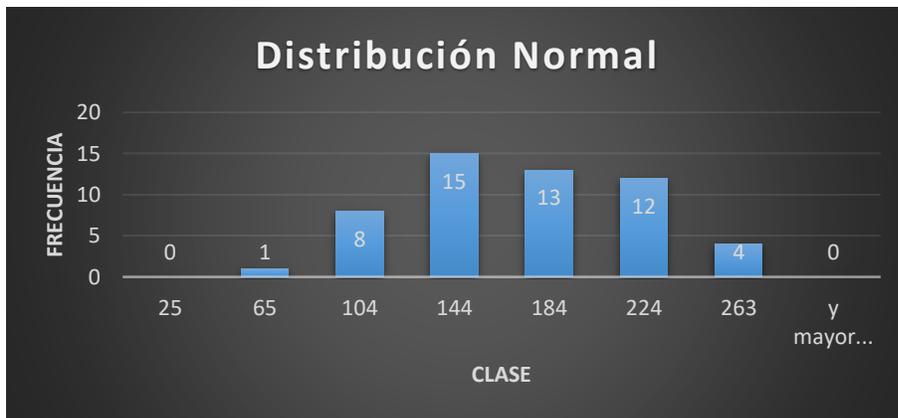
Tabla 2.

Condiciones para el Modelo

Nombre del Albergue	Capacidad	80%	promedio kits	CV	D. Estándar
Coliseo Bicentenario	1438	1150	164	0.35	57.52

Tabla 3.*Simulación de la demanda bajo distribución normal*

86	151	150	108	264	87	94	91	153	322	213	151	178	142	109	155	227
96	119	97	125	208	105	170	171	149	133	203	99	157	165	153		
										Promedio		150				
										D. Estándar		54				

Figura 14.*Distribución Normal de la demanda*

De acuerdo al análisis realizado anteriormente se plantea el modelo bajo las siguientes condiciones:

Se ejecuta el modelo construyendo la simulación de inventario periódico en el albergue coliseo bicentenario del grupo 1, que servirá como base para todos los albergues disponibles en cada uno de los grupos establecidos. El resultado del modelo para el albergue en mención es el siguiente:

Tabla 4.*Condiciones del modelo*

semanas	52
demanda promedio semanal	170
L(semána)	1
T(semánas)	2
Desviación estándar de la demanda	43
Desviación estándar del periodo	74
inventario de seguridad	122
demanda en t+1	509
Nivel de servicio (Z= 0.95)	1.64485

Figura 15.*simulación del inventario*

Para evidenciar el comportamiento del modelo de gestión de inventarios en un evento de posdesastres la figura 15 simula el modelo para 52 semanas con una demanda variable estableciendo la cantidad de pedidos Q que se requieren para satisfacer la demanda y se observa

que, con la política implementada en el tiempo estipulado, se tiene 0% de falta de existencias para los kits de ayuda humanitaria con un inventario de seguridad de 122 kits cumpliendo con un nivel de servicio del 95%.

Se observa la simulación del modelo de inventario periódico, la cual hay una revisión de inventarios de la manera más minuciosa posible, tomando en cuenta los factores que causan posibles desabastecimientos en las existencias o retrasos en su reposición, la simulación genera la espera de rangos de tiempos entre las revisiones del inventario, las mismas que deben realizarse en períodos de tiempos iguales, por ejemplo: el modelo designa cada dos semana generando posibles problemas a la hora de satisfacer la demanda en los puntos de albergues, por esto es necesario considerar un margen de seguridad que brinde un soporte entre el tiempo de revisión y entregas.

En la figura 16, muestra el resultado del modelo de gestión de inventario periódico el cual, parte el ciclo en el nivel de inventario objetivo de 632, como la demanda es estocástica cae con ciertas variaciones a lo largo de las 52 semanas, llegando al período t definido para la revisión que es de dos semanas, aquí se emite la orden la cual el stock sigue cayendo de acuerdo a la demanda, luego al período L , el proveedor repone hasta llegar al nivel de inventario objetivo. Al ser la demanda estocástica cada tamaño Q es distinto, como lo evidencia la tabla.

Figura 16

Simulación del modelo de inventario “revisión periódica”

Semanas	Entrega del CD	Inventaio Inicial	Demanda	Entrega a las Personas	Inventario Final	q	No personas
0	632	632	207	207	425	0	1035
1	0	425	148	148	277	355	740
2	355	632	113	113	519	0	565
3	0	519	201	201	318	314	1005
4	314	632	175	175	457	0	875
5	0	457	198	198	259	373	990
6	373	632	234	234	398	0	1170
7	0	398	213	213	185	447	1065
8	447	632	213	213	419	0	1065
9	0	419	126	126	293	339	630
10	339	632	124	124	508	0	620
11	0	508	126	126	382	250	630
12	250	632	231	231	401	0	1155
13	0	401	117	117	284	348	585
14	348	632	84	84	548	0	420
15	0	548	117	117	431	201	585
16	201	632	140	140	492	0	700
17	0	492	176	176	316	316	880
18	316	632	146	146	486	0	730
19	0	486	152	152	334	298	760
20	298	632	194	194	438	0	970
21	0	438	120	120	318	314	600
22	314	632	165	165	467	0	825
23	0	467	192	192	275	357	960
24	357	632	149	149	483	0	745
25	0	483	173	173	310	322	865
26	322	632	264	264	368	0	1320
27	0	368	144	144	224	408	720
28	408	632	142	142	490	0	710
29	0	490	94	94	396	236	470
30	236	632	196	196	436	0	980
31	0	436	195	195	241	391	975
32	391	632	127	127	505	0	635
33	0	505	128	128	377	255	640
34	255	632	152	152	480	0	760
35	0	480	112	112	368	264	560
36	264	632	159	159	473	0	795
37	0	473	161	161	312	320	805
38	320	632	201	201	431	0	1005
39	0	431	182	182	249	383	910
40	383	632	177	177	455	0	885
41	0	455	206	206	249	383	1030
42	383	632	127	127	505	0	635
43	0	505	164	164	341	291	820
44	291	632	269	269	363	0	1345
45	0	363	211	211	152	480	1055
46	480	632	240	240	392	0	1200
47	0	392	237	237	155	477	1185
48	477	632	136	136	496	0	680
49	0	496	230	230	266	366	1150
50	366	632	141	141	491	0	705
51	0	491	182	182	309	323	910
52	323	632	199	199	433	0	995

Para observar la simulación de cada uno de los albergues en los diferentes grupos se encuentran en los apéndices D, E, F y G.

8.1.3 Simulación bajo el modelo de inventario de revisión de orden fija

Para el siguiente modelo se establece una política de nivel de servicio de la que consiste en la probabilidad de no quedar sin inventario durante el tiempo en que se emite una orden de pedido hasta que este llega (lead time o tiempo de espera).

Por ejemplo, se puede definir un nivel de servicio de inventario de 95%, lo que significa que hay una probabilidad de 95% de que la demanda no sea mayor que la oferta. Dicho de otra forma, la probabilidad de que haya faltantes es de 5%.

Sin embargo, puede que la demanda no se comporte de forma uniforme durante el tiempo de espera (lead time), como puede que sí.

Me explico: Si la variación de la demanda con respecto al promedio no es grande, se puede tener un inventario de seguridad pequeño. Contrario a eso, si la demanda varía mucho entre un pedido y otro, conviene tener un inventario de seguridad grande para evitar faltantes.

Dicha variabilidad lleva a hablar de distribución de probabilidad y con esto incluir dos conceptos muy importantes en la gestión de inventarios: media y varianza, indicando la dispersión o separación de un conjunto de datos. A continuación, se presentan los datos en la tabla 6 para efectuar la simulación.

Tabla 5.

Condiciones para el Modelo

Nombre	Capacidad	80%	promedio kits	CV	D. Estándar
Universidad Industrial de Santander	617	494	71	0.35	24.68

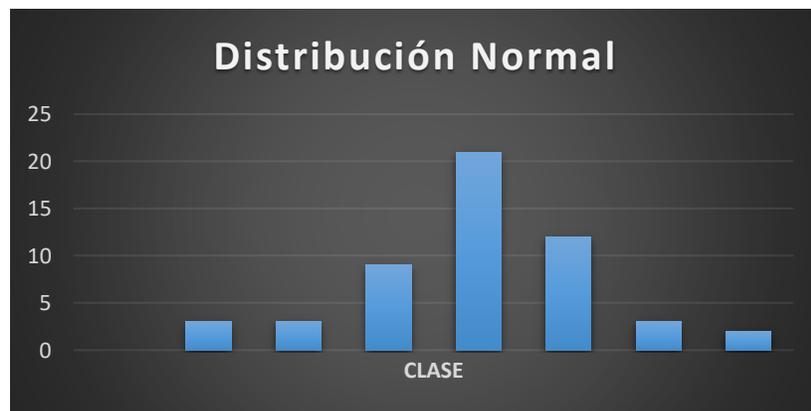
Tabla 6.

Simulación de la demanda bajo distribución normal

8	88	46	79	47	58	76	64	81	45	38	67	78	30	85	27	87
42	62	63	28	42	90	84	87	68	47	72	62	50	45	61		
		Promedio		73												
		D. Estándar		23												

Figura 17.

Distribución Normal de la demanda



Para la ejecución del modelo se plantea las siguientes condiciones.

En el siguiente modelo se supone costos que comprende el costo de transporte, el costo de adquisición y el costo de desabastecimiento.

Costos de adquisición, aquellos en los que se incurre al momento de realizar una solicitud de reabastecimiento de inventarios. Están relacionados con los costos de adquisición y transporte, Concernientes con actividades de adquisición y entrega de artículos a las víctimas ya sea por entrega del centro de distribución o transbordo lateral. Estos costos son derivados al movimiento que incluya la manipulación de la mercancía, manutención, preparación, empaque, maniobras de carga, descarga y con la distancia recorrida.

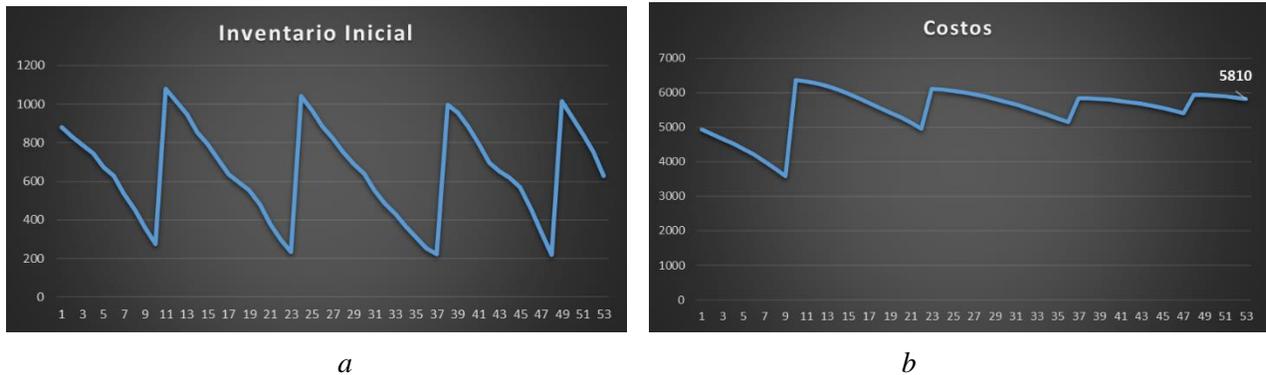
En resumen, los costos de adquisición son todos aquellos asociados con el procesamiento, ejecución, transmisión, preparación y recepción de un pedido. Los costos de desabastecimiento están asociados cuando los albergues no tienen ningún artículo en stock para satisfacer la demanda.

Para efectos de la simulación, en cuanto se refiere a costos en el modelo de gestión. Se supone los costos de adquisición y desabastecimiento, demanda estocástica con distribución normal y se lleva a un nivel de servicio del 95%, indicando las veces que entregaran los pedidos a los albergues dentro del plazo establecido, también se visualiza el comportamiento de los costos de adquisición. Para este caso se plantea el siguiente escenario como lo indica en la siguiente tabla 7.

Tabla 7.*Condiciones para la simulación del modelo de revisión de orden fijo.*

Parámetros de inventario	Opción 1
S (costo de preparar o pedir)	30000
H (costo anual de mantener el inventario por unidad)	300
semanas	52
demanda promedio semanal	75
D total(anual)	3877
L(semána)	1
Desviación estándar de la demanda	21
Desviación estándar del periodo	21
inventario de seguridad	34
demanda en t+1	75
Nivel de servicio (Z)	0.95 =1.644
Q (cantidad económica de compra)	891
R (punto de reorden)	202

Con las condiciones planteadas, se ejecuta el modelo construyendo la simulación de inventario de revisión de orden fija.

Figura 18.*Simulación de Inventarios*

En la figura 18a, la política de inventario establecida para este ejemplo, muestra 891 kits iniciales que a través del tiempo se van consumiendo llegando al punto de reorden de 202 kits, una vez llega al punto de reorden se hace un pedido de 891 kits al centro de distribución, para reabastecer a cada uno de los albergues y así evitar faltantes.

Con el modelo propuesto de inventarios de revisión de orden fina se obtuvo que el costo promedio de inventario se encuentra entre 5.000 y 6.000 con un nivel de servicio del 95%, como se observa en la figura 18b

En la figura 19 muestra un sistema de inventarios de orden fijo expresando que la revisión de un artículo en forma continua significa que los niveles de inventario son revisados inmediatamente después de que tienen lugar el consumo de kits. También se puede evidenciar que la variación de la demanda con respecto al promedio no es grande, lo que conlleva a tener un inventario de seguridad pequeño que para este caso es de 34.

Para observar la simulación de cada uno de los albergues en los diferentes grupos se encuentran en los apéndices H, I, J, K.

Figura 19

Simulación modelo de inventario de orden fija

semanas	entrega del CD	inventaio inicial	demanda	entrega a las personas	inventario final	costo de ordenar (H)	(costo de llevar o mantener inventario)	costo de faltante (J)	costo total	costo promedio	pedido por recibir Q
0	891	891	63	63	828	0	4961	0	4961	4961	0
1	0	828	65	65	763	0	4591	0	4591	4776	0
2	0	763	71	71	692	0	4199	0	4199	4584	0
3	0	692	66	66	626	0	3804	0	3804	4389	0
4	0	626	85	85	541	0	3368	0	3368	4185	0
5	0	541	39	39	502	0	3011	0	3011	3989	0
6	0	502	44	44	458	0	2771	0	2771	3815	0
7	0	458	99	99	359	0	2359	0	2359	3633	0
8	0	359	41	41	318	0	1955	0	1955	3447	0
9	0	318	96	96	222	0	1560	0	1560	3258	0
10	0	222	98	98	124	30000	1000	0	31000	5780	1
11	891	1016	106	106	910	0	5554	0	5554	5761	0
12	0	910	77	77	833	0	5026	0	5026	5704	0
13	0	833	73	73	760	0	4593	0	4593	5625	0
14	0	760	100	100	660	0	4094	0	4094	5523	0
15	0	660	94	94	566	0	3535	0	3535	5399	0
16	0	566	70	70	496	0	3062	0	3062	5261	0
17	0	496	57	57	439	0	2695	0	2695	5119	0
18	0	439	52	52	387	0	2381	0	2381	4975	0
19	0	387	85	85	302	0	1986	0	1986	4825	0
20	0	302	126	126	176	30000	1377	0	31377	6090	1
21	891	1067	61	61	1006	0	5980	0	5980	6085	0
22	0	1006	102	102	904	0	5510	0	5510	6060	0
23	0	904	73	73	831	0	5005	0	5005	6016	0
24	0	831	45	45	786	0	4665	0	4665	5962	0
25	0	786	102	102	684	0	4241	0	4241	5895	0
26	0	684	58	58	626	0	3779	0	3779	5817	0
27	0	626	65	65	561	0	3424	0	3424	5732	0
28	0	561	99	99	462	0	2951	0	2951	5636	0
29	0	462	47	47	415	0	2530	0	2530	5532	0
30	0	415	33	33	382	0	2299	0	2299	5428	0
31	0	382	31	31	351	0	2115	0	2115	5324	0
32	0	351	80	80	271	0	1794	0	1794	5217	0
33	0	271	65	65	206	30000	1376	0	31376	5987	1
34	891	1097	89	89	1008	0	6074	0	6074	5989	0
35	0	1008	79	79	929	0	5590	0	5590	5978	0
36	0	929	92	92	837	0	5096	0	5096	5954	0
37	0	837	66	66	771	0	4641	0	4641	5920	0
38	0	771	80	80	691	0	4219	0	4219	5876	0
39	0	691	67	67	624	0	3795	0	3795	5824	0
40	0	624	58	58	566	0	3435	0	3435	5766	0
41	0	566	89	89	477	0	3011	0	3011	5700	0
42	0	477	125	125	352	0	2393	0	2393	5623	0
43	0	352	60	60	292	0	1860	0	1860	5538	0
44	0	292	72	72	220	0	1479	0	1479	5448	0
45	0	220	61	61	159	30000	1095	0	31095	6005	1
46	891	1051	74	74	977	0	5848	0	5848	6002	0
47	0	977	62	62	915	0	5456	0	5456	5990	0
48	0	915	74	74	841	0	5064	0	5064	5972	0
49	0	841	102	102	739	0	4556	0	4556	5943	0
50	0	739	51	51	688	0	4115	0	4115	5907	0
51	0	688	89	89	599	0	3711	0	3711	5865	0
52	0	599	49	49	550	0	3313	0	3313	5817	0

8.1.4 Transbordo Lateral.

Seguidamente, se plantea el modelo de transbordo lateral el cual tiene varias características similares con el modelo de red autorreparable (SRN), la red de computadoras se repara entre sí mediante copia mutua. Las siguientes listas son características del modelo, que también existe en el modelo de autorreparación:

1. Conjunto de unidades o albergues para el modelo de transbordo lateral
2. Topología que conecta las unidades que para el modelo es una topología del sistema de inventario de transbordo lateral en una red aleatoria.
3. Conjunto de reglas de interacción entre unidades que para la modelo seria entre albergues
4. Probabilidad de reparación de otras unidades, para el modelo probabilidad de ayuda a otros albergues
5. Existe posibilidad de la perturbación que puede ocurrir durante la interacción de las unidades, para el caso del modelo interacción entre albergues.

