

Aplicación de fundamentos logísticos en la fabricación y distribución de protectores faciales para agilizar la respuesta al SARS-coV-2

Application of logistical fundamentals in the manufacture and distribution of face shields to expedite the response to SARS-coV-2

David De Santis, M.Sc.^{1,2}, Carlos Ronquillo, M.Sc.¹, Hector Apolo, M.Sc.¹, Fernando Gallardo, Ing¹

¹ Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Campus Gustavo Galindo Km.30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador

² Universidad Miguel Hernandez, Avinguda de la Universitat d'Elx, s/n, 03202 Elche, Alicante, España

dade@espol.edu.ec; caalronq@espol.edu.ec; hapolo@espol.edu.ec; fegogall@espol.edu.ec

Abstract- *As a result of the pandemic generated by SARS-coV-2 virus, the world faced challenges in economic, social and mainly health matters, causing the death of more than 1.7 million people around the world [1]. Ecuador was one of the countries hardest hit during the first months of the pandemic, particularly the city of Guayaquil, being considered one of the cities with the highest infection rate [2]. To be able to face this new pandemic, medical personnel must have biosafety equipment, therefore it was essential to supply these gears to hospitals. ESPOL University, through a team of teachers and students together with the Karla Morales Social Foundation, joined this fight by producing facial shields for use in hospitals in the city. This paper describes how logistics fundamentals were applied to the manufacture, storage and distribution of facial shields considering the isolation restrictions due to SARS-coV-2 during the months of March to June 2020.*

Key words: *SARS-coV-2, material requirement planning, optimization techniques, VRPTW, logistics indicators*

Resumen- *A raíz de la pandemia generada por el virus SARS-coV-2, el mundo enfrentó retos en materia económica, social y principalmente salud causando el fallecimiento de más de 1.7 millón de personas en todo el mundo [1]. Ecuador fue uno de los países más fuertemente golpeados durante los primeros meses de la pandemia, particularmente la ciudad de Guayaquil, siendo considerada una de las ciudades con índice de contagios más altos [2]. Para poder hacer frente a esta nueva pandemia el personal médico debía contar con los equipos de bioseguridad, por lo tanto, era indispensable el aprovisionamiento de estos equipos a los hospitales. La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) a través de un equipo de docentes y estudiantes en conjunto con la fundación social Karla Morales, se sumaron a esta lucha mediante la producción de protectores faciales para su uso en los hospitales de la ciudad. El presente artículo describe como se aplicaron fundamentos logísticos en la fabricación, el almacenamiento y distribución de los protectores faciales considerando las*

restricciones de aislamiento a consecuencia del SARS-coV-2 durante los meses de marzo a junio del 2020.

Palabras clave: *SARS-coV-2, planificación de requerimiento de material, técnicas de optimización, VRPTW, indicadores logísticos*

I. INTRODUCCIÓN

A inicios del año 2020 el mundo presenció el comienzo de una pandemia a causa del nuevo virus SARS-coV-2, el cual hasta la fecha ha causado más de 79 millones de contagiados y 1.7 millones de fallecidos en todo el mundo [1]. Ecuador fue uno de los países más golpeados durante los primeros meses, particularmente la ciudad de Guayaquil, siendo considerada una de las ciudades más afectadas en todo el mundo [3], lo que provocó el colapso de los centros hospitalarios y servicios funerarios.

Debido a esto, muchas fundaciones sociales se organizaron para poder colaborar en la emergencia sanitaria en diversos aspectos como: el armado de canastas con víveres para las personas necesitadas, elaboración de equipos de protección personal para los médicos que estaban enfrentando al SARS-coV-2 en los hospitales del país, elaboración de respiradores artificiales, entre otros. Una de las fundaciones que participó activamente fue la fundación Karla Morales [4], la cual fabricó máscaras faciales que serían donadas a los centros de salud de la ciudad de Guayaquil.

La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) se sumó a esta iniciativa, mediante la creación de un grupo de trabajo conformado por profesores y estudiantes de varias

carreras de la universidad: ingeniería en Logística y Transporte, ingeniería Industrial y licenciatura en Diseño Gráfico, para ayudar en la planificación, producción y distribución de las máscaras faciales de una manera ágil.

