
TPI - OPTIMIZACIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN DE RECURSOS ANTES UNA CATÁSTROFE: CASO HAITÍ 2010

Ornella Colazo
Universidad Tecnológica Nacional
Ingeniería en Sistemas
Legajo 47864
ornecolazo@gmail.com

Diego Navarro
Universidad Tecnológica Nacional
Ingeniería en Sistemas
Legajo 48029
navarrodiego201513@gmail.com

Matias Petrich
Universidad Tecnológica Nacional
Ingeniería en Sistemas
Legajo 46852
matias.petrich@gmail.com

Ramiro Cordoba
Universidad Tecnológica Nacional
Ingeniería en Sistemas
Legajo 46824
ramirocordobautn@gmail.com

Matias Ferullo
Universidad Tecnológica Nacional
Ingeniería en Sistemas
Legajo 48039
matias.ferullo1@gmail.com

Agosto, 2023

ABSTRACT

En respuesta a eventos catastróficos como huracanes, terremotos o inundaciones, se requiere una pronta acción por parte de los equipos de emergencia para agilizar la distribución de suministros de ayuda, con el propósito de salvaguardar la salud y las vidas de las víctimas. El enfoque de este trabajo se centra en el desarrollo de un marco de simulación y optimización, cuyo objetivo primordial es gestionar de manera eficaz la logística asociada a la entrega de suministros de ayuda frente a una catástrofe natural.

1 Introducción.

En respuesta a eventos catastróficos como huracanes, terremotos o inundaciones, se requiere una pronta acción por parte de los equipos de emergencia para agilizar la distribución de suministros de ayuda, con el propósito de salvaguardar la salud y las vidas de las víctimas. El enfoque de este trabajo se centra en el desarrollo de un marco de simulación y optimización, cuyo objetivo primordial es gestionar de manera eficaz la logística asociada a la entrega de suministros de ayuda. Basándonos en el trabajo "Agile Logistics Simulation and Optimization for Managing Disaster Responses" (1), armaremos nuestro propio modelo sobre un caso distinto para hallar nuestro modelo óptimo.

Este modelo de simulación abarca una variedad de aspectos, desde la optimización del abastecimiento de suministros de ayuda hasta las operaciones de distribución realizadas en centros de preparación operados tanto por el gobierno federal como estatal. Además, este modelo considera la incertidumbre en la demanda de dichos suministros, así como la dinámica evolución de las operaciones de respuesta ante desastres y su influencia en la cadena logística. Implementaremos técnicas para lograr una distribución eficiente de los suministros de ayuda entre los centros de preparación y los puntos de distribución. Este marco de simulación se adapta con flexibilidad a una amplia gama de escenarios de desastres y factores de estrés, lo que permite una evaluación exhaustiva de la efectividad de los planes y políticas de respuesta.

Para plantear un modelo a simular, elegimos como ejemplo los datos que se recogieron del Terremoto del 2010 en Haití. Este país, que es parte de las Islas del Caribe de Centroamérica, se encuentra sobre la falla de Enriquillo (2), la cual fue la causa del Terremoto de 7 grados en la escala de Richter y dejó a la capital del país, Puerto Príncipe, destruída bajo los escombros. Haití es conocido por ser uno de los países del continente Americano más pobres en el sector económico.

Esto determina que la infraestructura de este país se vio fuertemente colapsada, más allá del movimiento sísmico, por la falta de infraestructura y logística de preparación para un evento como el sucedido, debido a la escasez económica.