Para el modelo, se usa una probabilidad ya que el proceso de cambio de estado de las unidades, en este caso puntos de albergues, es claramente visible al igual que el modelo de autorreparación, el proceso de cambio de estado de las unidades no se conoce claramente, por lo que la probabilidad se usa para representar la tasa de éxito de los métodos de reparación o tasa de éxito de ayuda en los albergues vecinos.

Por lo tanto, es necesario encontrar parámetros apropiados para el transbordo lateral que mejoren el rendimiento del inventario. El modelo de red de autorreparación en el campo de la informática implica la colaboración en la red informática mediante la cual cada computadora intenta

reparar otras computadoras mediante copia mutua. La diferencia entre el modelo de red de autorreparación y el transbordo lateral de inventario son los recursos utilizados para el proceso de reparación. El proceso de reparación de la red de autorreparación no consume recursos, mientras que, en el proceso de reparación del transbordo lateral, sus propios recursos se consumen transfiriéndolos a otros. El modelo de autorreparación utiliza los autómatas celulares probabilísticos como base para representar una entidad y sus interacciones, ya que tienen la capacidad de interactuar con las celdas vecinas y también tiene la capacidad de cambiar dinámicamente de acuerdo con algunas reglas. Con el fin de incrementar el desempeño del sistema de inventario y logística humanitaria, se propone un modelo que tiene las características de un sistema de autorreparación. El modelo de autómatas celulares probabilísticos es apropiado como modelo base, ya que se puede modelar la interacción dinámica entre albergues como interacción entre células. El modelo asume que el tiempo de entrega es instantáneo y hay suficientes vehículos para las operaciones logísticas requeridas en el transbordo lateral. Se incluye tres tipos de costos en nuestro modelo de inventario y logística humanitaria con transbordo lateral: costo de adquisición, costo de entrega y costo de "desabastecimiento".

En cuanto al transbordo lateral, en una formulación matemática, el modelo consta de tres elementos:

- A = Conjunto de albergues
- T = Topología que conectan los albergues
- R = Reglas de interacción entre albergues

Un conjunto de puntos de albergues A es un número finito de puntos de albergues. La topología del sistema de inventario de transbordo lateral es una red aleatoria. Restringimos el caso

donde cada punto de albergue tiene un estado: normal (1) y anormal (0). El estado normal representa un nivel alto de inventario, mientras que el estado anormal representa un nivel de inventario bajo, respectivamente. Para las reglas de interacción entre albergues hay varios supuestos utilizados en este modelo, como:

- Cada punto de albergue intenta ayudar a los otros puntos con probabilidad P_h .
- La proporción compartida por un punto de albergue del estado normal representado por la variable P_n .
- La proporción compartida por un punto de Albergue del estado anormal está representada por la variable P_a donde $P_a < P_n$
- El umbral de proporción esta simbolizado por la letra N y A que representan el estado normal y anormal respectivamente.

9. Modelo de Automatas Celulares Probabilísticos

Sea $M = \{G, S, N, R, P\}$ un Modelo de Autómata Celular Probabilístico, los componentes G, S, N, R ; mantienen el significado de la sección 4.7, $P: R \times S \rightarrow S$. La probabilidad de que la transición δ produzca cambio de estado de s a s' se denota por $p(\delta, s' | s)$ y la probabilidad de que no se produzca cambio es $1 - p(\delta, s' | s)$. El modelo se representa por los colores Azul y Amarillo, que se describen solo por la interacción del vecino más cercano. Los patrones espacio temporales se discretizan en dimensiones de tiempo, espacio y estado, se utiliza una red cuadrada como espacio bidimensional, y el paso del tiempo t_n se introduce por discretización en el espacio del tiempo.

El estado de la celda (i, j) en el paso del tiempo t_{n+1} , se representa como $S_{i,j}^{t_{n+1}}$, y es determinado por el estado de la celda $S_{i,j}^{t_n}$ y por los estados de las celdas vecinas. $S_{i\pm 1, j\pm 1}^{t_n}$ en el paso

del tiempo t_n . En aras de la comprensión de los estados de las celdas se manejan con dos colores, si el color es Azul entonces el estado del sistema dinámico es 0 y si es Amarillo entonces se encuentra en el estado 1. Para cada una de las celdas se define probabilidad de transición como.

$$Prob(S_{i,j}^{t_{n+1}} = 1) = f(S_{i,j}^{t_n}, S_{i\pm 1, j\pm 1}^{t_n}) \quad (14)$$

$$Prob(S_{i,j}^{t_{n+1}} = 0) = 1 - f(S_{i,j}^{t_n}, S_{i\pm 1, j\pm 1}^{t_n}) \quad (15)$$

9.1 Modelo basado en gestión de inventarios en logística humanitaria.

En una situación de ayuda humanitaria las celdas representan albergues de inventario para actividades de ayuda que generalmente se encuentran cercanos, **suponiendo que cada celda tiene 4 vecinos cercanos**, la cual el modelo tiene tres tipos de actividades que afectan el nivel de inventario: consumo de alimentos, entrega de nuevos artículos desde el almacén central y los que son entregados por los albergues haciendo uso del transbordo lateral. Un albergue, con un bajo nivel de inventario podrá, compartir cierta cantidad de artículos con los demás, y viceversa.

A continuación, se definen los siguientes parámetros para el modelo:

- Un Albergue puede ayudar a cuatro Albergues vecinos por un periodo de tiempo.
- El número de albergues permanece igual durante la revisión.

Con respecto al consumo, se define dos ecuaciones (p_1, p_2) que representan la probabilidad de que la celda (i, j) en el tiempo t mantenga o aumente el estado de la celda a 1 (normal) en el

tiempo $t + 1$ desde el estado 1 y 0, respectivamente. Estos dos parámetros se pueden expresar matemáticamente como:

$$p_1 = \text{prob}(S_{i,j}^{t+1} = 1 | S_{i,j}^t = 1) \quad (16)$$

$$p_2 = \text{prob}(S_{i,j}^{t+1} = 1 | S_{i,j}^t = 0) \quad (17)$$

Los artículos nuevos se pueden entregar desde el almacén central regularmente en momentos predeterminados o reactivamente para satisfacer la demanda siguiendo los modelos de gestión de inventarios anteriormente desarrollados. Esto último requiere una información veraz y rápida entre albergues, pero esto se hace imposible en una situación de desastre, por consiguiente, el modelo supone la entrega periódica de nuevos artículos. Se definen las siguientes ecuaciones (p_3, p_4) que representan la probabilidad de que la celda (i, j) en el tiempo t , se convierta en estado 1 en el tiempo $t + n$ dado que vienen del estado 1 y 0 respectivamente. Sea n el período de entrega de nuevos artículos a los albergues; por ejemplo, si $n = 3$, entonces el periodo de entrega de nuevos artículos ocurre en un tiempo de 3, 6, 9, y así sucesivamente, como se muestra en las Ecuaciones 18 y 19. En caso de que la probabilidad calculada mediante las ecuaciones (18 y 19) sean mayores que 1 para el conjunto de parámetros de (p_1, p_2, p_3, p_4), entonces, en este caso la probabilidad se establece en 1.

$$p_1 + p_3 = \text{prob}(S_{i,j}^{t+2} = 1 | S_{i,j}^{t+1} = 1) \quad (18)$$

$$p_2 + p_4 = \text{prob}(S_{i,j}^{t+2} = 1 | S_{i,j}^{t+1} = 0) \quad (19)$$

Para el manejo de inventarios por medio del transbordo lateral se introducen cinco nuevos parámetros (p_h, p_5, p_6, p_7, p_8) que representan las probabilidades de ciertas actividades:

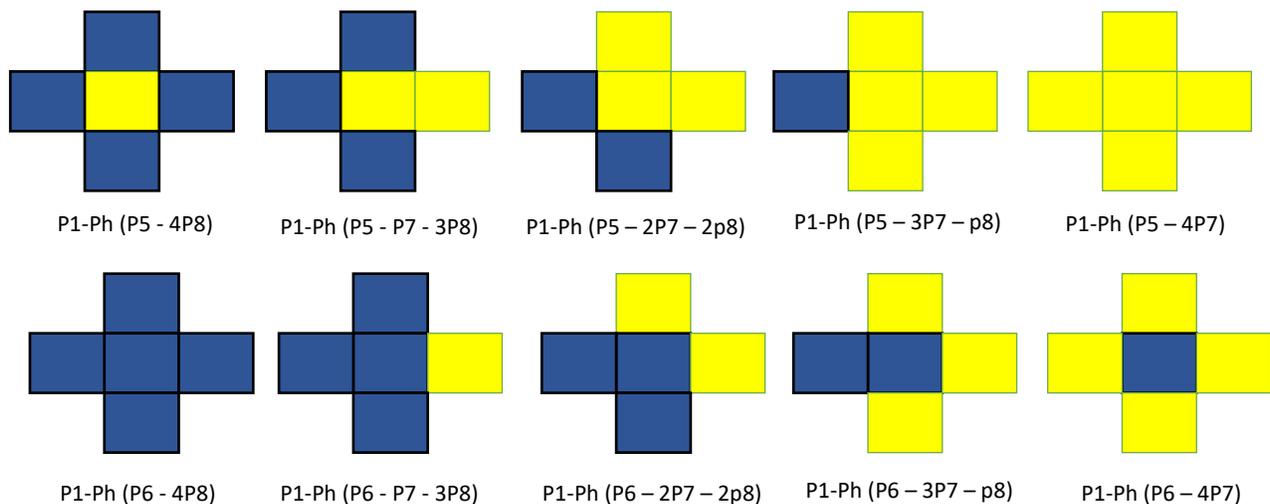
- p_h = La probabilidad de que la celda i ayude a sus celdas vecinas.

- p_5 = Representa la probabilidad de que el estado de una celda se disminuya a 0 en el tiempo $t + 1$ debido a que ayuda a otras celdas dado que su estado actual es 1.
- p_6 = Se usa cuando el estado de la celda en t es 0 debido a la actividad de ayuda, Las celdas vecinas tienen la oportunidad de aumentar sus estados.
- p_7 = Es la probabilidad de que el estado de una celda se mantenga en 1 en el periodo $t + 1$ por la recepción de ayuda, dado que en el periodo t se encuentra en el estado 1.
- p_8 = Es la probabilidad de que el estado de una celda aumente 1 en el periodo $t + 1$ por la recepción de ayuda, dado que en el periodo t se encuentra en el estado 0.

En la siguiente Figura 20, ilustran el proceso de ayuda y sus probabilidades relacionadas con transbordo lateral, pero sin entrega periódica desde el almacén central. Cada celda tiene cuatro vecinos con diferentes estados. Cada combinación está asociada con diferentes probabilidades de transición.

Figura 20.

Proceso de un autómata celular probabilístico con sus probabilidades de transición.



Si en algún momento el almacén central envía nuevos artículos, la probabilidad de transición

aumentará al agregar la probabilidad de recibir nuevos artículos del almacén central esto es (p_3 o p_4) según corresponda.

El modelo se representa con cuatro variables más, x , z , v_1 y v_2 . x es una variable binaria que tiene un valor de 0 o 1 dependiendo del estado de las celdas, como se muestra en la ecuación 20. z también es una variable binaria que tiene un valor de 0 si el período t es igual al valor múltiple de n y viceversa, como se muestra en la ecuación 21. Por último, las variables v_1 y v_2 representan el número de celdas vecinas normales y anormales, respectivamente. La definición formal del modelo de logística e inventario humanitario viene dada por las probabilidades de transición resultantes de la interacción de todas las variables mencionadas anteriormente, como se muestra en la ecuación 22. Mientras tanto, la Ecuación 23 muestra la relación entre las variables.

A partir de un análisis en una situación de socorro basado en el inventario y la logística se establece las siguientes restricciones:

1. La probabilidad de que una celda se convierta en estado normal en el tiempo $t + 1$ del estado anormal en el tiempo t , es imposible sin la ayuda de terceros. Esta probabilidad es (p_2) y se establece en 0.
2. La probabilidad adicional de que la celda (i, j) en el tiempo t se convierta en estado 1 en el tiempo $t + n$ desde el estado 1 (p_3) debido a la recepción de artículos del almacén central es una certeza. Se establece esta probabilidad en 1.

3. Es cierto que la probabilidad de que el estado de la celda se mantenga en 0 en el tiempo $t + 1$ debido a la actividad de ayuda si el estado de la celda en t es 0 (p_6). Se establece esta probabilidad en 1.

Modelo

$$X = \begin{cases} 1, S_{i,j}^t = 1 \\ 0, S_{i,j}^t = 0 \end{cases} \quad (20)$$

$$Z = \begin{cases} 1, t \bmod n = 0 \\ 0, \bmod n \neq 0 \end{cases} \quad (21)$$

$$P_t = X(P_1 + ZP_3 - P_h(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - X)(P_2 + ZP_4 - P_h(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8)) \quad (22)$$

$$P_2 \leq P_1$$

$$P_4 \leq P_3$$

$$P_5 \leq P_6 \quad (23)$$

$$P_8 \leq P_7$$

Se construye una Simulación de Monte Carlo en una red cuadrada con diferentes parámetros como lo ilustra la tabla 8 y según la ecuación 22 para determinar los estados de las celdas. El resultado se presenta visualmente como patrones en Azul y Amarillo en una red cuadrada el cual se pueden observar en las figuras 21, 22, 23 y 24. En esta simulación, el amarillo representa una celda normal y el azul representa una celda anormal. Se determina que aproximadamente 1000 celdas interactúan entre sí en la red cuadrada. Se propone cuatro escenarios en esta simulación que ilustran las características del inventario de la siguiente manera:

1. Simulación de inventario sin entrega periódica o transbordo lateral.

2. Simulación de inventario con entrega periódica, pero sin transbordo lateral.
3. Simulación de inventario sin entrega periódica, pero con transbordo lateral.
4. Simulación de inventario con entrega periódica y transbordo lateral.

Tabla 8*Simulación de Monte Carlo, Parámetros*

Parámetros	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
P_1	0.5	0.5	0.5	0.5
P_2	0	0	0	0
P_3	0	1	0	1
P_4	0	0.5	0	0.5
P_5	0.5	0.5	0.5	0.5
P_6	1	1	1	1
P_7	0.3	0.3	0.3	0.3
P_8	0.2	0.2	0.2	0.2
P_h	0	0	0.5	0.5
n	0	3	3	3

Figura 21.

Escenario 1

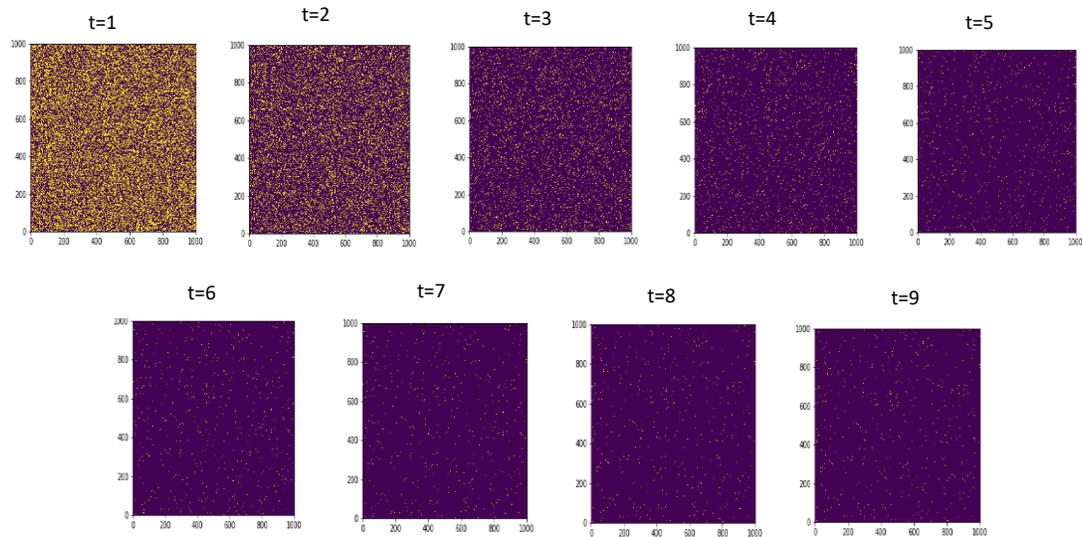


Figura 22.

