



ASOCIACIÓN MEXICANA DE LOGÍSTICA
Y CADENA DE SUMINISTRO A.C

INTELIGENCIA COLECTIVA EN LOGÍSTICA

Investigación, innovación y tecnología
para un mundo sostenible

EDITORES

Miguel Gastón **Cedillo Campos**
María Paz **Acosta Quintana**
Ernesto Alonso **Lagarda Leyva**
Jonathan **Cuevas Ortuño**
Alfredo **Bueno Solano**

ITSON
UNIVERSIDAD



MéxicoLogístico[®]

Asociación Mexicana de Logística & Cadena de Suministro, A.C.

Asociación Mexicana de Logística y
Cadena de Suministro A.C

<http://aml.org.mx/>

Instituto Tecnológico de Sonora
Calle 5 de febrero #818 sur, colonia centro; C.P. 8 5000
Ciudad Obregón Sonora

www.itson.edu.mx

[EDITORES]

Miguel Gastón Cedillo Campos
María Paz Acosta Quintana
Jonathan Cuevas Ortuño
Ernesto Lagarda Leyva
Alfredo Bueno Solano

[DISEÑO EDITORIAL]

Ana Karen Bustamante Cano

[GESTIÓN EDITORIAL]

Oficina de Publicaciones ITSON
Marisol Cota Reyes

ISBN electrónico 978-607-609-216-3
PRIMERA EDICIÓN

[COMITÉ TÉCNICO REVISOR]

Miguel Gastón **CEDILLO CAMPOS**
Presidente del Comité Científico

Maria Paz **ACOSTA QUINTANA**
Instituto Tecnológico de Sonora

Alberto Alfonso **AGUILAR LASSERRE**
Instituto Tecnológico de Orizaba

Ricardo **ARREDONDO**
Instituto Mexicano del Transporte

Pilar **ARROYO**
Tecnológico de Monterrey

Roberto **BAEZA**
Universidad de Guanajuato

Lorena **BEARZOTTI**
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Alfredo **BUENO SOLANO**
Instituto Tecnológico de Sonora

Agustín **BUSTOS**
Instituto Mexicano del Transporte

Roberto **BAEZA**
Universidad de Guanajuato

Gabriela **CRUZ**
Instituto Mexicano del Transporte

José Fernando **CAMACHO VALLEJO**
Universidad Autónoma de Nuevo León

Leopoldo **CÁRDENAS**
Tecnológico de Monterrey

Salvatore **CANNELLA**
Università degli Studi di Catania

Elizabeth **DE LA TORRE**
Instituto Mexicano del Transporte

Héctor **FIGUEROA**
Universidad Politecnica Metropolitana de Hidalgo

Mayra **ELIZONDO**
Universidad Nacional Autónoma de México

Rosa Guadalupe **GONZÁLEZ RAMÍREZ**
Universidad de Los Andes

David Salvador **GONZÁLEZ**
COMIMSA – CONACYT

Alejandra **GÓMEZ PADILLA**
Universidad de Guadalajara

Gabriela **GARCÍA**
Instituto Mexicano del Transporte

Arturo **HERNÁNDEZ AGUIRRE**
Centro de Investigación en Matemáticas

José Elías **JIMÉNEZ SÁNCHEZ**
Instituto Mexicano del Transporte

José Alfredo **JIMÉNEZ GARCÍA**
Instituto Tecnológico de Celaya

Ernesto **LAGARDA LEYVA**
Instituto Tecnológico de Sonora

Ernesto **LIÑAN**
Universidad Autónoma de Coahuila

María Pilar **LAMBÁN**
Universidad de Zaragoza

Giovanni **LIZARRAGA**
Universidad Autónoma de Nuevo León

Mónica **LÓPEZ CAMPOS**
Universidad Técnica Federico Santa María

Igor **LITVINCHEV**
Universidad Autónoma de Nuevo León

Eric **MORENO QUINTERO**
Instituto Mexicano del Transporte

Luis Antonio **MONCAYO MARTINEZ**
Instituto Tecnológico Autónomo de México

[COMITÉ TÉCNICO REVISOR]

César Jaime **MONTIEL MOCTEZUMA**
Instituto Mexicano del Transporte

Miguel **MATA**
Universidad Autónoma de Nuevo León

Miguel Antonio **MUJICA**
Amsterdam University of Applied Sciences

Jaime **MORA VARGAS**
Tecnológico de Monterrey

Abraham **MENDOZA**
Universidad Panamericana

Juan José **MÉNDEZ PALACIOS**
Instituto Tecnológico Nacional de México, Querétaro