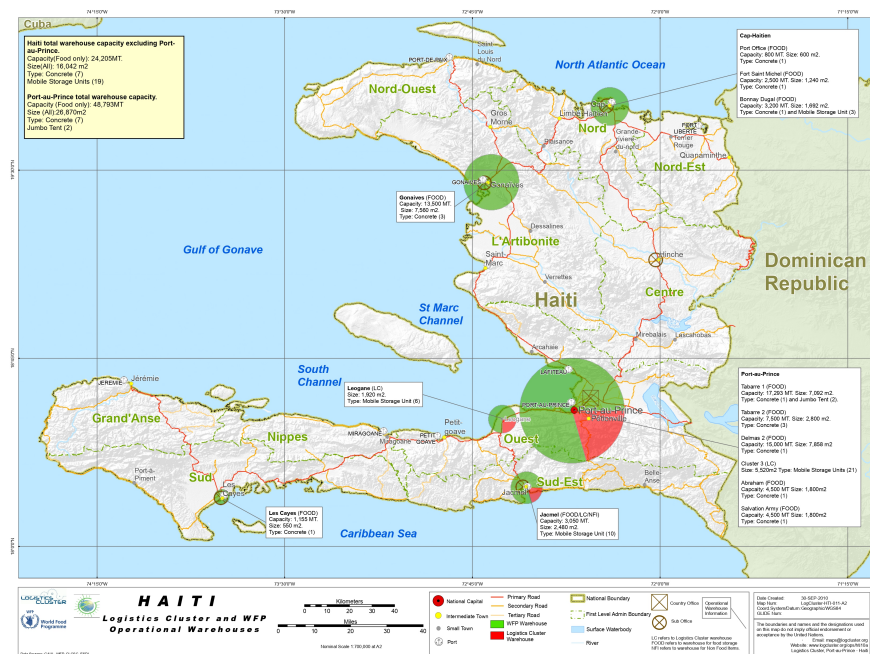
Las consecuencias del terremoto, además de los grandes números de muertes y heridos, se observa en la inseguridad alimenticia y condiciones de salud deplorables en las que quedó este país. Muchas organizaciones se encargaron y, actualmente se encargan, de la situación de inseguridad alimentaria del país, algunos ejemplos son Food For the Poor, la Cruz Roja, y otras agencias de Naciones Unidas como The World Food Programme (WFP). El enfoque de esta investigación estará principalmente guiado por los datos obtenidos del WFP.

El WFP (o Programa Mundial de Alimentos, en español) es un programa de la Organización de las Naciones Unidas que distribuye alimentos y trabaja en más de 120 países y territorios, brinda asistencia vital en emergencias y apoya medios de vida sostenibles y resilientes para lograr un mundo con hambre cero (3). Basándonos en los datos proporcionados por la organización sobre la situación de Emergencia del país y otros reportes realizados en el 2010, creamos un modelo de distribución de recursos de Alimentos y otros entre los puntos estratégicos en los que existen puertos que reciben la ayuda externa y "Warehouses" donde los recursos esperan a ser repartidos. Probaremos modelos alternativos para hallar la distribución ideal para que, en menos tiempo, se reparta la mayor cantidad de recursos en todas las regiones del país. En primera instancia, estudiamos el modelo de la investigación del 2013 presentada en "Winter Simulation Conference" (1) que plantea los siguientes supuestos: la distribución de productos en una catástrofe no está dirigida por la optimización de los costos sino que su objetivo es completar la demanda humanitaria; y, a diferencia de las cadenas de suministros comerciales, la respuesta de las cadenas de suministros en catástrofes debe ser rápida y puede no tener la información necesaria completa. Estas ideas se mantendrán constantes en nuestro trabajo ya que son una certeza para este tipo de problemas. Además, el transporte será únicamente de carga de Comida, pudiéndose aplicar a otros recursos en caso de requerir simularlos.

A partir de los primeros acercamientos y entendimiento de los supuestos a aplicar en la Simulación, nos planteamos el objetivo que guiará nuestros esfuerzos en la investigación: ¿Es posible mejorar la capacidad de reacción en situaciones de desastre para proporcionar una asistencia más eficaz a quienes la requieran?

2 Modelo de distribución planteado por el Programa Mundial de Alimentos (WFP)

Para comenzar a plantear el modelo, recolectamos la siguiente información encontrada en Infografías publicadas por el WFP. Con los datos de las capacidades y ubicaciones de los Warehouses que el WFP tiene disponible para almacenar alimentos y serán variables en el modelo.



En esta primera Infografía, tenemos la información específica de capacidad de cada Warehouse. En modo de resumen, podemos decir que la capacidad total de almacenamiento en almacenes en Haití, excluyendo Puerto Príncipe, es de 24,205 toneladas métricas para alimentos únicamente, con un espacio total de 16,042 metros cuadrados. En el caso de Puerto Príncipe, la capacidad total de almacenamiento es de 48,793 toneladas métricas para alimentos únicamente, con un espacio total de 26,870 metros cuadrados.