Escenario 2

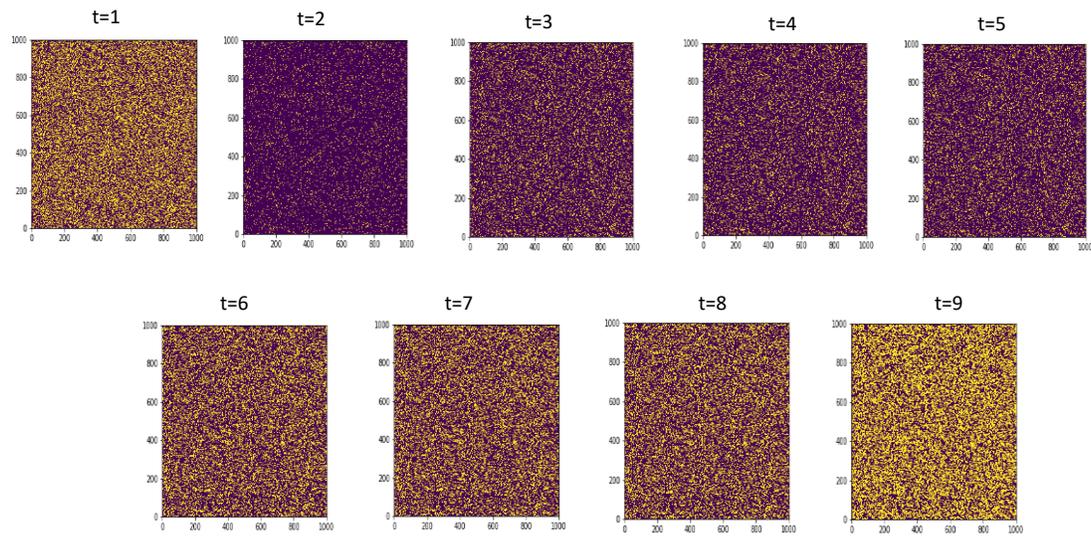


Figura 23.

Escenario 3

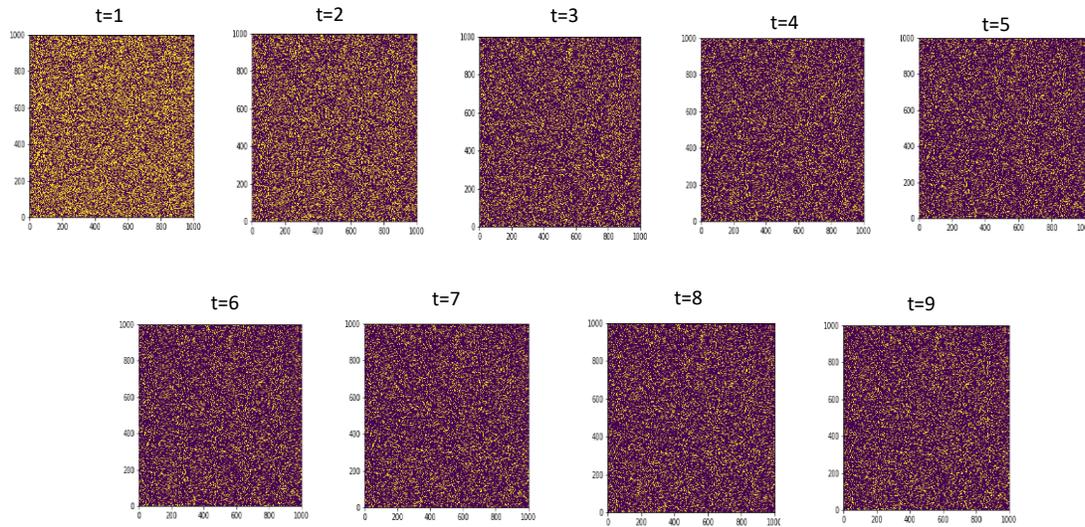
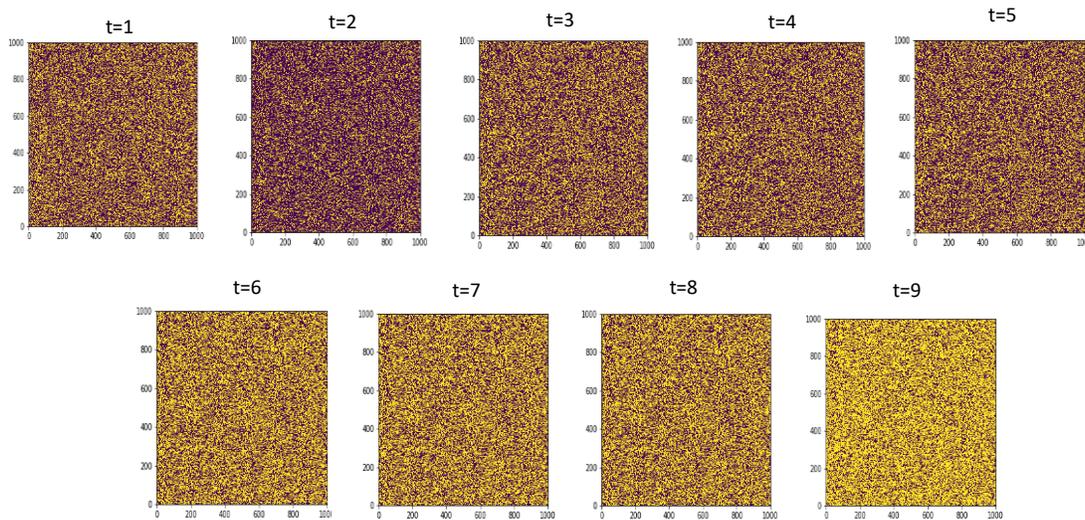


Figura 24.

Escenario 4



La Tabla 10 muestra los parámetros de simulación utilizados en cada escenario. Cada escenario tiene parámetros similares, excepto p_3 , p_4 y p_h . Los parámetros p_3 y p_4 muestran la

existencia de entrega periódica desde el centro de distribución mientras que ph muestra la existencia de transbordo lateral. El resultado de cada escenario se muestra en las Figuras 21, 22, 23 y 24.

Al revisar cada escenario, se puede ver que, en el escenario sin entrega regular o transbordo lateral, el número de celdas normales disminuye rápidamente con el tiempo. En este caso, el amarillo representa una celda normal y el azul representa una celda anormal. En el escenario sin transbordo lateral, pero con entrega periódica, el número de celdas normales disminuye entre el período de entrega y aumenta durante el período de entrega. En este caso, la entrega de nuevos artículos estabiliza el nivel de inventario. En el escenario con transbordo lateral, pero sin entrega periódica, las células normales pueden sobrevivir por más tiempo que el escenario habitual (sin transbordo lateral ni entrega periódica). Por último, el número de celdas normales aumenta cuando se activa el transbordo lateral y la entrega periódica.

A partir de esta simulación de Monte Carlo se puede concluir que el transbordo lateral juega un papel importante en el modelo de autómatas celulares probabilísticos observando que la redistribución regular de existencias ayuda a equilibrar un sistema de inventario, ajustándose a una revisión periódica de pedidos, pero un reequilibrio regular de las existencias aún puede tener beneficios bajo una revisión de orden fija.

Por consiguiente, se lleva a cabo el modelo de validación teniendo en cuenta los dos modelos de inventarios planteado y así observar el comportamiento de los albergues en el modelo de autómatas celulares probabilísticos con diferentes albergues vecinos.

10. Modelo de Validación

Se validará la idoneidad del modelo comparando dos modelos de gestión de inventarios revisión periódica y de orden fija, con el modelo de autómatas celulares probabilísticos siendo de gran aplicación debido a sus características funcionales, la validación presentará las siguientes características

Para efectos de la validación se toma de referencia los grupos de los albergues efectuados anteriormente, en la figura 12.

10.1 Validación bajo el modelo de revision periódica.

Para el modelo de revisión periódica teniendo en cuenta la demanda de kits de ayuda humanitaria en cada albergue, la cual permite determinar la cantidad total de kits requerida para entregar a la población, definirá la disponibilidad del recurso, y a través de la revision periódica, el modelo asignará los kits necesarios. A medida que las actividades se van ejecutando y los recursos se van consumiendo, el modelo determinará si es necesario activar el stock de seguridad, de tal modo que se activarán las alarmas para solicitar ayuda y el modelo de autómatas celulares Probabilísticos que brindara ciertas propiedades en el comportamiento de cada albergue en lo que se refiere al nivel de inventario. Todo esto con el objetivo de cumplir las actividades en un tiempo adecuado para satisfacer las necesidades y el bienestar de la población

A continuación, para realizar la validación del modelo se toma como base el grupo 1 conformado por 20 albergues, la cual se hará la simulación para observar el comportamiento del

modelo en cada uno de los albergues que conforman el grupo 1. La tabla 9 muestra los parámetros efectuados en la simulación de inventario periódico y el modelo de autómatas celulares probabilísticos con sus respectivos resultados para el albergue Coliseo Bicentenario el cual cuenta con una capacidad de 1438 personas.

Para efectos de la simulación de la demanda se tomó una capacidad de personas del 80% en el albergue, con un promedio de kits de 164 kits por semana con un coeficiente de variación del 0.35 y una desviación estándar de 58, arrojando el siguiente resultado de la distribución de la demanda estocástica en las 52 semanas planteadas.

Tabla 9

Parámetros inventario periódico.

Albergue Coliseo Bicentenario Grupo 1	
Periodo total	52
Demanda Promedio	163
Periodo de Entrega	1
Inventario Objetivo	642
Cantidad Entregada	154
Probabilidad de ayuda	0.9
Proporción de ayuda de albergues Normales	P_n
Proporción de ayuda de albergues Anormales	P_a
Umbral celda Anormal	0.30

Se convierte estos parámetros del modelo de gestión de inventarios en parámetros de

probabilidad para alimentar el modelo de autómatas celulares probabilísticos de la siguiente manera:

$$P_1 = 1 - \frac{\textit{Tasa de demanda}}{\textit{Inventario Objetivo}}$$

$$P_2 = 0$$

$$P_3 = 1$$

$$P_4 = \frac{\textit{Cantidad entregada}}{\textit{Inventario Objetivo}} + \textit{Umbral Celda Anormal}$$

$$P_5 = P_n$$

$$P_6 = 1$$

$$P_7 = 0.2$$

$$P_8 = 0.1$$

$$P_h = 0.9 \text{ y } 0.5$$

A continuación, en la siguiente tabla 10 se evidencian los parámetros de probabilidad para la ejecución del modelo de Autómatas Celulares Probabilísticos.

Tabla 10

Probabilidades de transición

Parámetros	Probabilidades
P_1	0.75
P_2	0
P_3	1
P_4	0.54

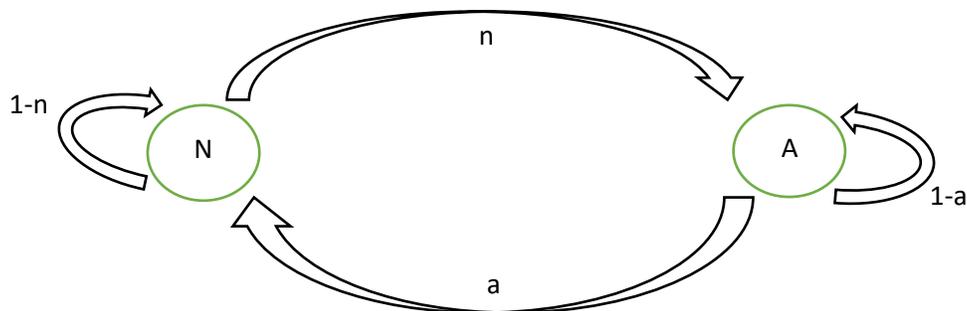
Continuación tabla 10. Probabilidades de transición

P_5	0.2
P_6	1
P_7	0.2
P_8	0.1
P_h	0.9 y 0.5

Seguidamente, se realiza la simulación para la dinámica en el comportamiento de los albergues con los parámetros de probabilidad definidos en lo que respecta a las políticas de inventario de cada albergue. La figura 25, representa la transición de los dos estados de los albergues, siendo $N = 1$ y $A = 0$

Figura 25

transición de estados



Ahora bien, mediante el lenguaje de programación Python se procede hacer las diferentes simulaciones en cada uno de los escenarios propuestos y así observar el comportamiento de la probabilidad de transición en cada uno los albergues.

10.1.2 Simulación de inventario sin entrega periódica ni transbordo lateral.

Reemplazando los parámetros en el modelo se obtiene:

Como no hay transbordo lateral ni entrega periódica la probabilidad de transición tiene en cuenta únicamente el parámetro p_1 que representa la probabilidad de consumo, si el albergue se encuentra en estado normal. Caso contrario si el albergue se encuentra en estado anormal el parámetro a tener en cuenta es p_2 que sería igual a cero.

$$P_t = 1(0.75 + 0 * 1 - 0(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 1)(0 + 0 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 0.75$$

$$P_t = 0(0.75 + 0 * 1 - 0(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 0)(0 + 0 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

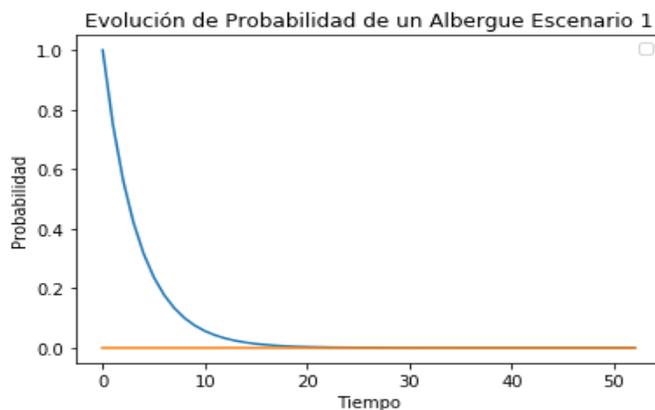
$$P_t = 0$$

Matriz de transición queda de la siguiente manera:

$$P_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.25 & 0.75 \end{bmatrix}$$

Figura 26.

Evolución de Probabilidad de un Albergue escenario 1



En la figura 26 señala el comportamiento de la evolución de probabilidad de un albergue en estado normal (línea azul), que inicialmente la probabilidad de mantenerse en su estado es 0.75, pero al transcurrir el tiempo en la quinta semana esa probabilidad se reduce a un 0.27 de quedarse en su estado normal. Por otro lado, la línea naranja, que representa un albergue que inicialmente su estado es anormal la probabilidad que este aumente para llegar a un estado normal es cero. Estas probabilidades de transición son debido a que no hay entrega periódica ni transbordo lateral provocando un posible desabastecimiento en los albergues en el tiempo.

10.1.3 Simulación de inventario con entrega periódica, pero sin transbordo lateral.

A continuación, se plantea el siguiente escenario bajo las siguientes condiciones

$$P_t = 1(0.75 + 1 - 0(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 1)(0 + 0 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 1$$

$$P_t = 0(0.75 + 0 * 1 - 0(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 0)(0.75 + 0.54 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 1$$

$$P_t = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Estas probabilidades de transición, indican que la probabilidad de un albergue en estado normal de quedarse en el mismo estado normal es 1 en un período de entrega de dos semanas, esto gracias a la entrega periódica desde el centro de distribución para satisfacer las necesidades en los diferentes albergues. Algo similar ocurre cuando el estado de un albergue se encuentre en anormal que en un período de cada dos semanas tendrá una entrega periódica y su probabilidad de aumentar

a un estado normal es 1.

En la figura 27 se evidencia la dinámica del sistema de inventario, mostrando cada semana un consumo dependiendo de la demanda y como la entrega periódica cada dos semanas reabastece el inventario hasta obtener un inventario objetivo de 632 kits para suplir la demanda de la siguiente semana y así evitar faltantes en el albergue.

Figura 27

Evolución del inventario en un Albergue escenario 2



10.1.4 Simulación de inventario sin entrega periódica, pero con transbordo lateral.

Para estudiar los efectos de las variables en el rendimiento de albergues normales. Se procede a verificar las variables p_5 y p_h en un escenario de transbordo lateral en el cual un albergue en estado normal se encuentra con 4 vecinos anormales y ningún vecino normal, como lo muestra la ecuación 24. Los parámetros se observan en la tabla 11.

