

Development of Intelligent Systems in 5.0 Supply Chains using Unmanned Aerial Vehicles

M.I. Neftalí Elorza López^{1,2} , Ing. Carlos Alberto Vázquez Alonso^{1,3} , Carolina González Rodríguez^{1,3} , Dr. Víctor Javier González Villela^{1,3}, M.I Fernando Macedo Chagolla^{1,2} and Ing. Luis Armando Sánchez Ruiz^{1,4}

¹Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México

²Facultad de Estudios Superiores Aragón (UNAM), México, neftali.elorza@ingenieria.unam.edu and machf1@unam.mx

³Facultad de Ingeniería (UNAM), México, cabetovzqz@gmail.com, caro.catris@gmail.com and vjgv@unam.mx

⁴Facultad de Contaduría y Administración (UNAM), México, lusanru89@gmail.com

Abstract– This project is the result of the current biological crisis where it was required to deliver medical supplies to over 15 hospitals in the metropolitan area of Mexico City. During its development, it had the support of Amazon due to its award-winning participation within the health category in the national event called "UNAM - AWS Hackathon" This allowed us to learn more tools for the optimal implementation of artificial intelligence and machine learning algorithms. The project design was to apply digital transformation to deliver supplies anywhere in the world, no matter if an implication exists, such as a natural disaster or a public health emergency.

Our objective is to apply digital solutions by implementing Intelligent Systems in the supply chain to cover the demand for a product, doing the delivery process through pilotless aerial vehicles, optimizing delivery times, and reducing transportation costs as well as reducing the environmental impact that the process entails. To achieve this objective, we implement software tools so that the vehicle travels safely, safeguarding the integrity of the cargo. We determined Checkpoints in strategic geographical points, complying with the health security and control needs that arise, checkpoints automatically implemented using K-Nearest Neighbors (machine learning model used since due to its characteristics and behaviour is the learning model that best fits our physical model since the control variables such as distances allow us to find the closest point), creating the algorithm for any city in the world. In a different way.

We use Amazon Web Services (AWS) because they are easy-to-implement tools and have enough reach globally; however, it is possible to implement it on any other cloud service platform (such as Google Cloud Platform, Microsoft Azure, etcetera). These services have a stable infrastructure and provide us with all the software tools we need to fulfill our objective. The results from the intelligent system showed us that its implementation within pilotless aerial vehicles (quadcopter drone) is viable and managing to satisfy all the needs raised at the beginning of the project due to financial limitations must run out through a simulator.

Keywords-- Digital Transformation, 5.0 Logistic, 5.0 Supply Chain, 4.0 Industry, Artificial Intelligence.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Desarrollo de sistema inteligente aplicado en Cadenas de Suministros 5.0 a través de Vehículos Aéreos no Tripulados

M.I. Neftalí Elorza López^{1,2} , Ing. Carlos Alberto Vázquez Alonso^{1,3} , Carolina González Rodríguez^{1,3} , Dr. Víctor Javier González Villela^{1,3}, M.I Fernando Macedo Chagolla^{1,2} and Ing. Luis Armando Sánchez Ruiz^{1,4}

¹Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México

²Facultad de Estudios Superiores Aragón (UNAM), México, neftali.elorza@ingenieria.unam.edu and machfl@unam.mx

³Facultad de Ingeniería (UNAM), México, cabetovzqz@gmail.com, caro.catris@gmail.com and vjgv@unam.mx

⁴Facultad de Contaduría y Administración (UNAM), México, lusanru89@gmail.com

Abstract– *This project is the result of the current biological crisis where it was required to deliver medical supplies to over 15 hospitals in the metropolitan area of Mexico City. During its development, it had the support of Amazon due to its award-winning participation within the health category in the national event called "UNAM - AWS Hackathon" This allowed us to learn more tools for the optimal implementation of artificial intelligence and machine learning algorithms. The project design was to apply digital transformation to deliver supplies anywhere in the world, no matter if an implication exists, such as a natural disaster or a public health emergency.*

Our objective is to apply digital solutions by implementing Intelligent Systems in the supply chain to cover the demand for a product, doing the delivery process through pilotless aerial vehicles, optimizing delivery times, and reducing transportation costs as well as reducing the environmental impact that the process entails. To achieve this objective, we implement software tools so that the vehicle travels safely, safeguarding the integrity of the cargo. We determined Checkpoints in strategic geographical points, complying with the health security and control needs that arise, checkpoints automatically implemented using K-Nearest Neighbors (machine learning model used since due to its characteristics and behaviour is the learning model that best fits our physical model since the control variables such as distances allow us to find the closest point), creating the algorithm for any city in the world. In a different way.