Según un informe de la WFP (4), se estima que aproximadamente el 20% de la población haitiana, alrededor de 2 millones de personas, se vio afectada de alguna manera por el terremoto. Esta catástrofe natural causó una gran cantidad de daños materiales y dejó a muchas personas sin hogar, además de provocar una importante crisis humanitaria en la región. Debido a esto, concebimos en nuestro proyecto tener en cuenta el 20% de la población de cada departamento de Haití para realizar el cálculo de las personas a las cuales se le debe brindar ayuda.

El Programa Mundial de Alimentos dispone de una flota compuesta por 25 vehículos terrestres, 2 aeronaves tipo helicóptero y 1 avión de ala fija, además de contar con la posibilidad de utilizar el transporte marítimo para respaldar sus operaciones. Además, colabora estrechamente con otras agencias de las Naciones Unidas, organizaciones no gubernamentales y entidades gubernamentales (5).

3 Modelo de distribución de Recursos frente a una catástrofe en Anylogic

Para realizar la Simulación, planteamos un Modelo en Anylogic basado en agentes.

Descripción. Dividimos a Haití en distintas regiones dependiendo los departamentos con los que cuenta el país, a cada departamento le asignamos un punto de distribución que se encargará de los recursos de la zona en la que se encuentre.

Definimos que cada región, al inicio de la Simulación, arranca con una cantidad aleatoria de recursos y por lo tanto estarán pintadas de rojo, a medida que van recibiendo recursos, el color va cambiando hacia un verde para representar la completitud de la capacidad de los recursos.

El distribuidor principal se encuentra en la capital del país, en Puerto Príncipe, es el punto de distribución encargado de recibir la ayuda extranjera, representada en un barco proveniente de Miami (ya que los datos que encontramos es que EEUU ayudó a Haití en el terremoto de 2010 con cargamentos enviados desde Miami) que descarga productos en el puerto de la capital de Haití para luego distribuir a todos los demás puntos de distribución de todo el país, esta distribución se hace a través de camiones. El barco de ayuda internacional realiza tres envíos cada semana

Cada punto de distribución habilitado se encarga de corroborar los centro de ayuda de las regiones que lo necesitan, y en base a un estado de criticidad y a la distancia entre el distribuidor y el centro de ayuda envía ayuda al mismo.

Se tomó como población total de la simulación el 20% de la población de Haití que fue la misma proporción de población que fue afectada en el terremoto de 2010, distribuida por el país en base a la población de cada región.

Variables aleatorias

1. **Consumo:** es calculado en base al consumo promedio de una persona adulta, definida en una distribución normal, y una desviación del 10%.
2. **Clima:** fue planteado para variar entre "sin lluvia", "lluvias intermitentes", "lluvia continua". Para los casos con lluvia intermitente, ésta tiene una probabilidad de 35%, y reduce la velocidad de los camiones de distribución y del barco que envía ayuda internacional.
3. **Puntos de distribución:** en algunas regiones, los puntos de distribución fueron destruidos en el desastre y los mismos no pueden ser utilizados.

3.1 Algoritmos de distribución

El algoritmo usado en el modelo es heurístico, cada centro de distribución mide la criticidad de cada region en el país, y envía recursos a aquellas que crean estar en el peor estado basado en la cantidad de recursos que tienen y la distancia a la que estan del centro de distribución.

$$criticality = \frac{center.criticalState()}{distributor.distanceTo(center)} \quad (1)$$

Una vez un centor de distribucion defina que enviara recursos a una region, notificara a sus camiones disponibles, de los cuales uno tomara la tarea de enviar tomar la cantidad indicada de recursos del distribuidor y llevarlos hasta a la region deseada.