Además, la ESPOL prestó uno de sus coliseos como centros de acopio para las donaciones que recibía la fundación, sus camionetas junto con choferes, que de manera voluntaria transportaron las donaciones y los insumos para la fabricación de las máscaras, así como sus impresoras 3D para la elaboración de viseras.

Considerando las restricciones de aislamiento que generó la pandemia durante los primeros meses de esta, el equipo de ESPOL tuvo que organizarse para poder producir los protectores faciales desde casa. Se movilizaron las impresoras 3D que estaban en los laboratorios de la universidad hacia los hogares de los docentes especializados en el manejo de estas, así como se sumaron al equipo profesionales que contaban con sus propias impresoras 3D, logrando un total de 30 personas trabajando desde sus hogares en la fabricación de las máscaras.

Para que este esfuerzo fuera llevado adelante era necesario la planificación, coordinación y transporte de insumos necesarios para la producción de máscaras 3D, desde el punto de acopio (Coliseo ESPOL) hacia los hogares de los 30 voluntarios y la posterior entrega de los protectores faciales a los hospitales. Se tuvo en cuenta distintas restricciones existentes en ese momento, que el gobierno ecuatoriano había impuesto para contener la propagación de SARS-coV-2 como: restricción de circulación por placa y toque de queda a partir de las 14:00 hasta las 5:00 del día siguiente [5]. Es aquí donde surge la necesidad de organizar el abastecimiento a través de una metodología logística formal que permita mantener un suministro constante de todos los voluntarios, optimizando la utilización de recursos disponibles.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El sector industrial se vio muy afectado debido a la pandemia y esto significó una modificación sin precedente en los últimos 50 años, para ser competitivo este sector tuvo que doblar esfuerzos e innovar aplicando metodologías poco conocidas [6].

El sector de la salud fue sin duda el más afectado con esta pandemia viéndose diezmado e inclusive derrotado por la falta de estrategias para hacer frente a la situación [7]. La mascarilla se convirtió en el producto más demandado en materia de salud ocasionando un alza en los precios de estas y un aumento en la oferta a través de la tecnología de impresión 3D para diseñar e imprimir máscaras 3D que brinden protección facial sin poner en riesgo la salud de todas las personas.

Para realizar una distribución eficiente de estas máscaras es preciso el uso de modelos matemáticos que permitan minimizar el tiempo de recolección y entrega obteniendo un

impacto positivo en un contexto desfavorable [8]. El uso de tecnologías es fundamental cuando el trabajo presencial no es recomendado por las condiciones sanitarias del ambiente.

El empleo de la logística es importante para realizar una operación eficiente y contribuye a realizar el proceso de distribución de material a través de modelos matemáticos generando rutas que minimizan la distancia y cumplen con las restricciones asignadas al modelo.

El problema del ruteo vehicular (VRP por sus siglas en inglés), tiene como objetivo diseñar un conjunto de rutas de costo mínimo que sirvan a varios lugares, geográficamente dispersos y que cumplan con las limitaciones específicas del problema. Desde su primera formulación en 1959 [9], se desarrollaron varias publicaciones y se ha ampliado su alcance. Se realizaron estudios iniciales para analizar la gestión de la distribución. En la última década se han producido importantes avances en cuanto a la solución técnica para resolver grandes instancias. Otro aspecto que ha ganado interés es la inclusión de innovaciones tecnológicas en el VRP como el desarrollo de [10] con la propuesta de resolución por medio de Big Data.

El VRP tiene variantes que han sido desarrolladas a lo largo del tiempo. Entre estas variantes podemos destacar el problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo (VRPTW por sus siglas en inglés), el cual tiene como objetivo atender a todos los clientes en un intervalo de tiempo definido [11]. En el año 1987 [12] presentó soluciones, métodos y aplicaciones en el cual se consideró el diseño y análisis de algoritmos para problemas de programación y generación de rutas de vehículos con restricciones de ventana de tiempo. [13] presentaron una revisión completa de las metaheurísticas aplicadas al problema.

III. METODOLOGÍA

A. Protectores Faciales

La máscara 3D o facial que fue producido por el equipo de ESPOL en unión con la fundación Karla Morales, tenía 3 componentes: visera, corte de acetado y elásticos.