We use Amazon Web Services (AWS) because they are easy-to-implement tools and have enough reach globally; however, it is possible to implement it on any other cloud service platform (such as Google Cloud Platform, Microsoft Azure, etcetera). These services have a stable infrastructure and provide us with all the software tools we need to fulfill our objective. The results from the intelligent system showed us that its implementation within pilotless aerial vehicles (quadcopter drone) is viable and managing to satisfy all the needs raised at the beginning of the project due to financial limitations must run out through a simulator.

Keywords– *Digital Transformation, 5.0 Logistic, 5.0 Supply Chain, 4.0 Industry, Artificial Intelligence.*

I. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación se centra en la transformación digital y cómo las nuevas tecnologías pueden explotarse en el sector industrial, como objetivo principal se desea crear un modelo inteligente que pueda implementarse dentro de las cadenas de suministros, promoviendo la industrialización inclusiva y sostenible; siguiendo una “*metodología Agile*”, la cual beneficie a los sectores económicos más vulnerables.

Hoy en día atravesamos por una de las revoluciones industriales más demandantes de la historia. La industria 4.0 junto con la globalización han creado necesidades nuevas en la sociedad con una demanda casi inmediata, y sumado a esta época de cambio, el SARS-CoV-2 o comúnmente conocido como COVID-19 expuso una vulnerabilidad en nuestros procesos industriales.

Durante esta pandemia pudimos observar la brecha gigante que existe entre las grandes urbes y las comunidades rurales, atravesando todos los estratos socioeconómicos. Dentro de este evento global debemos resaltar la fragilidad entre las cadenas de suministros y las amenazas probables (confinamiento); alterando a nuestro modelo económico, perjudicando incluso a los sectores más industrializados. Este proyecto busca la innovación a través de la ciencia computacional y busca modificar las cadenas de suministros con la finalidad de volverlas menos vulnerables ante cualquier eventualidad, proporcionando una metodología fundamentada en la transformación digital y las tecnologías disruptivas que nos ofrecen los sistemas inteligentes.

Finalmente, los consumidores se han transformado, creando una nueva generación con una serie de nuevas necesidades. Esta nueva generación de usuarios finales debido a la globalización toma prioritariamente el costo beneficio que conlleva al adquirir un producto o servicio y representa la condición inicial en estas nuevas cadenas de suministros dando paso a la logística 5.0.

Todo lo anterior busca optimizar la logística y distribución de suministros para que sea escalable en cualquier

lugar del mundo y aplicable en cualquier situación (emergencia sanitaria, escasas, alta demanda, desastre natural, etc.)

II. ESTADO DE LA TÉCNICA

La industria 4.0 es un término que hace referencia a la cuarta revolución industrial, como lo ha experimentado el ser humano en su historia, es una época en la cual existe una transformación en los procesos industriales generando a su vez un cambio económico. Según la consultora *Deloitte* [1], dicha revolución trae consigo importantes cambios en la forma en que los negocios operan, además de sus entornos obligándolos a competir. Pero ¿Cuáles son estos cambios significativos? Y ¿Cuáles son las implicaciones a las que se refiere?, contestando a la primera pregunta el cambio más significativo que ofrece esta revolución es la transformación digital. La transformación digital, según la consultora *KPMG* [2] la define como la evolución para beneficiarse de los avances tecnológicos que ofrece el entorno, entre otras definiciones prevalece el concepto de beneficio a través de tecnologías que toman como base la industria 4.0, o bien la interconexión entre el mundo físico y el virtual [3]. Teniendo claro estos conceptos, es posible dar respuesta a nuestra segunda pregunta, las implicaciones de esta cuarta revolución industrial se derivan de sus máximas premisas o “pilares” los cuales son (ver Fig. 1):

- La impresión 3D.
- Los Vehículos Autónomos y Eléctricos.
- Visión Artificial.
- Inteligencia Artificial.
- Internet de las Cosas
- Computación en la nube.
- Big Data.

Para este proyecto en específico, nos centraremos en 4 de estas 7 tecnologías (*AI, IoT, Cloud Computing y Big Data*).