Carlos Alberto **OCHOA ZEZATTI**
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Edith Lucero **OZUNA ESPINOSA**
Universidad Autónoma de Nuevo León

Carlos **PÉREZ GONZÁLEZ**
Instituto Mexicano del Transporte

Gabriel **PÉREZ SALAS**
CEPAL - Naciones Unidas

María Del Rosario **PÉREZ SALAZAR**
Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca

Jared **PIÑA**
Instituto Mexicano del Transporte

Adrian **RAMIREZ NAFARRATE**
Universidad Panamericana

Angel **RUIZ**
Universidad de Laval

Jorge Alberto **RUIZ VANOYE**
Universidad Autónoma del Carmen

Jania **SAUCEDO**
Universidad Autónoma de Nuevo León

Jons **SÁNCHEZ**
Universidad Autónoma de Querétaro

Benito **SÁNCHEZ LARA**
Universidad Nacional Autónoma de México

Tomas Eloy **SALAS FIERRO**
Universidad Autónoma de Nuevo León

Neale **SMITH**
Tecnológico de Monterrey

Raúl **SOTO PEREDO**
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Ricardo **TORRES**
Universidad Nacional Autónoma de México

Leopoldo **TAPIA**
Instituto Tecnológico Nacional de México, León II

Manuel **VELARDE**
Instituto Tecnológico de Sonora

Juan **VILLA**
Texas A&M University

Javier **VALENCIA**
Universidad Autónoma de Yucatán

Bernardo **VILLARREAL**
Universidad de Monterrey

Jonás **VELASCO**
Centro de Investigación en Matemáticas

Catya **ZUÑIGA**
Amsterdam University of Applied Sciences

[CONTENIDO]

Capítulo 1.

RETOS LOGÍSTICOS

San Diego-Tijuana border crossing queue system re- design: An initial simulation study for improving social and environmental objectives.	9
IMT: RPAS autónomo para transporte y logística.	17
La logística ante el marco de innovación tecnológica de la industria.	27
Tendencias g-locales de la logística en los programas de postgrado en el mundo.	37

Capítulo 2.

AGROLOGÍSTICA

Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística: soluciones aplicadas en el sector agroalimentario en el sur de Sonora.	49
Mejoramiento en el proceso de distribución de alimento para ganado bovino utilizando el algoritmo de Dijkstra.	58
Protected agriculture before climatic vulnerability in the agricultural supply chain: Review of the literature.	67
Implementación de herramientas Lean Manufacturing en los procesos de preparación y distribución de alimento para ganado bovino.	81

Capítulo 3.

LOGÍSTICA AUTOMOTRIZ

Selección de Proveedores en la Industria Automotriz para nuevas licitaciones de Activo usando el Método de Borda Count.	94
Evaluación de la pérdida económica de Taguchi de la política de inventario en una empresa automotriz.	102
Análisis del efecto látigo en la cadena de suministro del sector automotriz: a partir de dinámica de sistemas.	111

[CONTENIDO]

Capítulo 4.

LOGÍSTICA EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

A genetic algorithm to solve a three-echelon capacitated location problem for disaster relief in Mexico City.	122
Ubicación de albergues para eventos hidro-meteorológicos en México: caso de estudio.	130
Logística humanitaria: Elementos clave y propuesta del uso de herramientas lean para facilitar la gestión de almacenamiento de insumos.	139
Evaluation of New Objective Functions to Simulate Supply Chain Performance Under Disruptions with Cellular Automata.	157
Revisión de los factores de decisión de la gente ante evacuaciones por eventos de desastres y su relación con las acciones de Logística Humanitaria.	167

Capítulo 5.

INNOVACIÓN METODOLÓGICA

How is the process to quantify qualitative information? an approach to reduce pairwise comparisons for supply chain problems.	177
Application of different metaheuristics in the solution of the problem of the traveling agent.	187
Comparación de la red neuronal perceptron multicapa y red neuronal de base radial: modelo de predicción y clasificación.	203
Propuesta para el diseño conceptual de cadenas de suministro sustentables mediante un procedimiento de modelación y validación.	216
Diseño y desarrollo de una red neuronal multicapa para pronosticar las emisiones de CO ₂ de la empresa RaSa.	230
Un modelo p-mediana modificado para optimizar la ubicación de instalaciones considerando la planta matriz.	240
La función de pérdida como indicador de aprendizaje de una red neuronal multicapa.	248
Distribución detallista de mercancías de consumo de rápido movimiento: caracterización de una unidad de análisis.	257

[CONTENIDO]

Capítulo 6.

COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

Desarrollo de una red multicapa en una PyME del sur de Guanajuato.	270
Desarrollo de una herramienta para la planeación y automatización de cortes en la producción para cumplir las necesidades de una empresa.	280
Integración de la función de pérdida al control estadístico de procesos: Caso de estudio en el sector textil.	291
Proceso de implementación y supervisión de un modelo de control del riesgo operativo para una SOFIPO enmarcado en la metodología COSO.	300
Sistema de inventarios para productos perecederos en una tienda mayorista con demanda variable.	313
Procedimiento para determinar la cantidad óptima de contadores cíclicos en un centro de distribución utilizando estudio de tiempos y movimientos.	323
Análisis del servicio de un nodo público con enfoque de función de pérdida.	333
Determinación del número y capacidad óptimos de carros materialistas para una celda de manufactura utilizando algoritmos genéticos de múltiples objetivos.	343

EPÍLOGO

Miguel Gastón Cedillo Campos. Asociación Mexicana de Logística y Cadena de Suministro, A.C.	357
--	-----



1. RETOS LOGÍSTICOS

- San Diego-Tijuana border crossing queue system re-design: An initial simulation study for improving social and environmental objectives.
- IMT: RPAS autónomo para transporte y logística.
- La logística ante el marco de innovación tecnológica de la industria
- Tendencias g-locales de la logística en los programas de postgrado en el mundo

San Diego-Tijuana border crossing queue system re-design. An initial simulation study for improving social and environmental objectives

Marco A. Miranda-Ackerman,
Mydory O. Nakasima-López and Karina C. Arredondo-Soto
Faculty of Chemical Sciences and Engineering Autonomous
University of Baja California, UABC Tijuana, Mexico
miranda.marco@uabc.edu.mx

Abstract— Mexico and the United States have many vehicular crossings along the border. Each is unique, yet the Tijuana-San Diego border is characterized in part by: long waiting times, inconsistent services time, random closure of server, unpredictable arrivals, irregular geometry of line area, line splitting, long lines, continues movement (start-and-stop), unrestricted jockeying, limited balking and renegeing, limited or un-existing real-time information and decision support, different categories of restricted access lines (preferential lines). By functioning under these system's attributes many negative outcomes arise. Lines can reach over 200 vehicles per line, with more than 25 lines. Each automobile is continuously emitting and wasting fuel in idle and acceleration states (continues stop-and-go) over each service cycle. Line jockeying demands a stressful awareness of line movement for users in each vehicle in order to avoid line cutting and collisions. This stressful situation lasts up to, in extreme cases, 5 hours (waiting period) culminating in a revision of documents that can possibly extends to a second stressful revision outside of the queue system. In order to study this system a simulation modeling approach is used. Direct sampling of key time measurements were made to approach verisimilitude of the queue system. This paper proposes a re- design strategy based on batching the waiting period in order to minimize air-pollution emissions and fuel consumption. The strategy proposal hints at a 75% improvement in both emissions and fuel consumption by reducing the number of times a vehicle has to advance during the queue. The strategy too helps the driver crossing the border; by limiting the time they must be aware of their surroundings reducing some of the stress accumulated during waiting. The proposed re-design suggest at the possibility to improve the overall performance of the San Ysidro Border Crossing without requiring changes to the protocols and policies put in place by the US government.

Keywords—road congestion; international border crossing; emissions; road stress; automobile fuel consumption; queue systems theory; simulation.

I. INTRODUCTION

Automobiles are a source of contamination, use resources such as land and energy, are costly, sources of stress and time investment; in exchange for this mobility is attained [1]. Road infrastructure is designed to allow people to arrive to their work, businesses, places of leisure, schools, hospitals and homes. In the case of international border cities, this is to say, cities that are adjacent to other cities in a different country, communications between cities naturally follow the same use.

The Mexico-US border, limits road infrastructure through a physical barrier and entry lanes, known as the International Ports of Entry and border crossings. These consist of an inspection process. Northbound inspections, meaning inspections for automobiles that want to enter the US, are inspected by US authorities. After the 9-11 attacks border crossing inspection has become stricter. Long waiting time and queues have become a normal phenomenon.