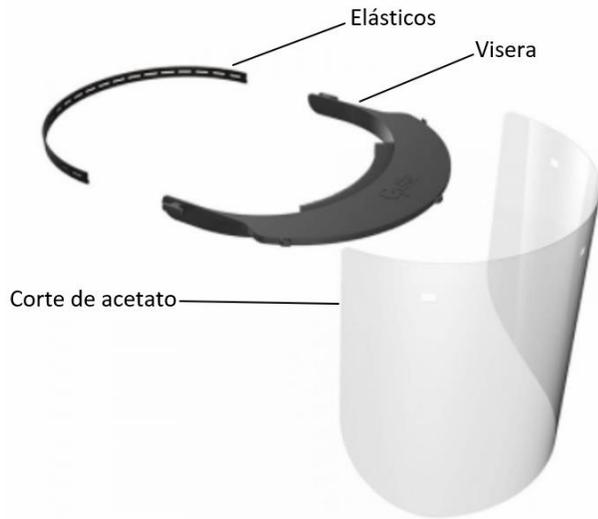


Fig. 1 Componentes de un facial 3D

Los elásticos y los cortes de acetato eran donados listos para ser ensamblados, sin embargo, las viseras había que producirlas a partir de la materia prima, que eran rollos de filamento, utilizando las impresoras 3D.

B. *Materia Prima*

Tanto los elásticos, los cortes de acetato y los rollos de filamentos recibidos en donaciones eran almacenados en el punto de acopio (Coliseo ESPOL). Los elásticos y los cortes de acetato al estar ya listos para su utilización no pasaban por un proceso de producción sino por el proceso de desinfección y ensamblaje, mientras que los rollos de filamento debían pasar por un proceso de producción para ser transformados en viseras.



Fig. 2 Cortes de acetato listos para ser utilizados

C. *Proceso de producción de viseras*

Un grupo de voluntarios conformados por docentes y graduados de ESPOL fue el encargado del diseño e impresión de las viseras.



Fig. 3 Impresora 3D de ESPOL en funcionamiento

Para realizar esta labor algunos de las impresoras de ESPOL fueron movidas a los domicilios de ciertos docentes con la finalidad de disponer de más unidades para la impresión y agilizar este proceso [14].



Fig. 4 Impresora 3D de ESPOL previa a ser trasladada

El abastecimiento de los rollos de filamento se lo realizaba semanalmente considerando los niveles de inventario que tenían cada uno de los voluntarios. Los niveles de inventarios de rollos de filamento eran monitoreados por el equipo de logístico mediante la tabla de datos que se creó en Microsoft Excel. El siguiente diagrama de flujo presenta el proceso de producción de viseras:

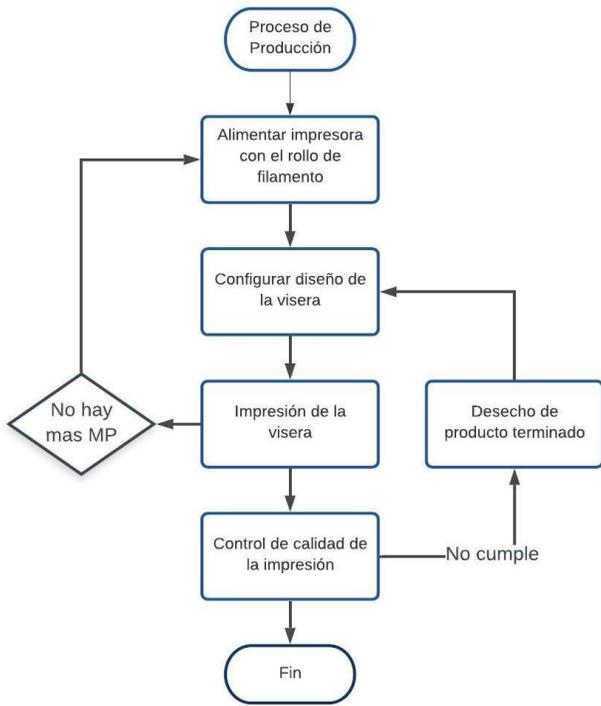


Fig. 5 Diagrama de Flujo para la impresión de viseras

Una vez realizada la producción, el equipo de logística coordinaba el transporte de las viseras a los puntos de desinfección y ensamblaje, considerando un proceso de entrega y recogida, entrega para reabastecer a los voluntarios de rollos de filamento y recogida para recibir las viseras producidas.