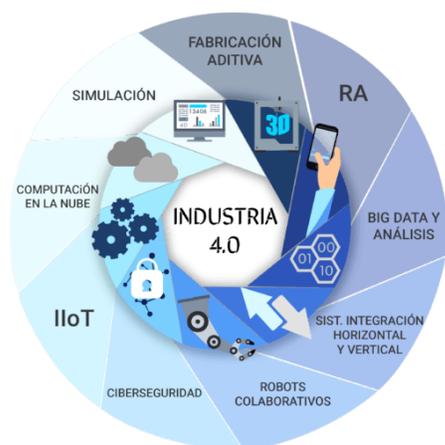


Fig. 1 Diagrama de la Industria 4.0.
En este diagrama se pueden observar los pilares de la industria 4.0
Fuente: <https://www.advancedfactories.com>

Por otra parte, la inteligencia artificial es la tecnología fundamental del presente proyecto, en el cual se define como un programa de computación diseñado para realizar determinadas operaciones que se consideran propias de la inteligencia humana, como el autoaprendizaje [4], de igual manera es la tecnología utilizada en procesos de predicción, estadísticos, matemáticos, etc. El Internet de las cosas (IoT) es aquel proceso el cual nos permite conectar elementos físicos a internet, según la empresa informática *Red Hat* [5]. Los términos *cloud computing* y *big data* son términos directamente relacionados y podemos definirlos como donde se alojarán los datos. Amazon Web Services (AWS) determina a los servicios en la nube como aquellos servicios los cuales puedes acceder en cualquier momento y no es necesario alojarlos dentro de tu propio ordenador y/o servidor, sino que, estos se alojan mediante un servicio ofrecido por un tercero [6].

Por último, para definir el proyecto se requiere aplicar conceptos de cadenas de suministros 5.0 y logística 5.0. Debemos de visualizar a las cadenas de suministros como aquellos procesos por los que pasa cualquier producto, consta primordialmente de 4 etapas fundamentales las cuales son: compra de materia prima, producción, transporte y demanda, creando todas estas una cadena en la cual cada eslabón depende de los otros [7]. Hasta ahorita dicha cadena ha dependido únicamente del ser humano y de sus capacidades, en cambio, cuando esta se complementa con alguna de las tecnologías disruptivas previamente mencionadas se le puede asignar el término cadena de suministro 5.0 [8].

Se puede hablar de logística durante toda la cadena, pero nosotros nos centraremos específicamente en el proceso de transporte, teniendo en cuenta que según *KPMG*, durante la pandemia se presentó un impacto tanto en la demanda como en la oferta de productos [9], teniendo en cuenta estos parámetros, en este proyecto aplicaremos métodos ingenieriles, es decir, la digitalización de procesos y tecnologías de la industria 4.0 para solventar la situación y convertiremos un modelo simple de logística a un modelo 5.0 [10], cumpliendo con todas las necesidades que este nuevo concepto requiera.

Teniendo en cuenta los términos previamente mencionados, surge en el mercado la denominación de cliente 5.0 o consumidor 5.0, esta denominación surge debido a el abrupto cambio que se presentó durante la pandemia, donde el consumidor o *shopper* cuenta con un mayor número de habilidades gracias a sus experiencias en las compras en línea, desarrollando una capacidad más analítica.

Algunas características esenciales de los clientes 5.0 son la alta comunicación en cuanto experiencias de compras a través de redes sociales, blogs y otros medios digitales, de igual manera cabe resaltar su poca paciencia en cuanto a

envíos, ya que buscan un híbrido entre las compras sin salir de casa con la inmediatez que obtiene de los métodos de compra tradicionales [10].

III. DISEÑO DEL MODELO

Para este proyecto fue necesario realizar un diagrama IDEF0 (Diagrama diseñado para modelar decisiones, acciones y actividades de un sistema) el cual nos sirvió para poder analizar y plantear una solución adecuada del problema. Este IDEF0 tomó como base las necesidades de la nueva cadena de suministros y se planteó un sistema nuevo de logística, como podemos observar en la siguiente imagen (ver Fig. 2):

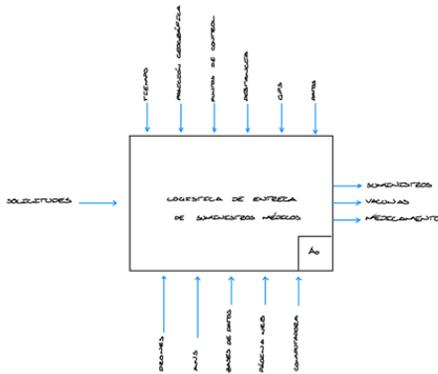


Fig. 2 IDEF0 Simple.