La probabilidad de transición en estudio es la probabilidad de que una celda se mantenga en estado 1 en el tiempo $t + 1$ del estado 1 en el tiempo t

$$p_t = (1 * (p_1 + ((0 * p_3) - (p_h * (p_5 - (0 * p_7) - (4 * p_8)))))) \tag{24}$$

Tabla 11

Variables de probabilidad

P5	0.2	0.2
ph	0.9	0.5
Pt	1	0.9
P5	0.5	0.5
ph	0.9	0.5
Pt	0.75	0.75

Para validar la información de la tabla 13, se realiza dos configuraciones, la primera indica de un albergue en estado normal con tres albergues vecinos en estado anormal y un albergue vecino en estado normal, la segunda configuración sería con un albergue en estado anormal con tres albergues vecinos en estado anormal y un albergue vecino en estado normal. Las probabilidades de p_h y p_5 se varían de acuerdo a lo planteado en la tabla 15 y así poder concluir el comportamiento en la probabilidad de transición.

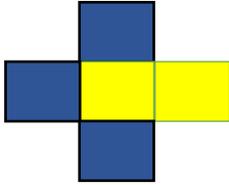
Teniendo en cuenta que la probabilidad de transición consta de las siguientes componentes.

$$P_1 = \text{Probabilidad de consumo de alimentos}$$

$$-P_h P_5 = \text{Probabilidad de enviar ayudas a los albergues vecinos.}$$

$$P_h P_7 + 3P_h P_8 = \text{Probabilidad adicional de recibir ayudas de albergues vecinos.}$$

A continuación, mediante la programación en Python se observa el efecto que ocasiona P_h en la configuración 1, teniendo en cuenta una celda (albergue) normal con tres vecinos anormales y uno normal.



Cabe aclarar que las celdas (albergues) en color amarillo representa el estado normal y las celdas (albergues) de color azul representan el estado anormal.

P1-Ph (P5 - P7 - 3P8)

Como primera medida se realizará la simulación para una probabilidad de ayuda $P_h = 0.9$ y $P_5 = 0.2$

$$P_t = 1(P_1 - P_h(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

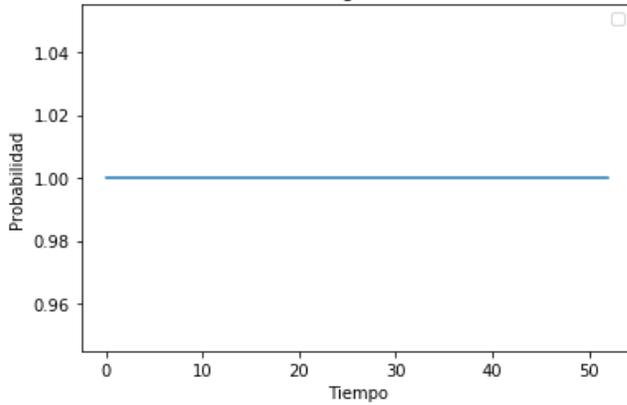
$$P_t = 1(0.75 - 0.9(0.2 - 1 * 0.2 - 3 * 0.1))$$

$$P_t = 1$$

Figura 28

Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h = 0.9$ y $p_5 = 0.2$

Evolución de Probabilidad de un Albergue Escenario 3, con $P_h = 0.9$ y $P_5 = 0.2$



De igual forma, se realiza una simulación para una probabilidad de ayuda $P_h = 0.5$ y $P_5 = 0.2$

$$P_t = 1(P_1 - P_h(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

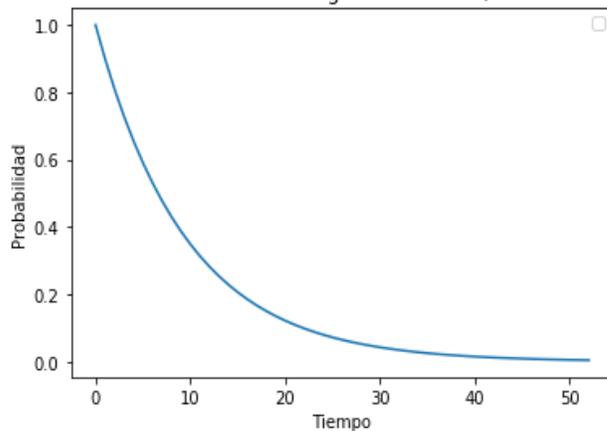
$$P_t = 1(0.75 - 0.5(0.2 - 1 * 0.2 - 3 * 0.1))$$

$$P_t = 0.9$$

Figura 29

Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h = 0.5$ y $p_5 = 0.2$

Evolución de Probabilidad de un Albergue Escenario 3, con $P_h = 0.5$ y $P_5 = 0.2$



De otro lado, se realiza una simulación para una probabilidad de ayuda $P_h = 0.9$ y $P_5 = 0.5$

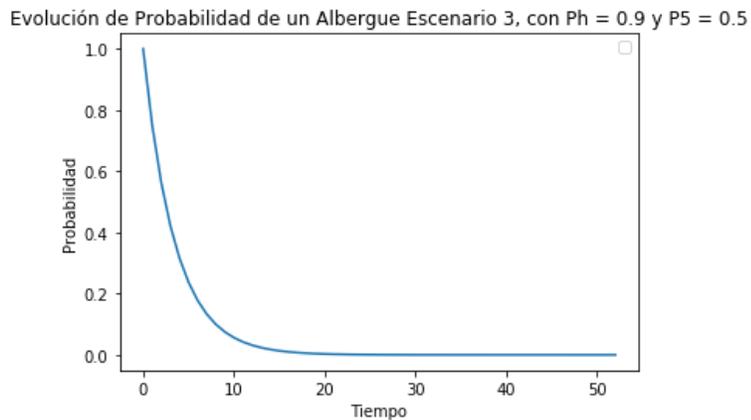
$$P_t = 1(P_1 - P_h(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 1(0.75 - 0.9(0.5 - 1 * 0.2 - 3 * 0.1))$$

$$P_t = 0.75$$

Figura 30

Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h = 0.9$ y $p_5 = 0.5$



Seguidamente se realiza una simulación para una probabilidad de ayuda P_h de 0.5 y $P_5 = 0.5$

$$P_t = 1(P_1 - P_h(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

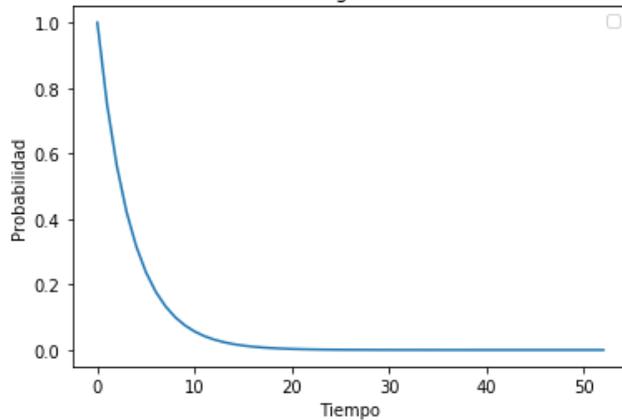
$$P_t = 1(0.75 - 0.5(0.5 - 1 * 0.2 - 3 * 0.1))$$

$$P_t = 0.75$$

Figura 31

Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h=0.5$ y $p_5 = 0.5$

Evolución de Probabilidad de un Albergue Escenario 3, con $P_h = 0.5$ y $P_5 = 0.5$



Para la configuración 1, como primer paso se hizo una simulación con una probabilidad de ayudar $P_h = 0.9$ y compartir una proporción $P_5 = 0.2$ a sus albergues vecinos, la probabilidad de transición de mantenerse en su estado normal es 1 en el tiempo $t+1$ a lo largo de las 52 semanas como se observa en la figura 28. Esto debido a que tiene una probabilidad de 0.45 de recibir ayuda de sus 3 albergues vecinos anormales y un albergue normal como se interpreta en la ecuación 25

$$P_h P_7 + 3P_h P_8 = 0.45 \quad (25)$$

De lo contrario en la figura 27 con una probabilidad de ayuda $P_h = 0.5$ y compartir una proporción $P_5 = 0.2$, la probabilidad de transición de mantenerse en su estado normal es 0.9 en el tiempo $t+1$ a lo largo de las 52 semanas. En esta ocasión la probabilidad de recibir ayuda es del 0.25, debido a que su p_h disminuyó.

$$P_h P_7 + 3P_h P_8 = 0.25 \quad (26)$$

Para las siguientes simulaciones, teniendo en cuenta un $p_h = 0.9$ y 0.5 con un $p_s = 0.5$ la probabilidad de mantenerse en el estado normal es 0.75 en el tiempo $t + 1$ como lo ilustra las figuras 29 y 30, acá la probabilidad de recibir ayuda es igual a la ecuación 25 y 26, el cambio está en la probabilidad de ayudar el cual aumento a 0.5 disminuyendo la probabilidad de transición con respecto a los anteriores escenarios, esto se debe a que comparte más ayuda que la que recibe.

A continuación, se observa el efecto que ocasiona P_h en la configuración 2, teniendo en cuenta una celda (albergue) anormal con tres vecinos anormales y uno normal.

La probabilidad de transición consta de las siguientes componentes para la configuración 2 planteada.

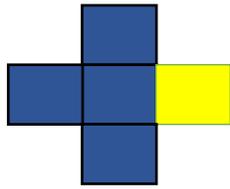
P_2 = La probabilidad de que una celda se convierta en estado 1 en el tiempo $t+1$ del estado 0 debido al consumo es imposible sin la ayuda de terceros, esta probabilidad se establece en 0.

P_6 = Es la probabilidad de que un estado de un albergue disminuya a un estado 0 en el tiempo $t+1$ debido a la actividad de ayuda si el estado en t es 0 se establece esta probabilidad en 1.

$-P_h P_6$ = Probabilidad de enviar ayudas a los albergues vecinos.

$P_h P_7 + 3P_h P_8$ = Probabilidad adicional de recibir ayudas de albergues vecinos

Ahora se realizará una simulación, bajo la configuración 2 en la que una celda (albergue) anormal tienen tres vecinos anormales y uno normal, como lo muestra la siguiente imagen.



Cabe aclarar que las celdas (albergues) en color amarillo representa el estado normal y las celdas (albergues) de color azul representan el estado anormal.

P1-Ph (P6 - P7 - 3P8)

Como primera medida se realizará la simulación para una probabilidad de ayuda P_h de 0.9

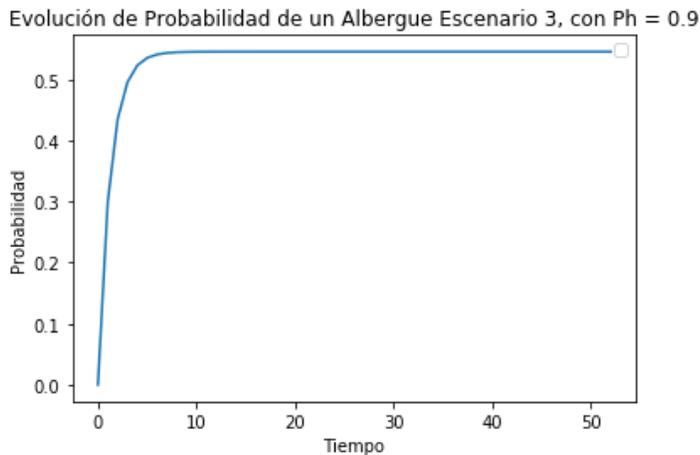
$$P_t = 1 - 0(P_1 - P_h(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 1 - 0(0.75 - 0.9(1 - 1 * 0.2 - 3 * 0.1))$$

$$P_t = 0.3$$

Figura 32

Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h=0.9$



Seguidamente se realiza una simulación para una probabilidad de ayuda P_h de 0.5

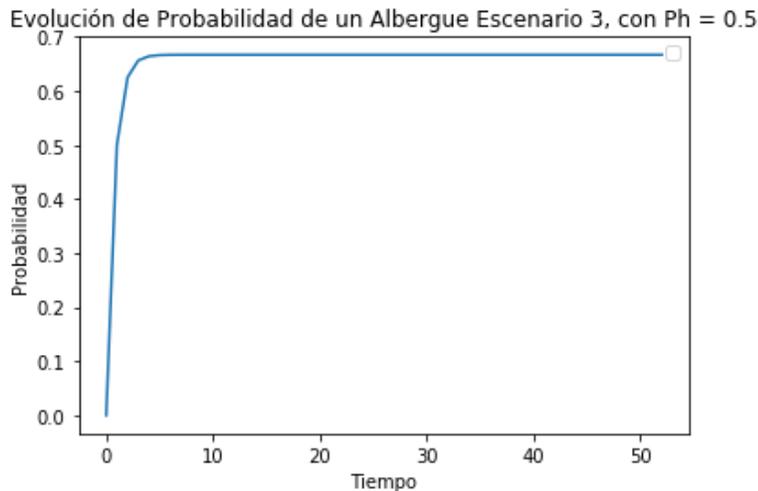
$$P_t = 1 - 0(P_1 - P_h(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 1 - 0(0.75 - 0.5(1 - 1 * 0.2 - 3 * 0.1))$$

$$P_t = 0.5$$

Figura 33

Evolución de Probabilidad de un albergue Escenario 3, con $p_h = 0.5$



Para la configuración planteada se varia la probabilidad de ayuda P_h en 0.9 y 0.5 y así observar el comportamiento del albergue anormal con sus vecinos, dejando como conclusión que al estar el albergue en un estado anormal la probabilidad de ayudar debe ser menor o igual a 0.5 esto conlleva a que su probabilidad de transición de aumentar su estado a normal en el tiempo $t+1$ sea mayor con respecto a un P_h del 0.9, esto se observa en las figuras 32 y 33. En conclusión, un albergue en estado anormal su probabilidad de ayudar a albergues vecinos no debe ser alta por consecuencia de su estado.

Ahora bien, se procede a realizar la simulación bajo diferentes condiciones de albergues normales y anormales variando sus albergues vecinos teniendo en cuenta el escenario 3 que indica

una simulación con transbordo lateral, pero sin entrega periódica. a continuación, se plantea la siguiente simulación:

10.1.4.1 Simulación de un albergue en estado normal con cuatro vecinos anormales.

$$P_t = 1(0.75 + 0 - 0.9(0.2 - 0P_7 - 4 * 0.1)) + (1 - 1)(0 + 0 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 0.93$$

10.1.4.2 Simulación de un albergue en estado anormal con cuatro vecinos anormales

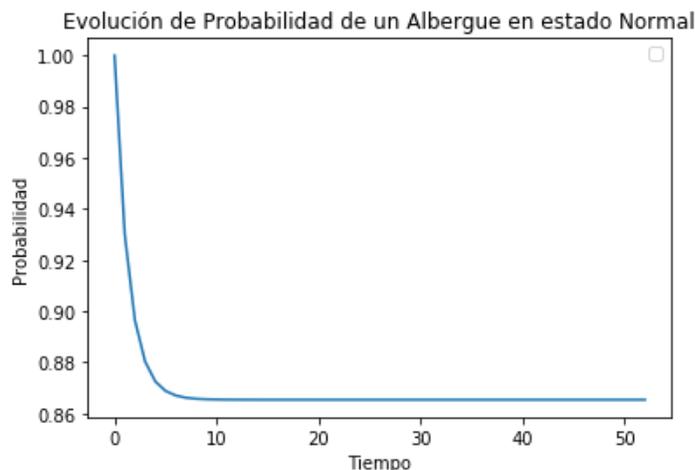
$$P_t = 0(0.75 + 0 * 1 - 0(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 0)(0.75 + 0 - 0.5(1 - 0P_7 - 4P_8))$$

$$P_t = 0.45$$

$$P_t = \begin{bmatrix} 0.55 & 0.45 \\ 0.07 & 0.93 \end{bmatrix}$$

Figura 34

Evolución de probabilidad de un albergue en estado normal

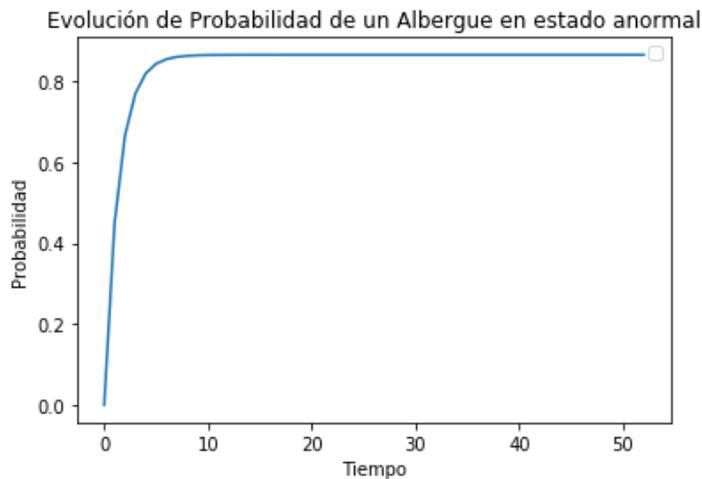


La figura 34 indica la probabilidad de permanecer el albergue en estado normal; como se observa a partir del período 8 los cambios en el estado del albergue se reducen a una probabilidad de 0.87 reduciendo la probabilidad de mantenerse en su estado normal debido a la ayuda prestada y

recibida de sus cuatro albergues vecinos anormales.