D. Proceso de desinfección y ensamblaje

Este proceso se desarrollaba en los 3 puntos de desinfección y ensamblaje que existían para este fin. Para poder realizar el ensamblaje de los protectores faciales también era necesario que en estos puntos existan siempre un stock de cortes de acetato y los elásticos, los cuales eran abastecidos de manera semanal por parte de los encargados de la logística.



Fig. 6 Punto de desinfección y ensamblaje de máscaras 3D

Cuando las máscaras ya fueron ensambladas estas eran recogidas por el transporte de ESPOL, para ser entregadas en

los diversos hospitales de la ciudad de Guayaquil, priorizando aquellos hospitales que tenían mayor cantidad de médicos sin implementos. Este movimiento era coordinado por el equipo de logística para realizar una acción de entrega y recogida, entrega de los cortes de acetato, elásticos y viseras y recogida de los protectores faciales para llevarlas a entregar a los hospitales.

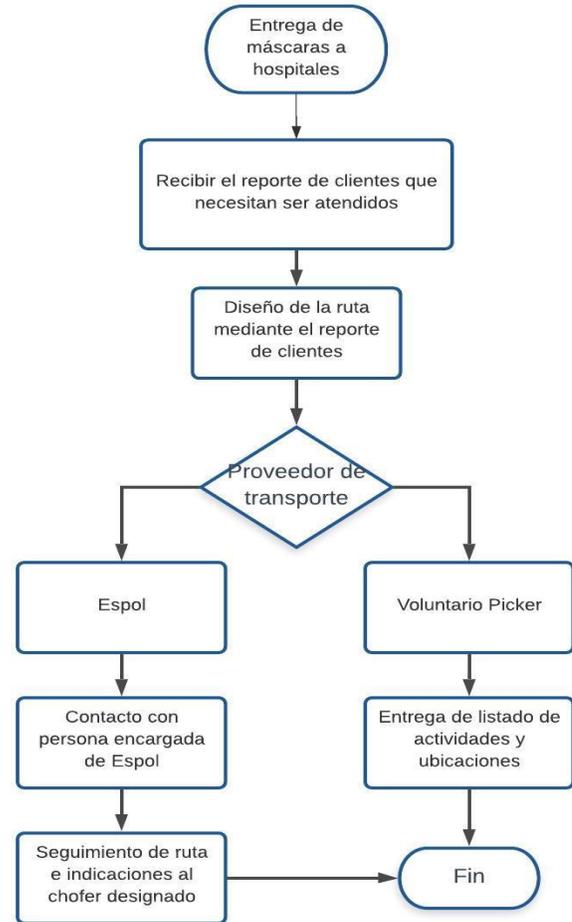


Fig. 7 Diagrama de flujo para el proceso de entrega de máscaras 3D

E. Transporte de los insumos y máscaras 3D

La ESPOL puso a disposición una flota de camionetas que podían ser utilizadas para realizar esta labor. Dada la restricción de circulación vehicular dispuesta por el gobierno de Ecuador solo se disponía de una camioneta diaria para realizar las entregas [5].

Se planteó el VRPTW y con la ayuda de la app Routific se logró asignar una ruta para cada día según el orden de requerimientos.

Este transporte servía para la recolección de donaciones que eran almacenadas en el centro de acopio, así como de los insumos necesarios en producción de viseras y el armado de las máscaras. Adicional, también se contó con un motociclista

para el movimiento de las donaciones, insumos y máscaras 3D, quien era considerado dentro de la planificación de las rutas diarias de distribución.