En este diagrama IDEF0 simple se muestran las características mínimas requeridas para que el modelo de logística funcione y contempla las variables de entrada y salida para el mismo

Desarrollando más la idea del producto obtuvimos que era necesario realizar las variables mínimas necesarias contemplando un IDEF0 con 6 pasos (ver Anexo 1), esta metodología le permitió al equipo de trabajo diseñar correctamente la metodología requerida para cumplir nuestro objetivo.

IV. ARQUITECTURA DE SOLUCIÓN

Desarrollando la arquitectura de solución, se tomaron en cuenta los servicios de Amazon Web Services (AWS), estos módulos que se utilizaron para desarrollar el proyecto se describen posteriormente a detalle (ver punto VI Simulación).

Tomando en cuenta su función es posible seleccionarlos en tres partes las cuales corresponden a los siguientes rubros:

- Comunicación con el usuario.
- Análisis e Inteligencia.
- Comunicación interna y ciberseguridad.

Como resultado podemos definir al modelo en un plano de arquitectura de solución (ver Anexo 2) para la implementación de este proyecto; en él, podemos observar las

distintas etapas del proceso, así como la interrelación entre las diferentes herramientas. Este plano se puede observar en la siguiente figura (ver Fig. 3):

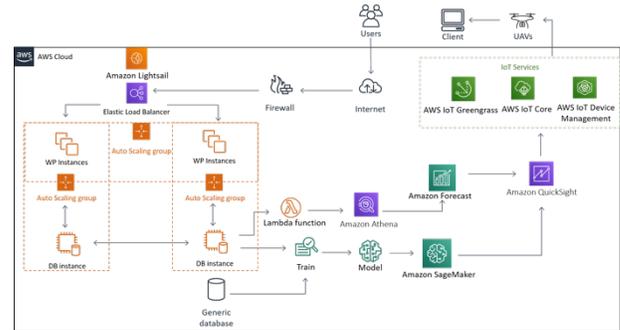


Fig. 3 Arquitectura de Solución completa.

En este plano de Arquitectura se muestran los tres principales rubros previamente comentados: Comunicación con el usuario (Naranja), Análisis e Inteligencia (Morado y Turquesa) y Comunicación interna y Ciberseguridad (Verde).

V. SIMULACIÓN

A. Comunicación con el Usuario

En esta etapa de comunicación con el *shopper* o usuario final, fue requerida la simulación del comportamiento de la demanda, durante esta se tomaron en cuenta las características esenciales de los usuarios 5.0.

Cabe mencionar que se realizó para fines demostrativos y es importante recalcar que la creación o desarrollo de una página web no es una limitante para poder operar, por sí mismo este modelo adaptable a cualquier plataforma de e-commerce, comercio o modelo de negocio de cualquier sector.

Por medio del servicio *Amazon LightSail* se implementó una página web (ver Fig. 4), la cual fungió como medio de comunicación entre el equipo de desarrollo y el *shopper*, en esta página podrán conocer más sobre el equipo de trabajo y la forma en la que se implementa la solución. También el usuario encontrará una sección donde puede solicitar los suministros que requiera y para ello deberá contestar un formulario con su información personal, como nombre, edad, correo electrónico, país, etc.



Fig. 4 Página Web Implementada.
<https://red.wayaksteamunam.org>

Una vez contestado y enviado el formulario, la información se almacena en una base de datos de *Amazon RDS* la cual es compatible con MySQL, esta base de datos a medida que sea enriquecida será necesario que se lleve a cabo un proceso de *Data Cleansing* (proceso de limpieza de datos), esto con el fin de mantener la correcta estructura de la misma, sin embargo, debido a la cantidad de datos de este experimento no fue necesario aplicar esta función.