4 Alternativas en la Distribución de los Recursos

En las primeras iteraciones de este trabajo, fuimos perfeccionando el funcionamiento del modelo. Una vez estabilizado el modelo, es decir, sin fallas, realizamos varias corridas para revisar cómo eran las salidas que se obtenían. Validamos que el modelo resultaba válido para los valores que elegidos para realizar las pruebas ya que los recursos se repartían equitativamente. Sin embargo el modelo lo describíamos como "estático" ya que las salidas eran muy similares entre las distintas corridas. Debido a esto, comenzamos a tener en cuenta qué aspectos del modelo debíamos contextualizar profundamente.

Por lo tanto, para realizar un análisis más cercano a la realidad, decidimos hacer uso de las variables aleatorias nombradas anteriormente. La variabilidad en el modelo nos permitirá obtener mejores conclusiones para mejorar la distribución de los recursos.

4.1 Descripción de los Escenarios planteados

Basándonos en las variables, definimos los siguientes escenarios:

1. Sin lluvias y con todos los puntos de distribución disponibles.
2. Sin lluvias y con algunos de los puntos de distribución no disponibles
3. Con lluvias intermitentes y con todos los puntos de distribución disponibles
4. Con lluvias constantes y con todos los puntos de distribución disponibles
5. Con lluvias intermitentes y con algunos de los puntos de distribución no disponibles
6. Con lluvias constantes y con algunos de los puntos de distribución no disponibles

4.2 Resultados de los escenarios

El objetivo principal del análisis de resultados es identificar patrones, tendencias, relaciones o insights que ayuden a comprender mejor un fenómeno o problema en particular. Esto implica la aplicación de técnicas estadísticas, matemáticas y herramientas de análisis de datos para interpretar la información de manera coherente y objetiva. Una medida calculada en el análisis es el intervalo de confianza:

$$\bar{X}(n) \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{S^2(n)}{n}} \quad (2)$$

Definimos tres medidas para poder evaluar cada uno de los escenarios.

Medidas de rendimiento:

- Cantidad de días que la población se encuentra sin recursos:
 - Cada vez que una region requiere mas recursos de los que tiene, se suma a este contador 1.
- Cantidad total de horas viajadas por los camiones de reparto:
 - Se utiliza un cronometro para medir la salida y llegada de cada camion, la diferencia entre cada una es la cantidad de tiempo un camion se demora en realizar un envio.
- Total de recursos consumidos:
 - Cada vez que una region consume una cantidad de recursos, se suma la cantidad.

En cada uno de los escenarios, calculamos cada medida nombrada.

Escenario 1. Sin lluvias y con todos los puntos de distribución disponibles.

Intervalos de Confianza

- Cantidad de días que la población se encuentra sin recursos: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 22,13 y 32,63
- Cantidad total de horas viajadas por los camiones de reparto: 4.946,94 y 5.172
- Total de recursos consumidos: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 2.865.328,56 y 3.186.494,56

Escenario 2. Sin lluvias y con algunos de los puntos de distribución no disponibles

Intervalos de Confianza

- Cantidad de días que la población se encuentra sin recursos: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 46,09 y 57,65
- Cantidad total de horas viajadas por los camiones de reparto: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 4.585,15 y 4.766,16
- Total de recursos consumidos: 2.110.818,99 y 2.424.889,11

Escenario 3. Con lluvias intermitentes y con todos los puntos de distribución disponibles

Intervalos de Confianza

- Cantidad de días que la población se encuentra sin recursos: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 23,93 y 33,55
- Cantidad total de horas viajadas por los camiones de reparto: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 6.156,76 y 6.513
- Total de recursos consumidos: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 2.966.804,27 y 3.3225.615,43

Escenario 4. Con lluvias constantes y con todos los puntos de distribución disponibles

Intervalos de Confianza

- Cantidad de días que la población se encuentra sin recursos: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 43,64 y 55,60
- Cantidad total de horas viajadas por los camiones de reparto: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 8.638,63 y 9.024,29
- Total de recursos consumidos: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 2.469.948,97 y 2.826.043

Escenario 5. Con lluvias intermitentes y con algunos de los puntos de distribución no disponibles

Intervalos de Confianza

- Cantidad de días que la población se encuentra sin recursos: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 57,75 y 68,51
- Cantidad total de horas viajadas por los camiones de reparto: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 5.624,20 y 5.823,70
- Total de recursos consumidos: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 2.222.048,40 y 2.560.400,42