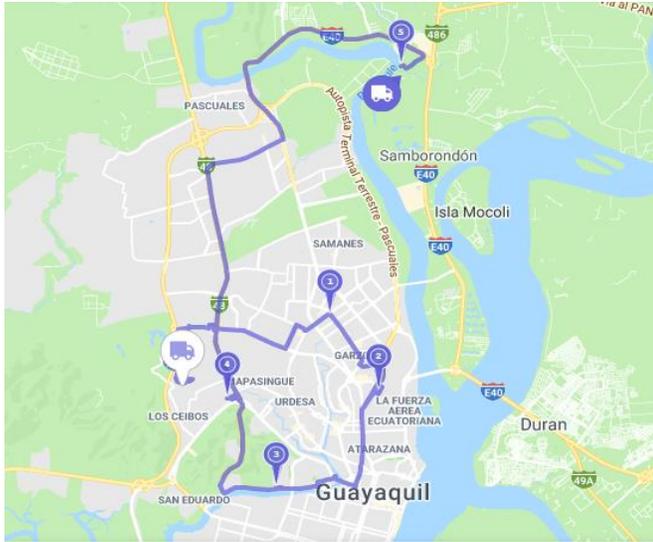


Fig. 8 Ejemplo de una ruta de distribución

F. Red Logística

Para poder coordinar el traslado de los insumos y las máscaras 3D, fue necesario referenciar los puntos de producción, de desinfección y ensamblaje y los hospitales utilizando la aplicación de mapas web Google Maps.

Para conseguirlo se georreferenció cada uno de los puntos durante la primera visita.



Fig. 9 Mapeo de los puntos de producción, ensamblaje y hospitales

G. Técnicas de optimización e indicadores logísticos que se utilizaron para la gestión y control de los procesos

Base de datos: Para realizar esta labor fue necesaria la creación de una base de datos. Esta base fue creada y

actualizada por los encargados de logística tanto para control de inventarios como para el registro del movimiento de insumos [15], la cual estaba disponible para todos de manera online, usando Microsoft Excel colaborativo.

La base de datos contiene varias tablas entre las que podemos destacar las más relevantes para este estudio:

Inventario de insumos: Esta tabla contiene la información de material recibido, material utilizado y los días en inventario de cada uno de los tres productos con los cuales se ensamblan las máscaras 3D.

Producción de voluntarios: Esta tabla contiene la información de cada punto de impresión de las viseras, se tiene viseras por rollo que producen y viseras por día, con estos datos es posible calcular los días que dura un rollo y la frecuencia con la que se debe visitar cada punto para reabastecer de materia prima.

Estado de las impresoras: Es importante tener conocimiento de las impresoras que están operativas y las que no para hacer una planificación adecuada del reabastecimiento.

Movimientos de productos: Esta tabla contiene la información de todos los movimientos de recolección y entrega de los productos a través de los vehículos de ESPOL. Adicional del tipo de movimiento la tabla contiene inicio y destino del movimiento, tipo de donación, tipo de registro, placa del vehículo y alguna observación si fuere el caso.

Indicadores logísticos: El adecuado reabastecimiento de materia prima para los voluntarios que se encargaban de fabricar las viseras fue posible gracias a los indicadores de producción que se emplearon. Estos indicadores eran analizados por un voluntario de logística con la finalidad de mantener con material para impresión a cada punto de producción [15].

Se aplicó un modelo de Planeación de Requerimiento de Materiales (MRP, por sus siglas en inglés) con un solo producto, dado que solo se distribuye los rollos de filamento para la producción de viseras. Estos modelos son dinámicos y su demanda es conocida [16]. Los indicadores analizados son días en inventario y suministro semanal.

Para calcular los días en inventario nos basamos en la siguiente ecuación general:

$$\text{Días de Inventario} = \frac{\text{Unidades de Inventario}}{\text{Unidades vendidas/día}} \quad (1)$$

Se empleó el ratio (1) para calcular la razón entre las unidades de inventario y la unidad vendida por día en promedio. Dado que en este trabajo no se realizaron ventas esta expresión es reemplazada por el consumo promedio de rollos de filamento por día. Para calcular los días de inventario de rollos de filamento se empleó el siguiente ratio:

$$\text{Días de Inv.} = \frac{\text{Cant. rollos de filamento}}{\text{Cant. rollo de filamento/día}} \quad (2)$$

Los parámetros del ratio (2) se encuentran en la tabla de producción por voluntario y en promedio fue de 7 días en inventario por rollo.