B. Análisis e Inteligencia

Se puede comentar que la fase de análisis e inteligencia es el tema central de esta investigación, durante esta etapa se exploraron los diversos modelos de machine learning, sin embargo, debido a la naturaleza del modelo físico, el modelo que más se ajusta a nuestras necesidades con el cual obtuvimos el mejor *accuracy* (Es decir, con el mejor rango de confiabilidad) es con K-Nearest Neighbor (KNN).

Se generó una primera etapa donde se define el área de operación mediante una geocerca (Es decir, una cerca virtual o un perímetro alrededor de una ubicación física), la cual está definida por un radio de operación, como lo podemos observar en la siguiente figura (ver Fig. 5):

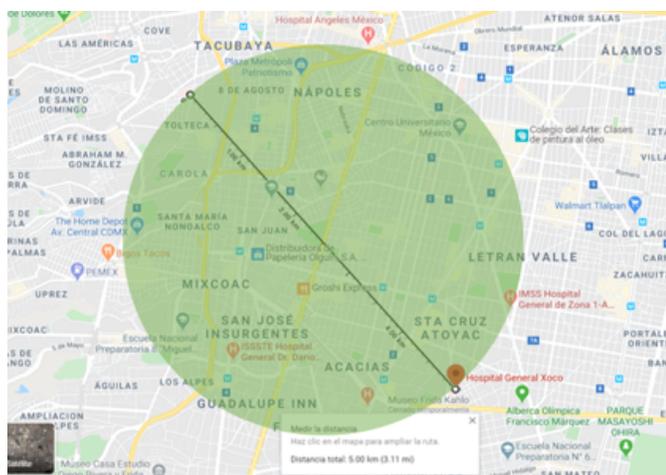


Fig. 5 Generación del radio de cobertura.

Definición de una geocerca dentro de la zona metropolitana en la Ciudad de México (Verde).

Con una base de datos externa alojada en Amazon Quick Sight, la cual cuenta con la ubicación geográfica de los Hospitales, Centros de Distribución (CEDIS), demanda de suministros y densidad de población (Esta base de datos cuenta con datos externos extraídos de Google Maps, Kaggle, Twitter y otras fuentes), y con la base de datos obtenida a partir de la página web, alimentamos el algoritmo KNN alojado en un Jupyter Notebook dentro de Amazon Sage Maker, ya que con los datos obtenidos, el algoritmo determina la posición de los distintos checkpoints haciendo una triangulación tomando en cuenta la zona, distancia, clima y disponibilidad de recursos, todo a nivel global, nacional o

local de manera automatizada, como lo podemos observar en la siguiente figura (ver Fig. 6):

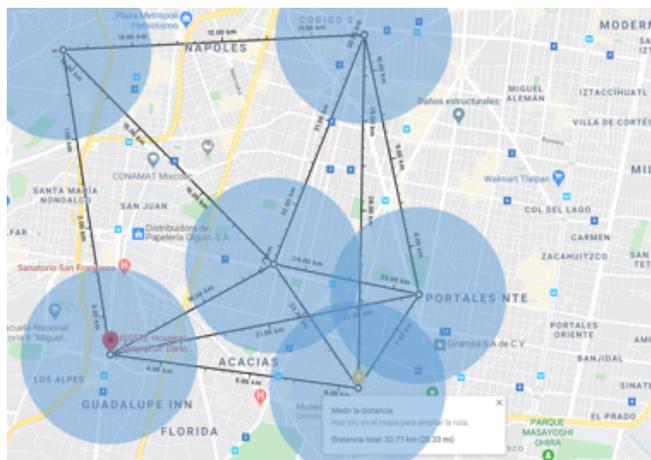


Fig. 6 Determinación de distancias entre los centros de distribución. Definición de los distintos puntos de entrega y sus geocercas (Azul).

Dependiendo de la ubicación geográfica en la que se situen, se establecerán factores como son la distancia entre puntos, presupuesto, mantenimiento y carga a transportar; dichos parámetros varían por zona y condiciones específicas de clima, tiempo, al igual que dependiendo de las capacidades del caso de estudio, podemos agregar variables como son capacidad de carga y descarga, tiempo de carga y descarga, tiempo de salida y llegada, por mencionar algunas.

Gracias a las consideraciones anteriores y dependiendo de la zona de cobertura a la cual están expuestos los vehículos, se generaron puntos de apoyo o *checkpoints* los cuales tienen como propósito mantener un monitoreo constante de la condición de los vehículos al igual que poder obtener una mayor visibilidad en la cadena de suministros (ver Fig. 7).