Figura 35

Evolución de probabilidad de un albergue en estado anormal



En cuanto al albergue en estado anormal la probabilidad de pasar a un estado normal es del 0.45. La figura 35 revela que en el periodo 7 aumenta la probabilidad de pasar a un estado normal en un 0.83 vinculando toda la interacción de los albergues vecinos para recibir y brindar ayuda.

En conclusión, el desempeño del inventario hacia p_5 y p_h (probabilidad de ayudar). Indica que, cuanto mayor sea la capacidad de un albergue para permanecer normal después de ayudar, junto con una alta probabilidad de ayudar, aumentará la probabilidad de permanecer en su estado normal. Esto significa que el transbordo lateral será exitoso si la voluntad de ayudar entre albergues es alta (p_h) y después de ayudar (p_5), un albergue que comparte sus recursos no se mete en problemas de quedar en un posible desabastecimiento.

Para evidenciar el comportamiento en las demás configuraciones con diferentes vecinos ver apéndice B

10.1.5 Simulación de inventario con entrega periódica y transbordo lateral.

10.1.5.1 Simulación de un albergue en estado normal con cuatro vecinos anormales.

$$P_t = 1(0.75 + 1 - 0.9(0.2 - 0 - 4 * 0.1)) + (1 - 1)(0 + 0 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 1$$

10.1.5.2 Simulación de un albergue en estado anormal con cuatro vecinos anormales

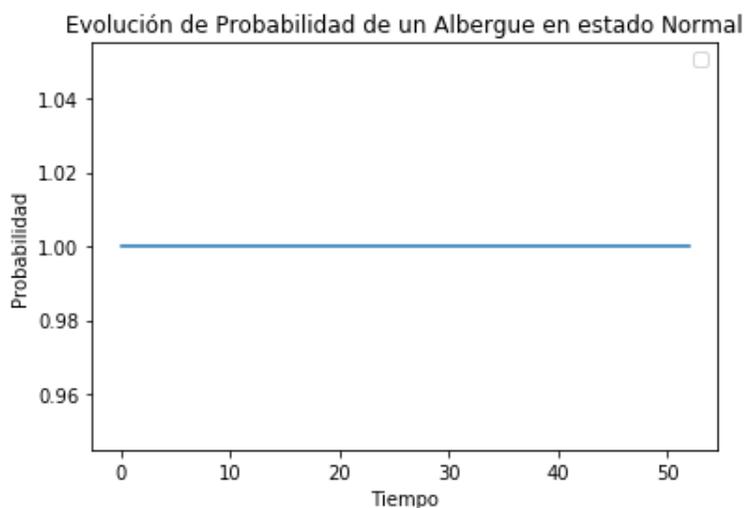
$$P_t = 0(0.75 + 0 * 1 - 0.9(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 0)(0.75 + 0.54 - 0.5(1 - 0 - 4 * 0.1))$$

$$P_t = 1$$

$$P_t = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 36

Evolución de Probabilidad de un Albergue en estado Normal

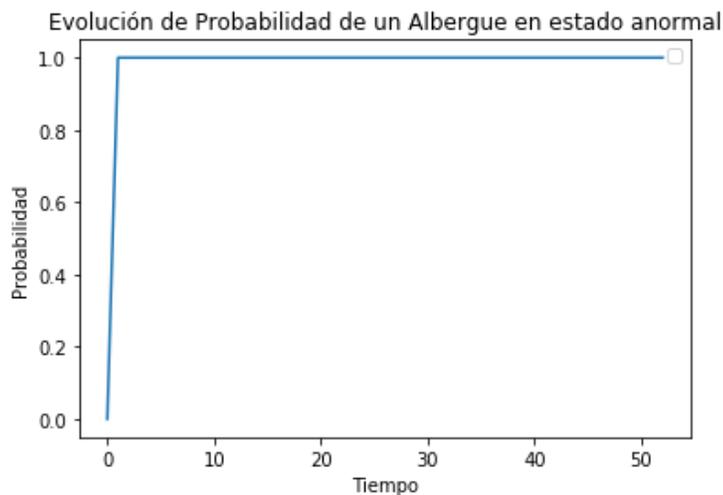


Para el escenario cuatro las probabilidades de permanecer en estado normal y aumentar a un estado normal es 1, como lo indican las figuras 36 y 37 esto se debe a la entrega periódica y el transbordo lateral de unidades cada vez que algún albergue necesite ayuda. Este escenario la probabilidad será la misma para todos los vecinos posibles que tenga en un determinado tiempo ya sean normales o anormales.

Este escenario incide que, con el modelo de gestión de inventarios de revisión periódica, hay una baja probabilidad que los albergues sufran un posible desabastecimiento, a causa de un correcto manejo de inventario tanto en la entrega periódica como en el transbordo lateral.

Figura 37

Evolución de Probabilidad de un Albergue en estado Anormal



Ahora bien, se procede a efectuar la validación bajo el modelo de revisión de orden fija, teniendo como característica los costos que se generan a la hora de plantear el modelo.

10.2 Validación bajo el modelo de revision de orden fija.

Teniendo en cuenta el modelo de orden fijo y el modelo de autómatas celulares Probabilísticos, se realiza la validación del modelo bajo la simulación numérica planteada, para el albergue Coliseo Bicentenario el cual cuenta con una capacidad de 1438 personas del grupo 1.

Para efectos de la simulación de la demanda se tomó una capacidad del 80% del albergue propuesto del grupo 1 conformado por 20 albergues, con un promedio de kits de 164 kits por semana con un coeficiente de variación del 0.35 y una desviación estándar de 57.52. agregando que, si bien los costos son menos importantes que salvar vidas humanas en una situación de desastre, el modelo de inventario de orden fija claramente tiene en cuenta la planificación de los costos de operaciones de desastres para evitar un gasto presupuestal descomunal. Se tiene en cuenta costos de adquisición y transporte que están relacionados con actividades de adquisición y entrega de artículos a las víctimas del desastre en cada uno de los albergues que necesitan ayuda.

A partir de esto se considera C_d C_a C_t como el costo unitario de las actividades de desabastecimiento, adquisición y transporte, respectivamente, estos costos contribuyen al costo total de la operación de recuperación ante un desastre, las ecuaciones 26, 27 y 28 muestran los costos de desabastecimiento, adquisición y transporte. Asimismo, la ecuación 29 muestra el costo total que representa la función de costo del modelo. Al sustituir la probabilidad de transición total de la Ecuación 24 en la Ecuación 29, obtenemos una forma simplificada de la función de costos como se muestra en la ecuación 30.

$$TC_d = (1 - P_t)C_d \quad (26)$$

$$TC_a = (XZ + (1 - X)ZP_4)C_a \quad (27)$$

$$TC_t = (X(Z - Ph(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8) + (1 - X)(ZP_4 - Ph(1 - V_1P_7 - V_2P_8))))C_t + (XZ + (1 - X)ZP_4)C_t \quad (28)$$

$$TC_t = (1 - P_t)C_d + (X(Z - Ph(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8) + (1 - X)(ZP_4 - Ph(1 - V_1P_7 - V_2P_8))))C_t + (XZ + (1 - X)ZP_4)(C_t + C_a) \quad (29)$$

$$TC = (1 - P_t)C_d + (P_t - XP_1)C_t + (XZ + (1 - X)ZP_4)(C_t + C_a) \quad (30)$$

La ecuación 26 expresa el costo de desabastecimiento que ocurre cuando los albergues lleguen a necesitar kits de ayuda del stock de seguridad, para una empresa esta situación significa perder clientes, pero para una situación de desastres significar perder vidas o un mayor sufrimiento en las victimas. En cuanto a la ecuación esta determina la probabilidad de transición que sucede en el momento en el que un albergue está en estado anormal y debido a su consumo sigue en el mismo estado hasta ir agotando existencias.

Para la ecuación 27, evidencia el costo de adquisición de nuevos kits para satisfacer la demanda en los albergues. La ecuación esta expresada bajo las condiciones de entrega periódica dependiendo del estado en que se encuentre el albergue.

En cuanto al costo de transporte la ecuación 28, tiene en cuenta las diferentes variables en los que se refiere a la entrega periódica desde el centro de distribución y la ayuda que se genera entre

albergues mediante el transbordo lateral.

A continuación, se plantea las variables del modelo de gestión de inventario para calcular las variables de probabilidad a ejecutar en el modelo de autómatas celulares probabilísticos.

Tabla 12

Parámetros inventario de orden fijo

Periodo total	52
Demanda Promedio	178
Periodo de Entrega	1
Cantidad Económica de Pedido	1361
Cantidad Entregada	190
Probabilidad de ayuda	0.9
Proporción de ayuda de albergues Normales	P_n
Proporción de ayuda de albergues Anormales	P_a
Umbral celda Anormal	0.30

Se convierte los parámetros en parámetros de probabilidad de la siguiente manera:

- $P_1 = 1 - \frac{\text{Tasa de demanda}}{\text{Cantidad Económica de Pedido}}$
- $P_2 = 0$
- $P_3 = 1$
- $P_4 = \frac{\text{Cantidad entregada}}{\text{Cantidad Económica de Pedido}} + \text{Umbral Celda Anormal}$
- $P_5 = P_n$

- $P_6 = 1$
- $P_7 = 0.2$
- $P_8 = 0.1$
- $P_h = 0.9$ y 0.5

Ahora bien, en la siguiente tabla 13 se tiene los parámetros de probabilidad para la ejecución del modelo de Automatas Celulares Probabilísticos.

Tabla 13

Probabilidades de transición

Parámetros	Probabilidades
P_1	0.87
P_2	0
P_3	1
P_4	0.44
P_5	0.2
P_6	1
P_7	0.2
P_8	0.1
P_h	0.9 y 0.5

Para verificar el comportamiento de los albergues normales y anormales se procede a realizar la simulación estipulando los 4 escenarios planteados anteriormente en el modelo de autómatas celulares Probabilísticos, en un tiempo de 52 semanas.

10.2.1 Simulación de inventario sin entrega periódica ni transbordo lateral.

Reemplazando los parámetros en el modelo obtenemos:

Como no hay transbordo lateral ni entrega periódica la probabilidad de transición tiene en cuenta únicamente el parámetro p_1 que representa la probabilidad de consumo si el albergue se encuentra en estado normal, caso contrario si el albergue se encuentra en estado anormal p_2 es cero.

$$P_t = 1(0.87 + 0 * 1 - 0(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 1)(0 + 0 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 0.87$$

$$P_t = 0(0.87 + 0 * 1 - 0(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 0)(0 + 0 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

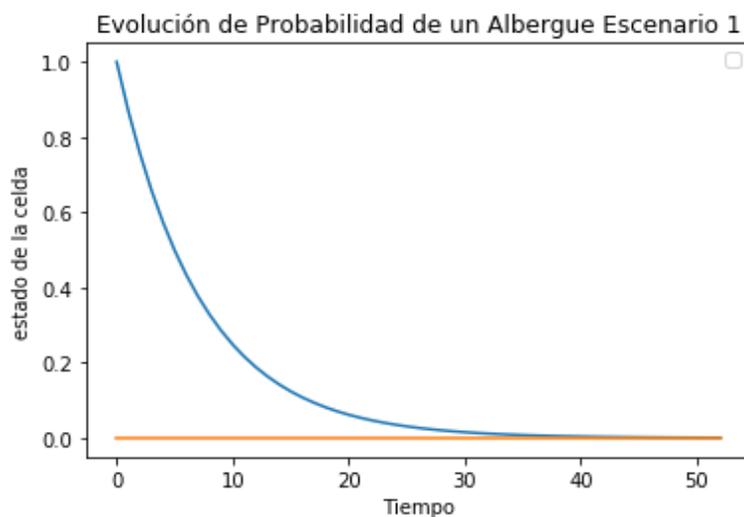
$$P_t = 0$$

Matriz de transición queda de la siguiente manera:

$$P_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.13 & 0.87 \end{bmatrix}$$

Figura 38

Evolución de un albergue escenario 1



Para esta simulación la probabilidad de transición del modelo de autómatas celulares probabilísticos que indica que el albergue se encuentra en el estado normal. Entonces, permanecerá en el estado normal en el próximo periodo con probabilidad 0.87, en la figura 38 ilustra el comportamiento de la probabilidad de transición en la cual en un período de 5 semanas esa probabilidad estará en 0.5 aproximadamente. Por otra parte, la línea naranja que representa el albergue en un estado inicial anormal, la probabilidad de llegar a un estado normal es 0 no tiene opción de subir de nivel ya que no hay entrega de inventario del centro de distribución ni transbordo lateral.

10.2.2 Simulación de inventario con entrega periódica, pero sin transbordo lateral.

$$P_t = 1(0.87 + 1 - 0(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 1)(0 + 0 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 1$$

$$P_t = 0(0.87 + 1 - 0(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 0)(0.87 + 0.44 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 1$$

$$P_t = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

En este escenario el comportamiento de las probabilidades de transición bajo el modelo de revisión fija, para un albergue en estado normal y para uno en estado anormal aseguran que en el período de reabastecimiento del centro de distribución la probabilidad que estos albergues mantengan y aumenten su estado es 1.

10.2.3 Simulación de inventario sin entrega periódica, pero con transbordo lateral.

10.2.3.1 Simulación de un albergue en estado normal con cuatro vecinos anormales.

$$P_t = 1(0.87 + 0 - 0.9(0.2 - 0P_7 - 4 * 0.1)) + (1 - 1)(0 + 0 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 1$$

10.2.3.2 Simulación de un albergue en estado anormal con cuatro vecinos anormales

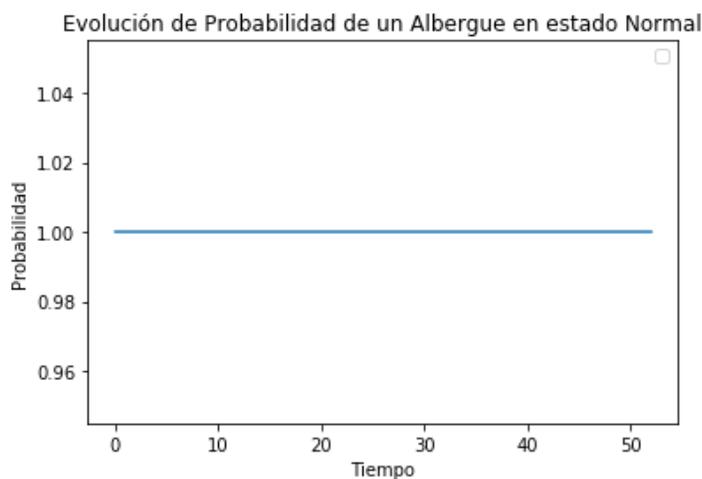
$$P_t = 0(0.87 + 0 - 0(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 0)(0.87 + 0 - 0.5(1 - 0P_7 - 4P_8))$$

$$P_t = 0.87$$

$$P_t = \begin{bmatrix} 0.13 & 0.87 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 39

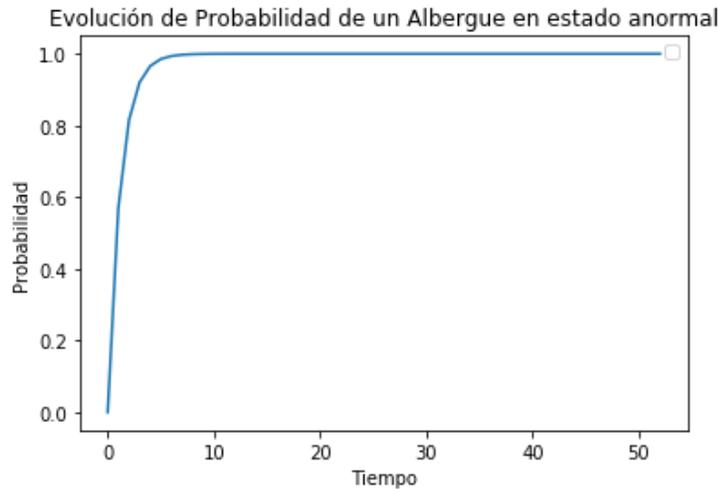
Evolución de un albergue escenario 3, con $p_h = 0.9$



La figura 39 indica que el albergue en estado normal la probabilidad de permanecer en su estado es de 1.