VOLUNTARIOS		DÍAS INVENTARIO
VOLUNTARIO1	●	2,0
VOLUNTARIO2	●	3,7
VOLUNTARIO3	●	8,0
VOLUNTARIO4	●	1,5
VOLUNTARIO5	●	1,7
VOLUNTARIO6	●	4,0
VOLUNTARIO7	●	3,0
VOLUNTARIO8	●	10,0
VOLUNTARIO9	●	14,3
VOLUNTARIO10	●	0,0

Fig. 10 Ejemplo de nivel de inventarios para algunos voluntarios

Este indicador permitió mantener el abastecimiento de los productores de viseras.

Planificación de rutas: Para la preparación de las rutas se planteó un Problema de Ruteo Vehicular con Ventanas de Tiempo (VRPTW), el cuál es un modelo matemático de programación lineal que considera la atención de un conjunto de n clientes, en este caso hospitales, voluntarios, considerando una flota de m camiones con una capacidad homogénea y donde cada voluntario y hospital tiene una franja-horaria donde puede ser visitado [17]. El problema de programación lineal mixto del VRPTW es el siguiente:

Índices y conjuntos

$V = \{0,1,2,\dots,n,n+1\}$ $i, j \in V$ Conjunto de hospitales y voluntarios incluyendo el depósito
 $K = \{1,2,\dots,m\}$ Camiones
 $N = \{1,2,\dots,n\}$ Conjunto de clientes

Data

D_{ij} : Matriz de distancia
 Q : Capacidad de los vehículos
 d_i : Demanda de cada voluntario/hospitales
 s_i : Duración del servicio
 e_i : Tiempo de inicio de la ventana de tiempo
 l_i : Tiempo de vencimiento de la ventana de tiempo

Variables

$X_{ijk} = \begin{cases} 1; & \text{si el camión } k \text{ viaja por el arco } (i, j) \\ 0; & \text{si no} \end{cases}$

T_{ik} : Instante en que inicia el servicio en i por k

Función Objetivo

$$\text{minimizar } \sum_{k \in K} \sum_{i,j \in V} D_{ij} X_{ijk} \quad (2.1)$$

Restricciones

19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Prospective and trends in technology and skills for sustainable social development" "Leveraging emerging technologies to construct the future", 21-23 July 2021, Buenos Aires, Argentina.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in i} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in V \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in 1} X_{1jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (2.3)$$

$$\sum_{j \in 1} X_{i1k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (2.4)$$

$$e_i \leq T_{ik} \leq l_i \quad \forall k \in K, i \in V \quad (2.5)$$

$$\sum_{i \in j} X_{ijk} - \sum_{i \in j} X_{jik} = 0 \quad \forall k \in K, j \in V \quad (2.6)$$

$$X_{ijk}(T_{ik} + S_i + D_{ij} - T_{jk}) \leq 0 \quad \forall k \in K, i, j \in V \quad (2.7)$$

$$\sum_{i \in V} d_i \sum_{j \in i} X_{ijk} \leq Q \quad \forall k \in K \quad (2.8)$$

$$\sum_{j, i \in V} X_{ijk} \leq K \quad \forall k \in K \quad (2.9)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, i, j \in V, T_{ik} \geq 0 \quad \forall k \in K, i \in V \quad (2.10)$$

La expresión (2.1) detalla la función objetivo como la suma de la distancia total que recorre el camión, la ecuación (2.2) indica que cada voluntario puede ser visitado una vez por un solo camión, la ecuación (2.3) garantiza que el camión k solo puede dirigirse desde el depósito a solo un voluntario, la ecuación (2.4) garantiza que el camión k solo puede regresar al depósito desde un solo voluntario, la ecuación (2.5) establece los límites de las ventanas horarias para cada voluntario, la ecuación (2.6) verifica que el flujo de entrada sea igual al flujo de salida para cada voluntario visitado, la ecuación (2.7) verifica que el camión visite al voluntario y brinde el servicio mientras la ventana horaria se encuentre activa, la ecuación (2.8) garantiza que ningún vehículo exceda su capacidad máxima, la ecuación (2.9) garantiza que se utilice como mucho el número de camiones disponibles. Las ecuaciones (2.10) son restricciones de no negatividad e integralidad

Resolución del modelo: Para resolver el modelo matemático se empleó el uso de la app Routific, esta app utiliza un optimizador basado en el problema del VRPTW con una interfaz amigable y proporciona la secuencia de visita que debe seguir el repartidor para cumplir con todos los voluntarios mientras la ventana de tiempo este activa minimizando los costos en su ejecución

H. Tecnologías de comunicación:

La tecnología y las plataformas de comunicación fueron claves para el desarrollo de este proyecto, ya que debido a la pandemia las reuniones presenciales no eran posibles.