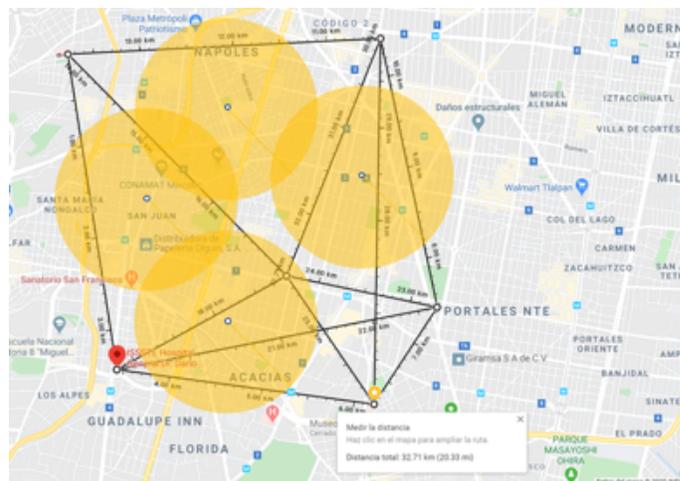


Fig. 7 Determinación de checkpoints. Definición de los distintos puntos de monitoreo o checkpoints y sus geocercas (Amarillo).

Es importante mencionar que durante esta etapa, implementamos el servicio de *Amazon Forecast* donde se puede predecir el comportamiento de la logística de distribución, ayudando a prevenir y planear con mayor facilidad la cantidad de recursos que serán requeridos en ciertas zonas, tener un mejor manejo de inventario, aprovechar recursos disponibles y mejorar la eficiencia del servicio, reduciendo significativamente costos de inventario (*ver Anexo 3*).

Finalmente, teniendo todos los parámetros y operaciones previamente realizadas, obtenemos como resultado una zona geográfica mapeada (*ver Fig. 8*) donde es posible trazar la ruta óptima con consideraciones como lo son logística inversa y teniendo una mayor visibilidad dentro del proceso, garantizando el control y monitoreo adecuado.

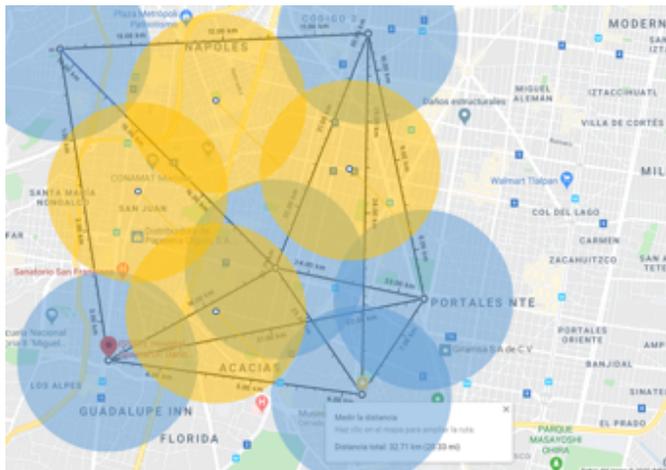


Fig. 8 Zona geográfica mapeada.

Zona geográfica donde se encuentran los centros de distribución.

Definición de los distintos puntos de entrega y sus geocercas (Azul), las distancias entre ellos (Negro) y los distintos puntos de monitoreo o checkpoints y sus geocercas (Amarillo).

C. Comunicación interna y Ciberseguridad.

Se utilizaron los servicios de *Amazon Core* para poder implementar la comunicación a la nube de dispositivos, es decir, poder comunicarle a nuestro vehículo toda la información requerida para que este pueda realizar correctamente las entregas. Debido a que es imperativo salvaguardar la información de la carga y los datos personales que estos puedan contener, implementamos los servicios de *Amazon Defender*. Este servicio es el responsable de la encriptación de datos para proporcionarnos seguridad, además de cumplir con las normas y políticas de privacidad de datos.

Por último, para poder realizar las entregas con distintos drones y así poder cubrir correctamente las demandas de entrega en una zona geográfica específica, utilizamos los servicios de *Amazon Events* y *Amazon Green Grass*, con ellos estableceremos la comunicación interna entre los vehículos

para poder generar la red de distribución adecuada, cubriendo por completo la zona de cobertura (*ver Fig. 8*), así como para poder cuidar la integridad de los vehículos, sabiendo su posición exacta y dar una mayor visibilidad en la cadena de suministros cumpliendo con ello una de las necesidades de los clientes 5.0.