Figura 40

Evolución de un albergue escenario 3, con $p_h = 0.5$



En cuanto al albergue en estado 0 y la probabilidad de pasar a un estado normal es del 0.87, bajo las condiciones planteadas en el modelo de inventario de revisión fija. La figura 40 exterioriza que en la semana 7 aumenta la probabilidad en un 0.90 de pasar a un estado normal y así poder satisfacer las necesidades del albergue.

Para evidenciar el comportamiento en las demás configuraciones con diferentes vecinos ver apéndice C

10.2.4 Simulación de inventario con entrega periódica y transbordo lateral.

10.2.4.1 Simulación de un albergue en estado normal con cuatro vecinos anormales.

$$P_t = 1(0.87 + 0 - 0.9(0.2 - 0 - 4 * 0.1)) + (1 - 1)(0 + 0 - 0(P_6 - V_1P_7 - V_2P_8))$$

$$P_t = 1$$

10.2.4.2 Simulación de un albergue en estado anormal con cuatro vecinos anormales

$$P_t = 0(0.87 + 0 * 1 - 0.9(P_5 - V_1P_7 - V_2P_8)) + (1 - 0)(0.87 + 0.44 - 0.5(1 - 0 - 4 * 0.1))$$

$$P_t = 1$$

$$P_t = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 41

Evolución de un albergue escenario 4, con $p_h = 0.9$

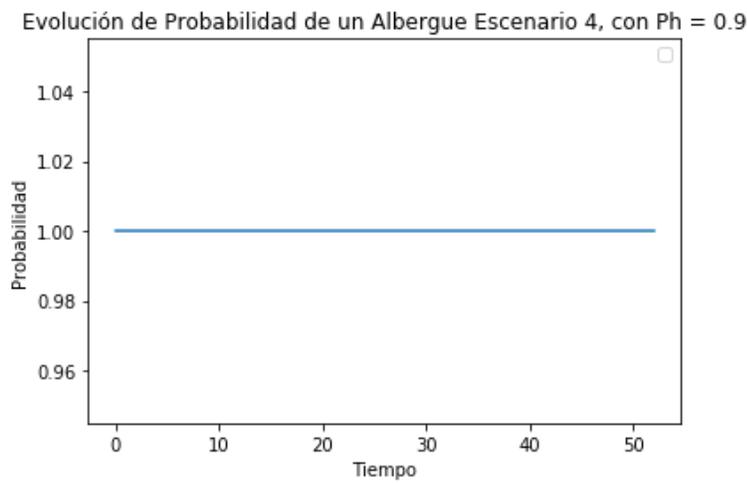
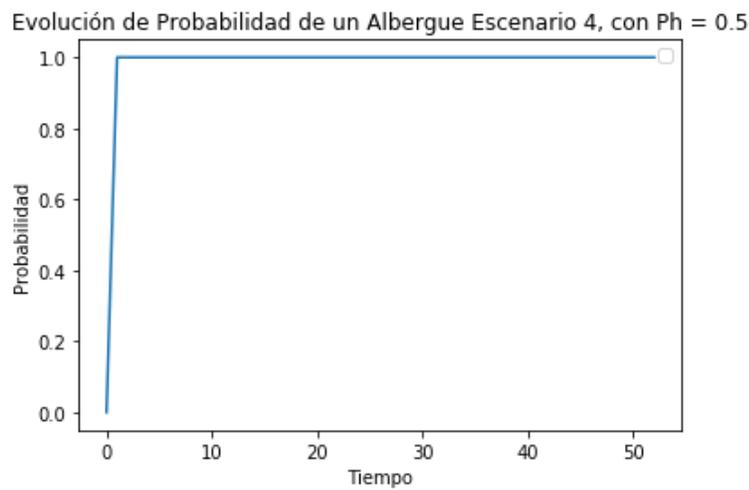


Figura 42

Evolución de un albergue escenario 4, con $p_h = 0.5$



Para el escenario cuatro las probabilidades de permanecer en estado normal y aumentar a un estado normal es 1 esto ocasionado por el impacto positivo del transbordo lateral, factores que afectan las probabilidades de transición para dicho escenario y los parámetros de probabilidades de ayuda. Para este escenario la probabilidad será la misma en diferentes vecinos posibles que tenga en un determinado tiempo ya sean normales o anormales. Figuras 41 y 42

El propósito de la simulación fue comparar los diferentes escenarios en estudio teniendo en cuenta los modelos de gestión de inventarios en caso de desastres el cual se ha llegado a la conclusión que el modelo propuesto por autómatas celulares probabilísticos bajo la política de envío de nuevas ayudas desde el centro de distribución con transbordo lateral mejora el rendimiento del inventario en cada punto de albergues. Al momento del estudio en la ecuación de probabilidad de transición se analizó los efectos de las variables importantes en el desempeño, una variable fue p_5 que representa la capacidad de los albergues normales para permanecer normales después de ayudar y p_h que representa la voluntad de ayudar a albergues vecinos. Esto significa que el transbordo lateral será exitoso si la voluntad de ayudar entre albergues es alta y después de ayudar, un albergue que comparte sus recursos no se mete en problemas.

Ahora bien, seguidamente se realiza un análisis en lo que respecta a las redes sociales en especial la red social twitter con el objetivo de verificar si la información que proporciona esta base de datos en una situación de desastres es de gran importancia a la hora de tomar decisiones en aras de satisfacer las necesidades de los damnificados en cada uno de los albergues.

11. Redes Sociales

Las redes sociales, en el mundo virtual, son sitios y aplicaciones que permiten el intercambio de información a través de la interacción entre personas, grupos y hasta sociedades enteras. Aunque todas sirven para comunicar, cada una fue creada con un objetivo específico, en el plano profesional y personal. Otras incluso tienen un fin recreativo o simplemente intercambio de mensajes. Ofreciendo una gran cantidad de información relacionada al comportamiento, tendencias, opiniones y emociones de las personas durante cualquier evento que afecte a la población. A hoy Twitter registra 166 millones de usuarios diarios este año, Facebook es la red social más usada, con más de 2.400 millones de usuarios, YouTube actualmente, se suben más de 100 horas de video cada minuto y WhatsApp la aplicación de mensajería cuenta con más de 2000 millones de usuarios en todo el mundo. Para efectos del proyecto se escogió la red social Twitter debido a que es una red social muy utilizada en cuanto se refiere a eventos que afectan la población.

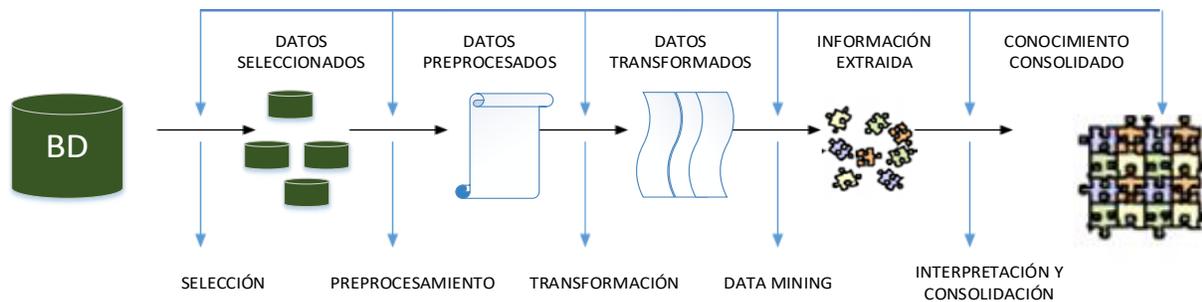
El objetivo de este análisis es realizar lo que se llama “Topic modeling”, es decir, detectar cuáles son los temas o tópicos sobre lo que más se habla a cerca de un desastre natural. Esto permite a los organismos entender de una manera simple qué prioridades tienen los afectados sobre su situación posterior a un desastre. En función de estos tópicos, los organismos de socorro podrán adoptar posibles estrategias de acuerdo al manejo de inventarios de socorro para satisfacer la demanda. Para lograr la detección de tópicos, la idea principal es analizar una gran cantidad de tweets sobre la avalancha en Mocoa Putumayo, que ocurrió durante la noche del día 31 de marzo y la madrugada del 1 de abril de 2017. Utilizando un modelo generativo del aprendizaje automático (machine learning) llamado LDA (Latent Dirichlet Allocation).

Este estudio permite a los entes de control conocer problemas después del desastre, qué servicios, productos u oportunidades pueden ofrecer a los damnificados, qué decisiones tomar respecto a los transbordos laterales y a las incertidumbres que surgen en la demanda y así ejecutar una pronta respuesta ante desastres naturales, es por esto que la herramienta a desarrollar, aporta una buena aproximación para lograr automatizar y resolver el problema de detección de temas de manera muy rápida y simple. La herramienta no sólo automatiza el problema de procesar grandes volúmenes de datos, sino que también provee visualizaciones que permiten analizar de manera sencilla los temas a descubrir.

En el desarrollo de la metodología, en primer paso es la selección de los datos a procesar, seguidamente los datos son sometidos al preprocesamiento, a continuación, se transforman a una representación estructurada facilitando la aplicación del modelo LDA propuesto. Este modelo asume que cada palabra en un documento es generada a partir de un tópico o tema que es tomado de una distribución de tópicos para cada documento. La distribución en sí de tópicos para cada documento, es generada a partir de una distribución de Dirichlet lo que significa que LDA permite que un documento sea parte de varios tópicos cada uno con un peso diferente, por último, se analiza los resultados con el objeto de encontrar patrones que ayuden a la interpretación del analista, como lo muestra la figura 43 que ilustra el proceso que se lleva a cabo para realizar el análisis de datos de la red social de twitter.

Figura 43.

Metodología para el descubrimiento de conocimiento en base de datos.



11.1 Procesamiento de lenguaje Natural

Una vez se obtienen los datos se aplica el preprocesamiento y la limpieza de los mismo siendo estas tareas de suma importancia para que el conjunto de datos se pueda usar de forma eficaz.

Sin datos de calidad, no hay calidad en los resultados de la minería de texto.

La limpieza es la etapa más importante ya que contienen irregularidades que comprometen la calidad de los datos. Los problemas habituales que surgen son: incompletos, Ruidosos e Incoherentes, la eliminación de palabras vacías una vez teniendo una limpieza adecuada asegura la calidad de los datos que se van a procesar, evita la información no veraz y errónea ayudando a tomar decisiones estratégicas correctas.

Seguidamente se procede a transformar los datos a valores numéricos mediante el método de Tf-Idf, por lo cual el algoritmo puede ejercer su trabajo sin ningún inconveniente. Por último, se realiza un análisis detallado y descriptivo de los resultados.

procederá a realizar un análisis de asociación de términos e identificación de temas para identificar las necesidades más urgentes en escenarios de desastres naturales.

Es así como el algoritmo LDA y la función `findAssocs()` proporcionaran una ayuda para dar solución y poder establecer relaciones en temas de interés.

La elección de LDA se debe a que es el algoritmo más utilizado y probado para este tipo de problemas. Como primera aproximación a la creación de una herramienta de detección de tópicos, resultando el más indicado para resolver el problema.

Seguidamente, se proveerá al algoritmo una optimización de parámetros. Esto implica buscar los mejores parámetros a utilizar en un modelo, para el caso, del LDA. Al analizar grandes volúmenes de datos para poder detectar los tópicos a los que hacen referencia dichos datos, surge una pregunta clave: ¿cuántos tópicos se requieren encontrar? El modelo LDA requiere que se le defina de antemano la cantidad de tópicos a buscar por lo cual es importante hacer un análisis de este parámetro, previo a ejecutar el modelo. Por lo tanto, la optimización en el parámetro k “cantidad de tópicos” se basa en un parámetro clave en el modelo en cuestión.

A continuación, la forma utilizada para obtener el número óptimo de tópicos es construir varios modelos LDA con diferente número de tópicos (k) y tomar aquel que devuelva el valor de coherencia (c_v) 5 más grande considerando el contexto. Dicho valor de coherencia es una forma simple de ver qué tan bueno es el modelo. Para la elección del valor k , el c_v no tiene que ser simplemente el más grande y es por eso que también es importante la cantidad de datos que uno está procesando. Si observamos las mismas palabras clave repetidas en muchos de los tópicos, es

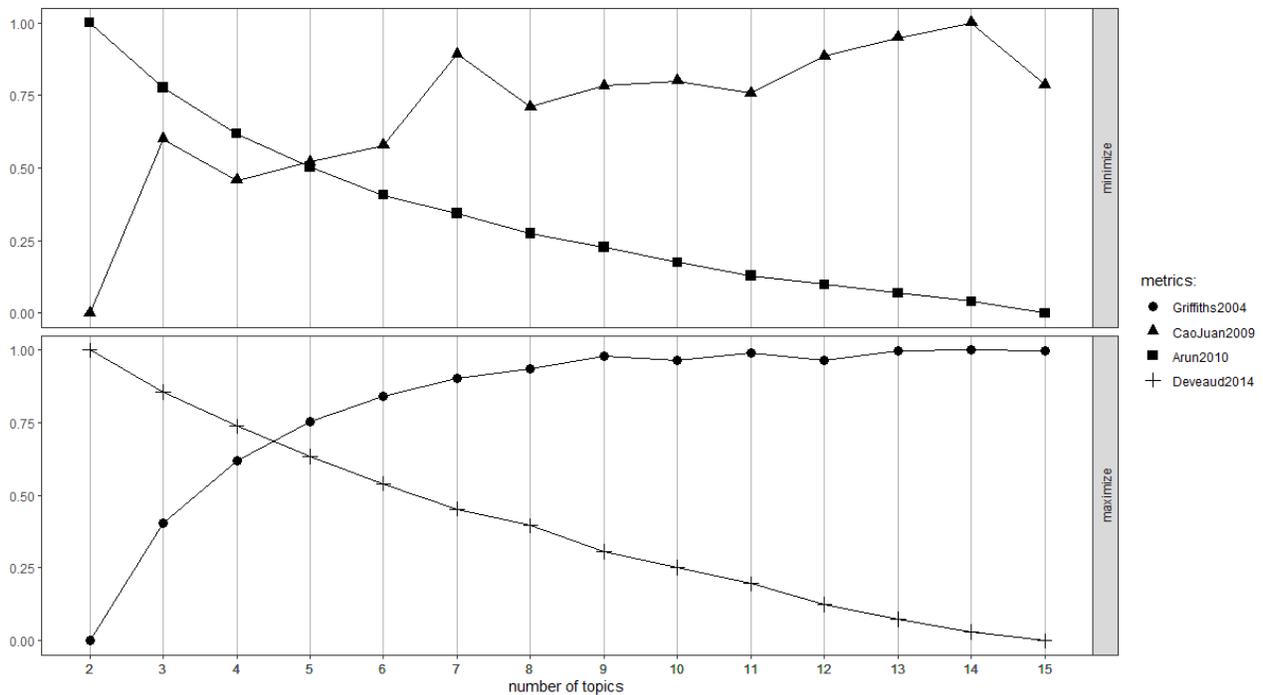
probablemente una señal de que el parámetro k es muy grande.

La forma más sencilla es calcular todas las métricas a la vez. Todos los métodos existentes requieren entrenar múltiples modelos LDA para seleccionar uno con el mejor rendimiento. Es un procedimiento de cálculo intensivo y el paquete `ldatuning` utiliza paralelismo, señalando el número correcto de tópicos.

Un enfoque simple en el análisis de métricas es encontrar el extremo, una descripción más completa se encuentra en los artículos correspondientes:

- minimización:
 - Arun 2010
 - Cao Juan 2009
- maximización:
 - Deveaud 2014
 - Griffiths 2004

En la figura 57 se observa las diferentes métricas para calcular el número de tópicos óptimos que se requieren para el análisis de los datos.

Figura 45*Numero óptimo de tópicos*

A partir de la figura 45 se concluye que las métricas Cao_Juan2009 y Deveaud2014 no son informativas en esta situación, en caso diferente a las otras métricas el numero óptimo que establecen es 13.

Una vez aplicado los diferentes métodos en el proceso planteado, se establece un análisis de los resultados obtenidos:

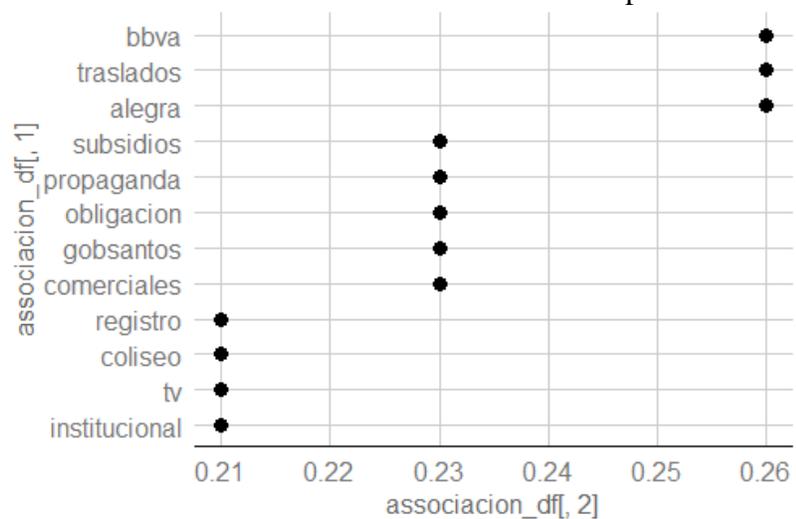
De acuerdo al análisis planteado se determina las palabras más frecuentes de la base de datos y se determina la correlación de términos relevantes con la función findAssocs en el paquete tm proporcionado por R-Studio. Esta función calcula su correlación con cualquier otra palabra. Los puntajes varían de 0 a 1. Un puntaje de 1 significa que dos palabras siempre aparecen juntas en los

documentos, mientras que un puntaje cercano a 0 significa que los términos rara vez aparecen en el mismo documento, como lo muestra el análisis de las siguientes figuras.