Las comunicaciones eran diarias, pero semanalmente se tenía una reunión con todo el equipo de logística, industrial y diseño para la revisión de los indicadores de gestión



Fig. 11 Reunión semanal del equipo mediante la plataforma Zoom

IV. RESULTADOS

Los principales indicadores que se revisaban semanalmente y que nos describen el desarrollo del proyecto en temas como abastecimiento de materia prima a los puntos de producción, movimientos de insumos y mascarás entregadas se presentan a continuación:

Producción de viseras por voluntario: Este indicador permite conocer la cantidad de viseras que ha fabricado cada voluntario. La representación del indicador consiste en un gráfico de barras con la cantidad acumulada de viseras fabricadas por cada voluntario.

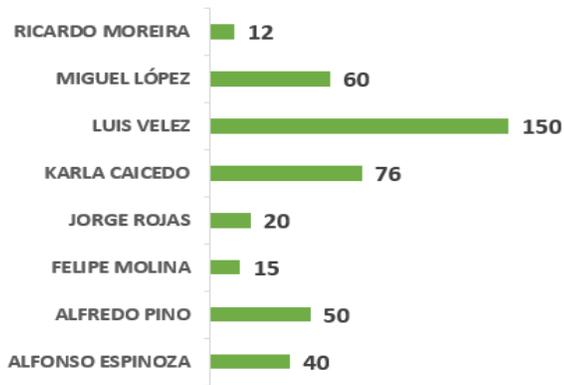


Fig. 12 Ejemplo de indicador producción por voluntario

Máscaras entregadas: Se entregaron 2929 mascarás a lo largo de todo el proyecto. En la imagen se puede apreciar de forma desglosada los hospitales que recibieron la mayor cantidad de mascarás 3D.

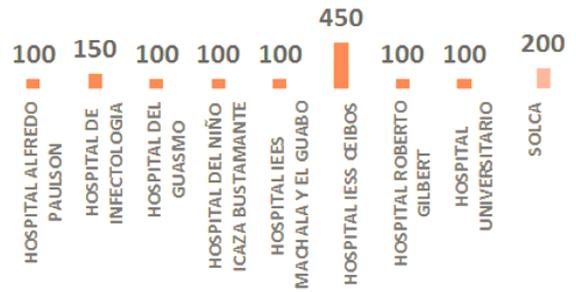


Fig. 13 Total de mascarás entregadas a los principales hospitales de Guayaquil

Kilómetros recorridos: El total de kilómetros recorridos por los vehículos nos permitió conocer y gestionar de manera más adecuada el uso de la flota. Adicional se consideró el número de puntos visitados por cada vehículo.

KILÓMETROS RECORRIDOS POR CARROS DE ESPOL

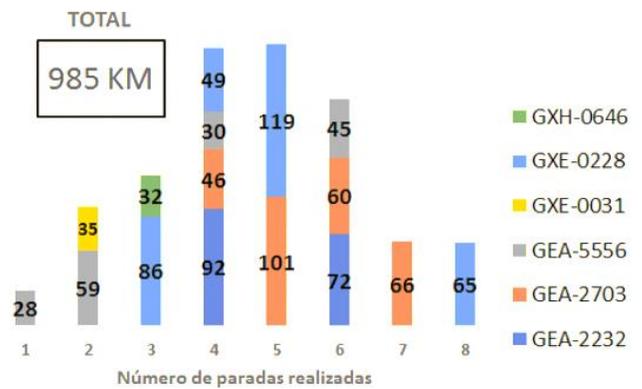


Fig. 14 Desglose de transporte utilizado

Bultos transportados y cumplimiento de ruta: Un indicador importante para la gestión de la flota el porcentaje de cumplimiento de la ruta planificada el cuál se calcula en base al número de puntos visitados versus el número de puntos planificados, este era un indicador que se actualizaban semanalmente. Se cumplió el 84.37% de la ruta planificada.