VI. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Tomando en cuenta las metas de los objetivos de desarrollo sostenible [11], específicamente el objetivo 9 y citando la meta 9.1 “Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas...” [12], nuestro proyecto de sistemas inteligentes en cadenas de suministros abre un panorama distinto con una visión completamente equitativa y una sana competencia en los mercados debido a sus alcances, generando una expectativa de trabajo en países en vías de desarrollo, con oportunidades para profundizar en temas de industria 4.0.

Para poder cumplir esta meta, es necesario implementar el modelo primordialmente en PYMES y con ello generar competencia directa con los grandes corporativos por los mercados.

VII. CONCLUSIÓN

La implementación de sistemas inteligentes con modelos de machine learning aplicados en vehículos aéreos no tripulados para su uso en la cadena de suministros, garantiza estabilidad, rapidez, seguridad sanitaria y mejor enfoque a casos de emergencia, ya que puede ser útil en cualquier periodo de crisis y asegura la dotación de suministros pues, como pudimos observar en el modelo mostrado en este artículo, se cuenta con la capacidad tecnológica necesaria para cubrir el proceso de entrega dentro de cualquier cadena de suministros que requieran de distintos niveles de exigencia y una alta capacidad de respuesta (*ver Anexo 4 -5*).

De igual manera se observa que por su estructura el algoritmo no sufriría de variaciones en su configuración, se puede aplicar este mismo proceso para cada país, por lo tanto, es posible utilizarlo en cualquier ubicación geográfica y su única variable sería el radio de cobertura, es decir, que los puntos de geolocalización de los diversos checkpoints varían conforme al área de estudio y dependen de la distancia donde se encuentran los puntos de entrega, generando así la ruta óptima para el vehículo aéreo no tripulado.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al M.I. Neftalí Elorza López, Académico y líder del grupo Mecatrónico *Wayaks Team UNAM* quien ha dado apoyo y asesoría para poder desarrollar el modelo y el sistema de inteligente para la aplicación en vehículos aéreos no tripulados.

A la División de Ingeniería Mecánica e Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al grupo *Mechathronic Research Group (MRG)* que por medio del Dr. Víctor Javier González Villela ha permitido el uso de sus espacios para desarrollar el proyecto.

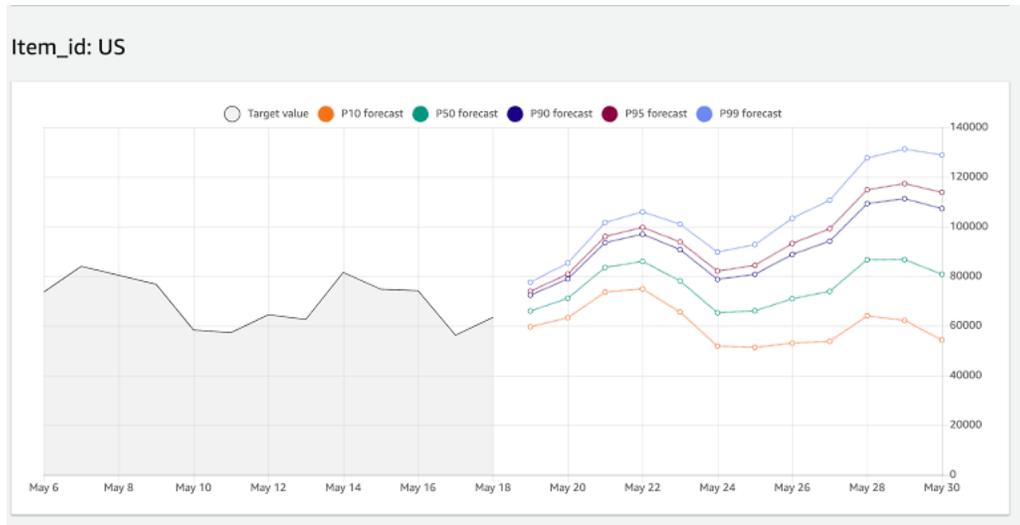
A la Jefatura de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Estudios Superiores Aragón (UNAM) y al M.I. Fernando Macedo Chagolla por su apoyo y conocimiento dentro de la presente investigación.