En las siguiente figuras se muestra que tan asociadas están las palabras con una palabra dada, para esto se utilizó la función **findAssocs()**, que en este caso asocia las palabras Damnificados, ayudar, apoyando, donaciones, hospital, gestión, voluntarios, prioridad y donaron con el resto de palabras. Solo se mostrarán palabras que tengan una asociación mayor o igual a 0.2.

Figura 46

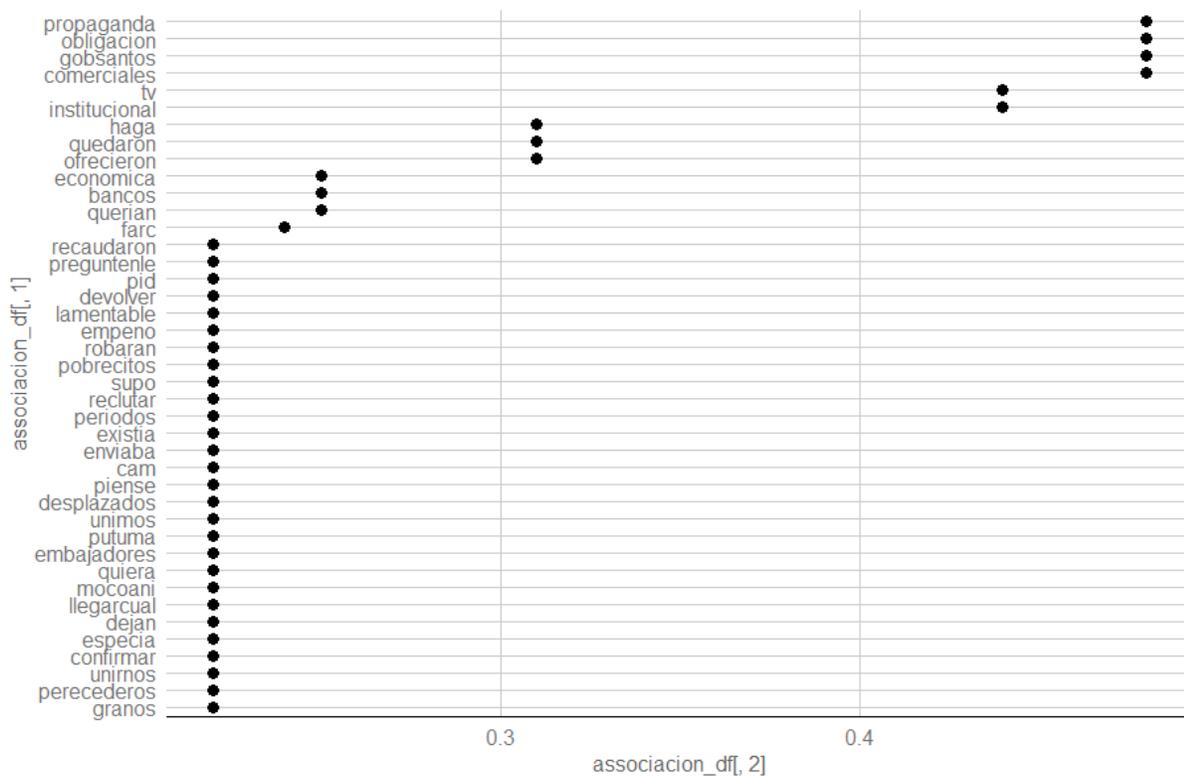
Asociación del término Damnificados con otras palabras



A partir de la figura 46 se puede observar algunas cosas, por ejemplo, que la palabra “damnificados” está asociada con adjetivos de compromiso que tiene el gobierno con las personas afectadas, se encuentran palabras como subsidios, obligación y gobsantos, por otra parte, con una asociación más fuerte se encuentran palabras como bbva, traslados y alegría haciendo énfasis en la ayuda brindada por el banco y el traslado pronto de las personas afectadas para recibir una pronta ayuda.

Figura 47

Asociación del término ayudar con otras palabras

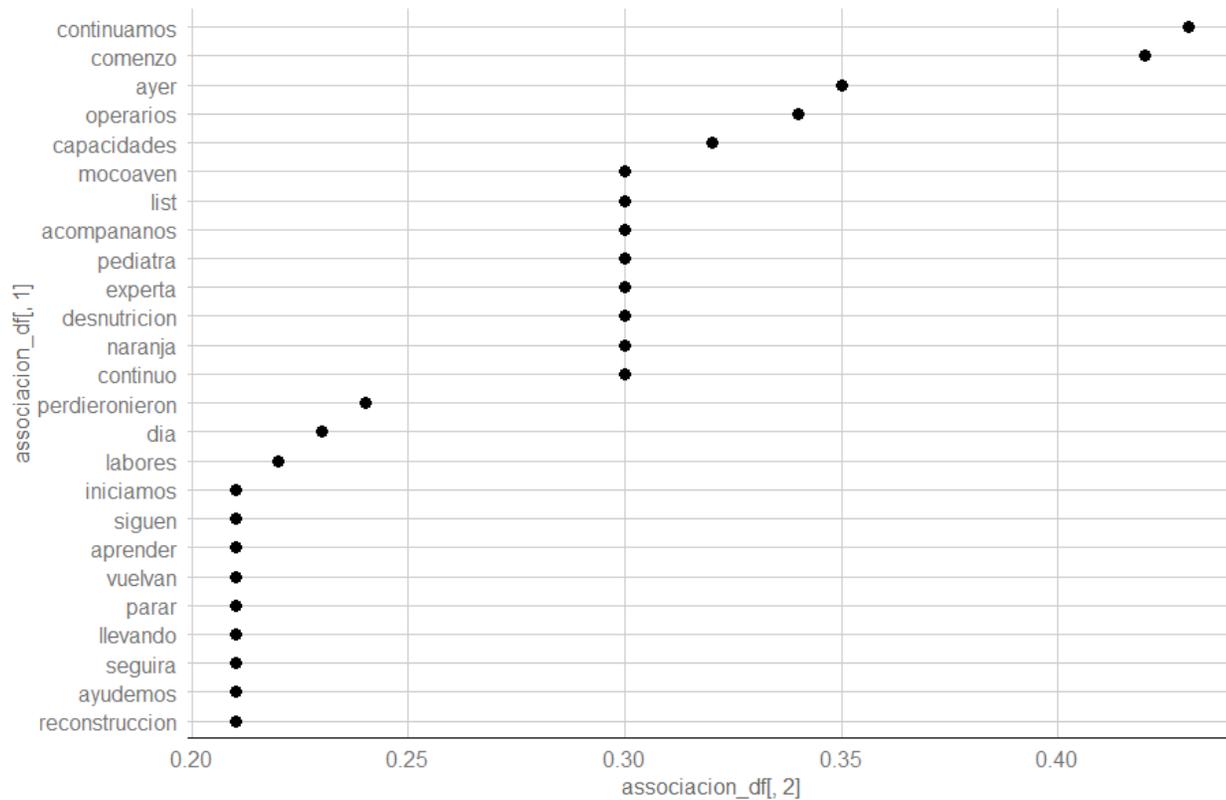


Para la figura 47 el termino ayudar está relacionado con adjetivos que hacen referencia a un tema referente como lo es logística humanitaria, para destacar se encuentran términos asociados como perecederos, granos, unirnos, desplazados, reclutar, embajadores, palabras que pueden tomar gran interés a la hora de analizar las dificultades que se presentan después de un desastre natural.

Con una asociación más fuerte se encuentra términos como propaganda, obligación, gobsantos, comerciales, expresando adjetivos de compromiso del gobierno con la tragedia para satisfacer las necesidades de las personas afectadas.

Figura 48

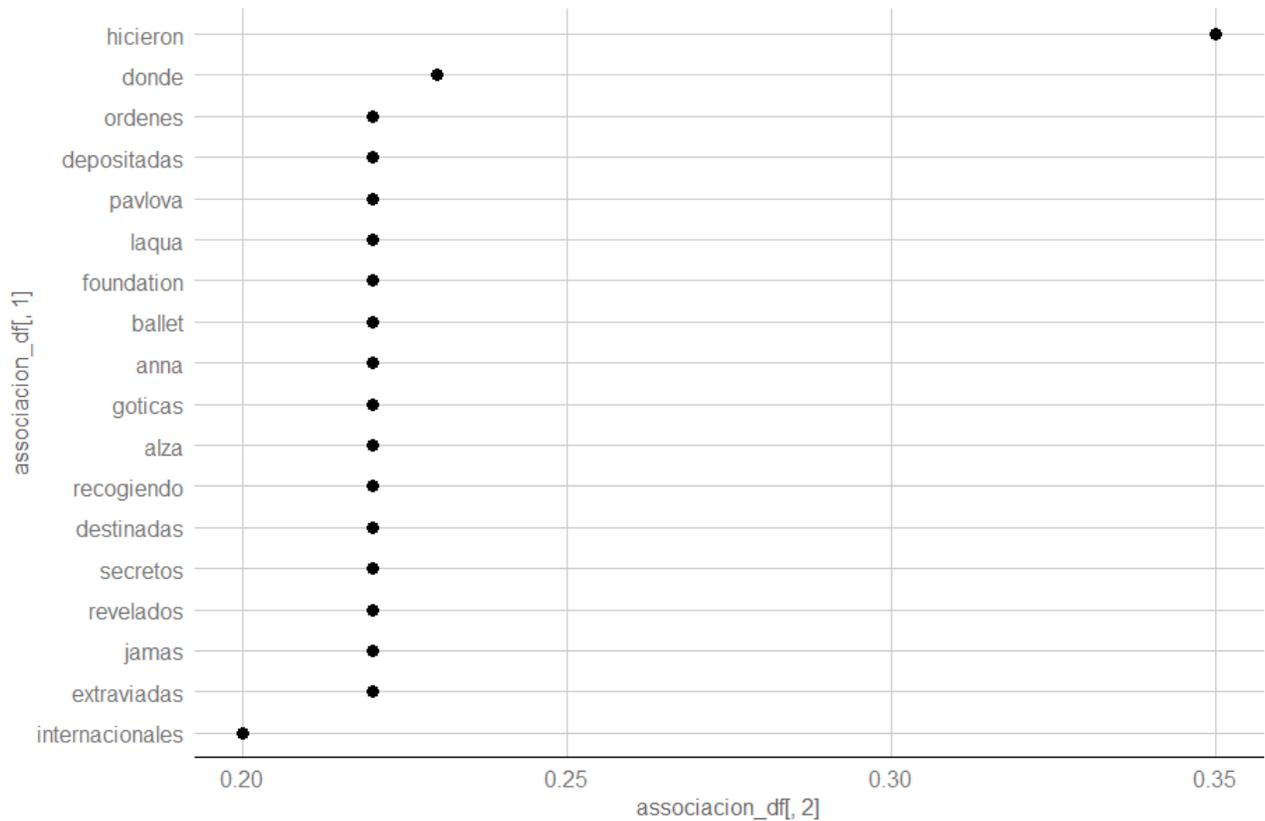
Asociación del término apoyando con otras palabras



En cuanto a la figura 48 hay una asociación con términos que expresan adjetivos de colaboración masiva en ayuda a las víctimas y desplazados a causa de la tragedia palabras como reconstrucción, ayudemos, llevando, operarios, comenzamos entre otros hacen referencia al compromiso de todo un pueblo por seguir luchando ante las adversidades y expresando la necesidad que tienen para evitar un desabastecimiento en la zona.

Figura 49

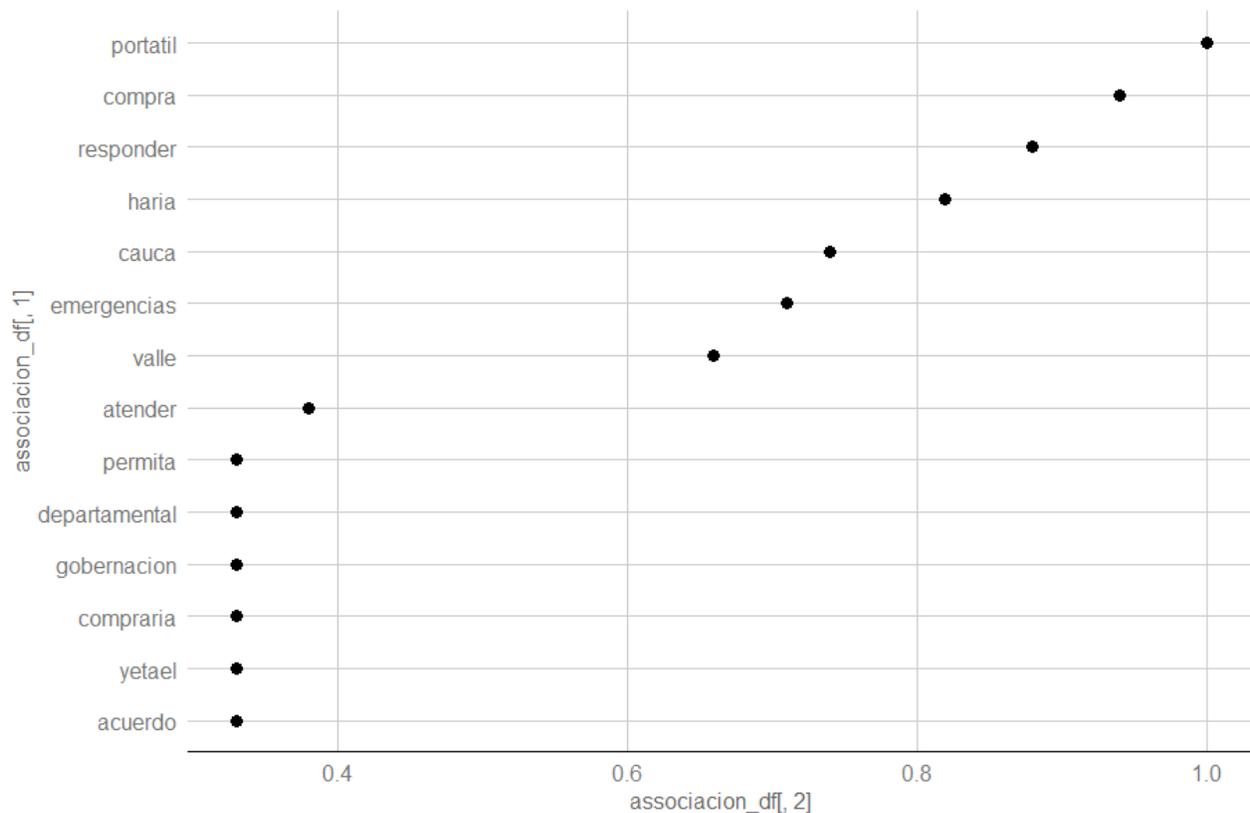
Asociación del término donaciones con otras palabras



En la fase posterior al desastre, **debe ponerse el foco en la recuperación y rehabilitación de las infraestructuras dañadas**. Y se trata del paso más importante del proceso, pues es en este momento cuando debe verse el resultado de la implementación del GRD. Debe darse el cambio desde la ayuda de emergencia a las fases de recuperación de forma fluida, con un plan previamente establecido en la fase previa de priorización de recursos. Por tal motivo En la figura 49 el término donaciones está asociado con términos como destinadas, recogiendo, hicieron y depositadas.