Escenario 6. Con lluvias constatnes y con algunos de los puntos de distribución no disponibles

Intervalos de Confianza

- Cantidad de días que la población se encuentra sin recursos: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 66,30 y 78,96
- Cantidad total de horas viajadas por los camiones de reparto: con un 95% de confianza, estamos seguros que la media varía entre 7.975,77 y 8.303,19
- Total de recursos consumidos: 2.384.307,53 y 2.729.738,89

4.3 Análisis y Comparación de los Resultados

Basándonos en los intervalos de confianza proporcionados, vamos a realizar comparaciones entre los diferentes escenarios, considerando las medidas de interés que se obtuvieron a través de la simulación.

Comparación entre escenarios 1 y 2 Los intervalos de confianza no se superponen entre los escenarios. Esto determina que hay una diferencia significativa en las medidas entre el Escenario 1 y Escenario 2.

Comparación entre escenarios 3 y 5 Los intervalos de confianza no se superponen. Esto sugiere una diferencia significativa en las medidas calculadas de cada escenario. En el Escenario 5 (lluvias intermitentes y algunos puntos no disponibles), se observa un aumento considerable en las tres medidas en comparación con el Escenario 3.

Comparación entre escenarios 4 y 6 Los intervalos de confianza no se superponen. Esto sugiere una diferencia significativa en las medidas calculadas de cada escenario. En el Escenario 6 (lluvias constantes, algunos puntos no disponibles), se observa un aumento considerable en las tres medidas en comparación con el Escenario 4.

5 Conclusiones

El modelo de simulación en situaciones de desastre es fundamental para evaluar y mejorar la logística de distribución de recursos. La capacidad de simular diferentes escenarios y variabilidades como la demanda, la incertidumbre del clima y la disponibilidad de puntos de distribución permite una mejor comprensión de las complejidades logísticas y facilita la toma de decisiones. Además, la variabilidad en el modelo mejora su realismo y adaptable a diversas situaciones, mejorando la capacidad de respuesta del modelo.

Otro punto importante fue la comparación de escenarios, la cual reveló diferencias significativas en la cantidad de días sin recursos, en las horas de viaje de los camiones y en el total de recursos consumidos. Este análisis resalta la importancia de factores como la presencia de lluvias, la disponibilidad de puntos de distribución y su impacto en la eficiencia de la distribución. Como se esperaba, el escenario 1, donde no llueve y todos los centros de distribución son funcionales, fue el que devolvió los mejores resultados devolvió, mientras que el 6, donde hay lluvias constantes y algunos centros no funcionales, devolvió los peores resultados de todos.

La búsqueda de un modelo óptimo debe considerar la rapidez y eficacia en la entrega de recursos en todas las regiones afectadas. La capacidad de reacción y la distribución eficiente de los recursos son vitales para proporcionar asistencia de manera oportuna y efectiva.

References

- [1] F. Barahona, M. Ettl, M. Petrik, y P. M. Rishnick, “Agile logistics simulation and optimization for managing disaster responses,” in *2013 Winter Simulations Conference (WSC)*, pp. 3340–3351, IEEE, 2013.
- [2] “Falla de Enriquillo-Plantain Garden - Wikipedia, la enciclopedia libre — es.wikipedia.org.” https://es.wikipedia.org/wiki/Falla_de_Enriquillo-Plantain_Garden. [Accessed 29-08-2023].
- [3] “Donde trabajamos | World Food Programme — es.wfp.org.” <https://es.wfp.org/donde-trabajamos>. [Accessed 29-08-2023].
- [4] “WFP EMERGENCY OPERATION 200110 - HAITI, FOOD ASSISTANCE TO EARTHQUAKE AFFECTED POPULATIONS IN HAITI - Haiti — reliefweb.int.” <https://reliefweb.int/report/haiti/wfp-emergency-operation-200110-haiti-food-assistance-earthquake-affected-populations>. [Accessed 12-10-2023].
- [5] Programa Mundial de Alimentos, “Emergencia en Haití,” Año de acceso. Accedido el Día de acceso.