Se agradece a Amazon Web Services (AWS) por el uso de sus servicios en la nube, así como su disposición para la asesoría en tema de cloud computing.

REFERENCIAS

- [1] ¿Qué es la Industria 4.0?, Deloitte Spain. <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>
- [2] Transformación digital en la empresa. KPMG. <https://home.kpmg/mx/es/home/campaigns/2021/07/transformacion-digital-en-la-empresa.html>
- [3] A. Tundidor, E. Hernández, C. Peña, J. Martínez, J. Campos and C. Hernández, (2018). Cadena de suministro 4.0 (1.a ed.). Marge Books.
- [4] S. J. Russell, P. Norvig and E. Davis, (2010). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Prentice Hall.
- [5] ¿Qué es el Internet de las cosas? (s. f.). <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iiot>
- [6] What is cloud computing? - Overview of Amazon Web Services. (s. f.). <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/aws-overview/what-is-cloud-computing.html>
- [7] K. Kumar and P. J. Davim, (2020). Supply Chain Intelligence: Application and Optimization (2020 ed.). Springer.
- [8] M. Klumpp and C. Ruiner, (2021). Digital Supply Chains and the Human Factor (Lecture Notes in Logistics) (English Edition) (1st ed. 2021). Springer.
- [9] Fornos, G. (2020, 13 octubre). COVID-19: Un desafío para las cadenas de suministro. KPMG Tendencias. <https://www.tendencias.kpmg.es/2020/03/covid-19-cadenas-de-suministro/>
- [10] J.A. Marco, (2021). Logística 5.0 (1ra ed.). LID.
- [11] Objetivo de Desarrollo Sostenible, ONU <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [12] Objetivo de Desarrollo Sostenible, ONU <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/infraestructuras/>

Anexo 3. Comportamiento de la demanda de suministros en Amazon Forecast



Anexo 4. Nivel de confianza con el Modelo KNN

```

1  from sklearn import neighbors
2  from sklearn.metrics import mean_squared_error
3  from math import sqrt
4  import matplotlib.pyplot as plt
5  %matplotlib inline
6
7  rmse_val = [] #para almacenar valores rmse para diferentes k
8  for K in range(20):
9      K = K+1
10     model = neighbors.KNeighborsRegressor(n_neighbors = K)
11
12     model.fit(X_train, y_train)
13     pred=model.predict(X_test) #hacer predicciones en el equipo de prueba
14     error = sqrt(mean_squared_error(y_test,pred))
15     rmse_val.append(error)
16     print('Valor de RMSE para k= ', K , 'es:', error)

```

```

Valor de RMSE para k= 1 es: 0.041987590302189
Valor de RMSE para k= 2 es: 0.043893746229293366
Valor de RMSE para k= 3 es: 0.04413217137392103
Valor de RMSE para k= 4 es: 0.044499205812994075
Valor de RMSE para k= 5 es: 0.04963981484099478
Valor de RMSE para k= 6 es: 0.05513984506718987
Valor de RMSE para k= 7 es: 0.056741363195041326
Valor de RMSE para k= 8 es: 0.0588134128310622
Valor de RMSE para k= 9 es: 0.061438239814356164
Valor de RMSE para k= 10 es: 0.0640126353819367
Valor de RMSE para k= 11 es: 0.06556322438101954
Valor de RMSE para k= 12 es: 0.06664063697083061
Valor de RMSE para k= 13 es: 0.06755531706044282
Valor de RMSE para k= 14 es: 0.06809091908501372
Valor de RMSE para k= 15 es: 0.06865354682337008
Valor de RMSE para k= 16 es: 0.06942620033244376
Valor de RMSE para k= 17 es: 0.06916485144580367
Valor de RMSE para k= 18 es: 0.06977129158848
Valor de RMSE para k= 19 es: 0.07004984249526093
Valor de RMSE para k= 20 es: 0.07028824377888074

```

Anexo 5. Gráfica de Error del Modelo KNN

```
1 plt.style.use('ggplot')
2
3 plt.figure(figsize=(15,6))
4 plt.plot(rmse_val ,color="blue", linestyle="dashed", marker="o", markerfacecolor="red", markersize=10)
5 plt.title('RMSE vs. K Value', size=20)
6 plt.xlabel('K')
7 plt.ylabel('Error Rate')
```