Figura 50

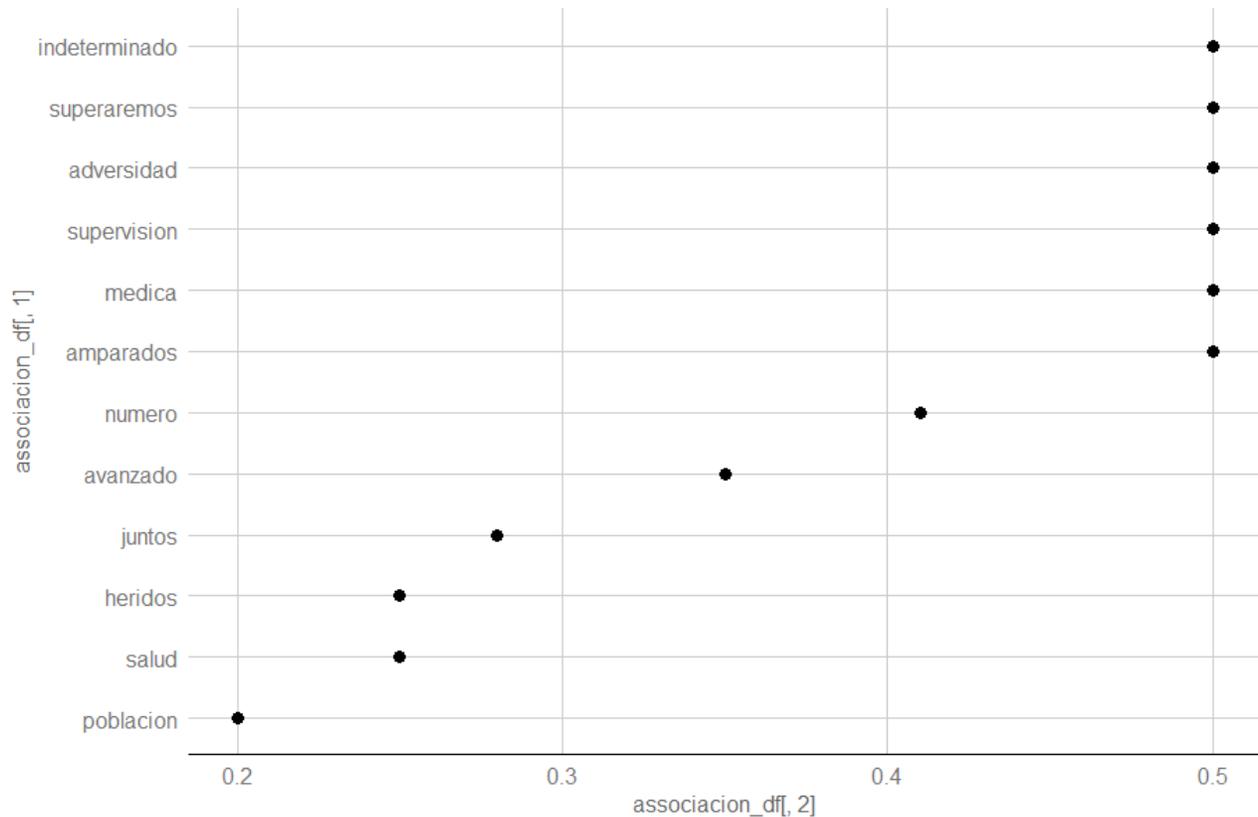
Asociación del término hospital con otras palabras



Para la figura 50 que hace referencia al término hospital la cual es una palabra que pone en práctica medidas de mitigación para reforzar las instalaciones sanitarias existentes, particularmente las que dispensan atención primaria de salud que va mucho más allá de la función de salvar vidas y de salvaguardar la salud pública después de la ocurrencia de un desastre. Las instalaciones de salud también tienen un valor simbólico social y político, y contribuyen al sentido comunitario de seguridad y bienestar. A este término se asocian palabras como emergencias, portátil, responder, atender y gobernación.

Figura 51

Asociación del término prioridad con otras palabras



Por último, la figura 51 con el término prioridad establece una relación en las primeras etapas del desastre, las actividades de evaluación otorgan, a los responsables de tomar las decisiones, la información necesaria para establecer los objetivos y las políticas para la ayuda en momentos de emergencia, con objeto de considerar las prioridades de las personas afectadas y para decidir cómo utilizar mejor los recursos existentes en términos de ayuda y recuperación, es por eso que las palabras asociadas a este término se enfatizan en salud, población, heridos, superaremos, amparados, número e indeterminado.

A continuación, la minería de texto, a menudo se tiene colecciones de documentos, como publicaciones de blogs, artículos de noticias y mucha información en las redes sociales, que sería

de gran aplicabilidad dividir en grupos naturales para poder entenderlos por separado. El topics models es un método para la clasificación no supervisada de dichos documentos, similar al agrupamiento de datos numéricos, que encuentra grupos naturales de elementos incluso cuando no se está seguro de lo que se busca. A partir de esto en la siguiente figura arroja 13 temas de interés que posteriormente se van a analizar.

Figura 52

13 temas de interés a partir de la base de datos

Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 4	Topic 5	Topic 6	Topic 7
"millones"	"emergencias"	"avalancha"	"agua"	"tragedias"	"atencion"	"de"
"pasa"	"pais"	"ayudar"	"gracias"	"riesgo"	"favor"	"donaciones"
"dinero"	"hospital"	"informacion"	"damnificados"	"municipios"	"video"	"paz"
"establece"	"portatil"	"alimentos"	"potable"	"mismo"	"acueducto"	"a"
"balance"	"compra"	"afectados"	"recuperacion"	"caqueta"	"primeras"	"la"
Topic 8	Topic 9	Topic 10	Topic 11	Topic 12	Topic 13	
"tragedia"	"damnificados"	"ayudas"	"gobierno"	"putumayo"	"ahora"	
"via"	"ninos"	"emergencia"	"apoyo"	"ayuda"	"desaparecidos"	
"gracias"	"albergue"	"peor"	"solidaridad"	"dias"	"plata"	
"todas"	"esperanza"	"gente"	"colombiana"	"abril"	"brigada"	
"dios"	"reconstruccion"	"colegio"	"roja"	"despues"	"tragedias"	

De acuerdo, a la figura 52 se evidencian temas de interés para el tomador de decisiones para la respuesta ante desastres naturales. Se observa el tópico 9 que hace referencia a un estado de alerta máxima con los damnificados, niños y atención en los albergues.

El tópico 8 y 3 arroja información sobre la tragedia expresando sentimientos de angustia, y así dando aviso de alerta a las autoridades para una pronta respuesta ante la magnitud del desastre y así llegar a los más necesitados. A si mismo el tópico 2 expresa un tema de emergencia para atender a los heridos. El tópico 4, 6 y 7 dan información importante para satisfacer las necesidades de las personas requiriendo atención inmediata y donaciones oportunas.

De acuerdo a lo anterior, la información arrojada en el análisis de la base de datos obtenida de Las redes sociales el cual se han convertido en una estrategia necesaria en la etapa de posdesastres

para medir y verificar las necesidades de los damnificados en lo que respecta a los inventarios, pues a través de éstas se puede manifestar las primeras necesidades después de un desastre, dependiendo la magnitud de la tragedia.

12. Conclusiones

En el presente trabajo se propuso el diseño de un modelo de decisión orientado a la gestión de inventarios en logística humanitaria en la fase posdesastres ante un posible sismo mediante autómatas celulares probabilísticos para la ciudad de Bucaramanga. El diseño presentado combina modelos de inventario con demanda estocástica y modelos de autómatas celulares probabilísticos, esto con el fin de determinar parámetros críticos en las probabilidades de transición. A partir de estos parámetros se plantearon diferentes escenarios con el fin de brindar un modelo de decisión para la distribución de ayudas humanitarias. También se realizó un procesamiento de lenguaje natural para determinar la importancia de las redes sociales en la toma de decisiones en la etapa de posdesastres ante un sismo en la ciudad de Bucaramanga.

Dentro de los trabajos revisados se encuentra la importancia de parámetros confiables para los modelos de gestión de inventario en logística humanitaria encontrados en el campo de investigación de operaciones y utilizados en la toma de decisiones en logística humanitaria; a pesar que los modelos de autómatas celulares probabilístico en gestión de inventarios para un escenario de desastres no han sido muy utilizados en la literatura el autor Nur Budi Mulyono en sus investigaciones enfoca sus estudios en el manejo de gestión de inventarios en situaciones de desastres, dando un gran aporte al desarrollo de este proyecto de investigación. Es por esto que la principal contribución de este trabajo es el desarrollo del modelo de autómatas celulares

probabilísticos en un contexto de un posible sismo en la ciudad de Bucaramanga para la gestión de inventarios en los albergues, permitiendo un ambiente claro para el tomador de decisiones.

Los modelos estocásticos son una valiosa alternativa en la planeación y control de la cadena de abastecimiento de ayudas humanitarias, permitiendo un manejo adecuado de la complejidad presente en la interrelación entre variables y parámetros de probabilidad que componen el sistema de autómatas celulares probabilísticos, lo cual consolida a la investigación multidisciplinaria como una alternativa que permite grandes aportes de la investigación de operaciones a un sector administrado tradicionalmente por profesionales de gestión de desastres. Los tomadores de decisiones en la red de abastecimiento de ayuda humanitaria siempre deberán balancear el esfuerzo en el desarrollo de los modelos para toma de decisiones frente a los resultados esperados.

El modelo de autómatas celular probabilístico permitió la comparación de diferentes variables en el contexto de transbordo lateral y así encontrar probabilidades adecuadas para el modelo en estudio y comprender los efectos de las variables en el rendimiento de albergues normales. Una de las variables en estudio fue p_5 que representa la capacidad de los albergues normales de permanecer normales después de ayudar y la variable p_h que es la probabilidad de ayudar a los albergues vecinos, llegando a la conclusión que cuanto menor sea la probabilidad de un albergue reducirse a un estado anormal después de ayudar, junto con una alta probabilidad de ayudar, la probabilidad del albergue de mantenerse en su estado normal es alto.

Para la validación del modelo se observó cada uno de los escenarios planteados donde se pudo evidenciar que los autómatas celulares probabilísticos tienen una adaptabilidad a los modelos de gestión de inventarios en situación de ayuda humanitaria, teniendo en cuenta el transbordo lateral

y la entrega de ayudas desde el centro de distribución para la caracterización de las interacciones entre albergues proporcionado buenos resultados en aras de evitar un posible desabastecimiento en cada uno de los albergues.

Finalmente, Con respecto al análisis de procesamiento de lenguaje natural, a pesar que la gente al momento de emitir los tweets expresan emociones atípicas que no entran en el contexto, escriben con mala ortografía y palabras cortadas; este análisis lleva a que las redes sociales manejándolas debidamente pueden desempeñar un papel de monitoreo en lo que respecta a los requerimientos de las personas afectadas, evaluación del impacto, evaluación de las actividades de recuperación, rehabilitación y en la capacidad de afrontamiento de la comunidad ante un desastre natural.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar Karin H. (2015). Un modelo multiobjetivo de localización Ruteo para la planeación logística en la fase de preparación de sismos en Bucarmanga.
- Alem, D., Clark, A., & Moreno, A. (2016). Stochastic network models for logistics planning in disaster relief. *European Journal of Operational Research*, 255(1), 187-206.
- Axsäter, S. (1990). Modelling emergency lateral transshipments in inventory systems. *Management science*, 36(11), 1329-1338.
- Baskaya, S., Ertem, M. A., & Duran, S. (2017). Pre-positioning of relief items in humanitarian logistics considering lateral transshipment opportunities. *Socio-Economic Planning Sciences*, 57, 50-60.
- Beamon, B. M., & Kotleba, S. A. (2006). Inventory modelling for complex emergencies in humanitarian relief operations. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 9(1), 1-18.
- Bechtel, G. A., Hansberry, A. H., & Gray-Brown, D. (2000). Disaster planning and resource allocation in health services. *Hospital materiel management quarterly*, 22(2), 9-17
- Besiou, M., Stapleton, O., y Van Wassenhove, LN (2011). Dinámica del sistema para operaciones humanitarias. *Revista de logística humanitaria y gestión de la cadena de suministro*, 1 (1), 78-

103.

Cao Juan, Xia Tian, Li Jintao, Zhang Yongdong y Tang Sheng. 2009. Un método basado en la densidad para la selección del modelo lda adaptativo. *Neurocomputación - 16º Simposio Europeo sobre Redes Neuronales Artificiales* 2008 72, 7-9: 1775-1781. <http://doi.org/10.1016/j.neucom.2008.06.011>

Cavdur, F., Kose-Kucuk, M., & Sebatli, A. (2016). Allocation of temporary disaster response facilities under demand uncertainty: An earthquake case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19, 159-166.

Das, R., & Hanaoka, S. (2014). Relief inventory modelling with stochastic lead-time and demand. *European Journal of Operational Research*, 235(3), 616-623.

Diario el comercio (2018). *Los terremotos más devastadores que azotaron el mundo en el 2018*. <https://elcomercio.pe/mundo/actualidad/resumen-2018-terremotos-devastadores-azotaron-mundo-fotos-ano-2018-noticia-nndc-592029>

Deveaud, R., SanJuan, E., & Bellot, P. (2014). Accurate and effective latent concept modeling for ad hoc information retrieval. *Document numérique*, 17(1), 61-84.

EM-DAT. EM-DAT— The International Disaster Database. URL <http://www.emdat.be/> Retrieved: 19/05/2016.

- Fiedrich, F., Gehbauer, F., y Rickers, U. (2000). Asignación optimizada de recursos para respuesta de emergencia después de desastres sísmicos. *Ciencia de la seguridad*, 35 (1-3), 41-57.
- Gallego, R. C., & Viñas, J. B. (2011). Logística y Tecnología en la Acción Humanitaria. *Tecnologías para el desarrollo humano de las comunidades rurales aisladas. Espanha: Real Academia de Ingeniería*, 427-447
- González L. D & Chaves F. J. “Estudio de las cadenas pseudo aleatorias generadas por los autómatas celulares unidimensionales de dos estados, implementación y aplicaciones a criptografía”, *trabajo de grado Universidad Industrial de Santander* (2006): 41
- Guha-Sapir, (2019). *2018 REVIEW OF DISASTER EVENTS*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED.
- Gutiérrez, V., & Vidal, C. J. (2008). Modelos de gestión de inventarios en cadenas de abastecimiento: revisión de la literatura. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (43), 134-149.
- Griffiths, T. L., & Steyvers, M. (2004). Finding scientific topics. *Proceedings of the National academy of Sciences*, 101(suppl 1), 5228-5235.
- Hirata, T., Posadas, A. M., Ogawa, A., & Harada, Y. (2002). A Probabilistic Cellular Automaton Model for Developing Spatio-Temporal Patterns. *FORMA-TOKYO-*, 17(1), 19-29.

- Joseph, J. K., Dev, K. A., Pradeepkumar, A. P., & Mohan, M. (2018). Big Data Analytics and Social Media in Disaster Management. In *Integrating Disaster Science and Management* (pp. 287-294).
- Martinez D. (2017) Diseño de un sistema de apoyo a la toma de decisiones - DSS para la gestión de las etapas pre-desastre de sismos en Bucaramanga, basado en técnicas de aprendizaje automático (machine learning)
- Meissner, J., & Senicheva, O. V. (2018). Approximate dynamic programming for lateral transshipment problems in multi-location inventory systems. *European Journal of Operational Research*, 265(1), 49-64.
- Minie, S. M., Gendreau, M., Potvin, J. Y., Berger, J., Boukhtouta, A., & Thomson, D. (2017, December). Military three-echelon disaster relief supply chain management. In *Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM), 2017 4th International Conference on* (pp. 1-8). IEEE.
- Mulyono, N. B., & Ishida, Y. (2014). Humanitarian logistics and inventory model based on probabilistic cellular automata. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 10(1), 357-372.
- Mulyono, N. B. (2011, November). Balancing supply system after disaster. In *Proceedings of the International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems* (pp. 279-284). ACM.
- Mulyono, N. B., & Ishida, Y. (2014). Clustering inventory locations to improve the performance of

- disaster relief operations. *Procedia Computer Science*, 35, 1388-1397.
- Newman, M. E. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 103(23), 8577-8582.
- Ozbay, K., & Ozguven, E. E. (2007). Stochastic humanitarian inventory control model for disaster planning. *Transportation Research Record*, 2022(1), 63-75.
- Paterson, C., Kiesmüller, G., Teunter, R., & Glazebrook, K. (2011). Inventory models with lateral transshipments: A review. *European Journal of Operational Research*, 210(2), 125-136.
- Quezada, D. O. M., Sierra, R. O., Cano, J. G. M., & Díaz, H. L. (2020). Identificación de actores en un desastre a través de Twitter: Caso de estudio SINABUNG 2018. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(1).
- S.H.W. Stanger, R. Wilding, E. Hartmann, S. Yates N,Cotton Lateral transshipments: an institutional theory perspective *Int J Phys Distrib Logist Manag*, 43 (9) (2013), pp. 747-767
- Gutiérrez, V., & Vidal, C. J. (2008). Modelos de gestión de inventarios en cadenas de abastecimiento: revisión de la literatura. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (43), 134-149.
- Vargas-Forero, V., Muñoz-Ceballos, L., & García-Baños, Á. (2020). Implementación de autómatas celulares usando desarrollo dirigido por comportamiento. *Informador Técnico*, 84(1), 48-66.

Wallemacq, P. (2018). *Economic Losses, Poverty & Disasters: 1998-2017*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED.

Wolfram (1986), *Theory and Application of Cellular Automata*, World Scientific, Singapur

Whybark, D. C. (2007). Issues in managing disaster relief inventories. *International journal of production economics*, 108(1-2), 228-235.