V. CONCLUSIONES

La red logística permitió el abastecimiento, producción y distribución oportuna de cerca de 3.000 protectores faciales, los cuales ayudaron al personal médico en la lucha contra el SARS-coV-2 en los hospitales de Guayaquil, desde marzo a junio del 2020.

Las técnicas de optimización como el modelo matemático VRPTW, así como los indicadores logísticos ayudaron con la gestión de la red logística, cumpliendo con los objetivos de producción propuestos, considerando las restricciones existentes para el desarrollo del proyecto y optimizando la utilización de los recursos disponibles.

Las tecnologías de información y comunicación existentes permitieron poder estar en comunicación constante

durante el desarrollo de todo el proyecto, a pesar de las restricciones de aislamientos existentes, así como poder revisar datos y analizar indicadores que incidían en el desarrollo de este.

VI. AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Cecilia Paredes, Rectora de la ESPOL, quien facilitó recursos institucionales. A la M.Sc. Karla Caicedo, por su liderazgo. A la Unidad de Vínculos con la Sociedad de la ESPOL y sus integrantes, por su compromiso. Y a su vez a la Fundación Karla Morales quienes fueron aliados estratégicos. Finalmente, a los profesores, estudiantes y voluntarios gracias a quienes se pudo realizar el proyecto exitosamente.

VII. BIBLIOGRAFIA

- [1] Worldometer, «worldometers.info,» [En línea]. Available: https://www.worldometers.info/coronavirus/?utm_campaign=homeAdvegas1? [Último acceso: 10 01 2021].
- [2] G. Guerra, «33% de guayaquileños contrajo covid-19, según estudio del Cabildo; Guayaquil seguirá en rojo hasta el 24 de mayo,» *El Comercio*, 7 Mayo 2020.
- [3] FT, «Rastreador de coronavirus: las últimas cifras mientras los países luchan contra el resurgimiento del Covid-19,» *Financial Times*, 2021.
- [4] G. Vaca, «Karla Morales, el rostro de la solidaridad en Guayaquil y Ecuador por emergencia,» *Nueva Mujer*, 2020.
- [5] A. Jaramillo, «Lenín Moreno declara restricción de circulación de personas y automóviles en Ecuador a partir del 17 de marzo,» *El Comercio*, 15 Marzo 2020.
- [6] J. Zamora, «Distribución comercial tras una pandemia: Caso de la Covid-19,» p. 50, 2019.
- [7] D. Franco, «Retos Logísticos en salud asumidos por Bogotá para enfrentar el COVID-19,» p. 24, 2020.
- [8] K. Ordoñez, «Gestión logística y cumplimiento de metas en un contexto COVID-19 en la Zapatería Kiara Lizeth, Tarapoto - 2020,» p. 63, 2021.
- [9] G. Dantzig y J. Ramser, «The Truck Dispatching Problem,» *Management Science*, vol. VI, pp. 80-91, 1959.
- [10] R. Di Pasquale, «Lambda Route: Una propuesta para optimizar rutas vehiculares urbanas de forma centralizada y en línea,» p. 7, 2016.
- [11] M. Solomon, «Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints,» *Operations Research*, vol. XXXV, nº 2, pp. 254-265, 1984.
- [12] M. Solomon y J. Desrosiers, «Time window constrained routing and scheduling problems,» *Transportation Science*, vol. XXII, nº 1, pp. 1-13, 1987.
- [13] O. Bräysy y M. Gendreau, «Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part II: Metaheuristics,» *Transportation Science*, vol. XXXIX, nº 1, pp. 119-139, 2005.
- [14] M. Torres, «Coronavirus: La Espol fabrica máscaras de protección facial en 3D,» *Diario Expreso*, 30 Marzo 2020.
- [15] S. Chopra y P. Meindl, *Administración de la cadena de suministro: Estrategia, Planeación y Operación*, México DF: Pearson, 2008.
- [16] H. Taha, *Investigación de operaciones*, Mexico DF: Pearson, 2012.
- [17] N. El-Sherbeny, "Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods," *ScienceDirect*, vol. 22, no. 3, pp. 123-131, 2010.