In the case of the San Ysidro Port of Entry, that connects the cities of Tijuana and San Diego, one of the busiest ports of entry in the world, queues have become a nuisance. Given the layout, arrival rate, service rate, and policies put in place, long waiting time and queue lengths have high cost to the communities that cross the border and those who do not [2].

Automobile drivers that cross the border, have to invest many hours due to long waiting periods. Each hour has a monetary cost to the driver that could spend his or her time on a more productive activity. Fuel is consumed during idling¹ and stop-and-go movements of cars due to the possibility of jockeying/line-switching behavior and heterogeneous service rates between and within queues. This also contributes to stress due to awareness the queue demands of each customer due to attention placed on the adjacent queues during most of the waiting process [3].

¹ Vehicle idling occurs when the vehicle engine is running yet is not engaged with the transmission through the use of a clutch or neutral drive state.

The population that does not use the border are also affected by the queue system, given that the border crossing queue frequently reaches roadways that are not part of the designed queues. Interrupting normal flow and causing congestion especially during peak hours.

Indeed, there are strategies that can be evaluated to improve queue system performance. This paper will focus on one, batching, that will be defined and developed in the following sections. The strategy focuses on stress related to cognitive tension, fuel consumption due to idling and advancing, and environmental impact due to emission from the vehicals. In the discussion section a set of studies to evaluate other opportunities for improvement that are underway are introduced.

Studies on border crossings have been done. Some have focused on using microsimulation and discrete event simulation to study and optimize port of entry parameters [4– 8]. Some studies have used other techniques or have combined different techniques in order to evaluate environmental impact performance [9–12].

The paper follows the interest and approaches developed by the mentioned studies, yet it extends the improvement strategy by proposing a queue system change restricted to not affect current border crossing procedures and by taking into account the well being of the vehicle conductor due to stress avoidance.

II. PROBLEM DEFINITION

A. Current border crossing queue system

The northbound San Ysidro Border Crossing (SYBC) is characterized by the following parameters:

- It allows for line jockeying along the queue.
- Only in the final stage (approximately 6 vehicles prior to border crossing gate/toll) is line jockeying restricted.
- Border patrol agents (Servers) take in one traveler vehicle (customer) at a time.
- Discipline is FIFO (First In, First Out).

- There are 26 servers. These are classified by risk assessed by the border agents. The classification is made in 3 categories: Senti lane (Trusted Traveler program restricted queue), Ready Lane (Department of Homeland approved or specially enabled vehicles restricted queue), and General Traffic for all cases with proper paperwork. General Traffic queue is the study subject of this paper.

order to change a queue or network of queues performance. One such strategy is to batch customers. One way this can be done is by dividing a queue into two queues. In Figure 2, we see case A and B.



Figure 1. SYBC areal view
Source: Bing Maps

B. Awareness and fuel consumption

During the queue vehicles continuously are turned on in idle state. Each service cycle they advance acceleration occurs during the length of the vehicle entering the service station. During the waiting period in the queue customers must remain aware of their surrounding in order to avoid jockeying customers entering their queue and possible collisions, and advancing in order to avoid stressful signals (i.e. honking) from other customers, that due to social norm, how do not allow for buffers between cars. Given that the cars are tuned on in idle state, they do not consume a significant amount of fuel in relation to trajectories. Yet, given that thousands of cars pass through the SYBC each day, it is quite significant in the aggregate. Furthermore, air pollution directly as emissions from the car and indirectly from the life cycle of vehicle use crossing the border is also important in this sense.

C. Optimization model

Queue theory describes many different tools and practices that can be combined and arranged in

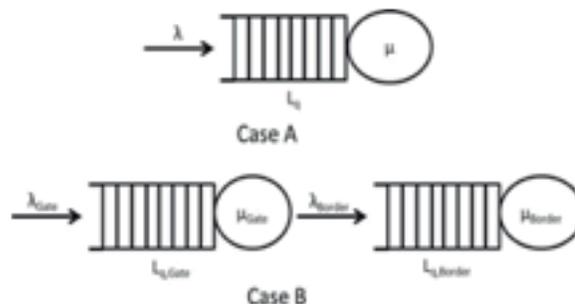


Figure 2. Queue model of the current subsystem and the proposed change

Case A is a model of a single line in the General Traffic queue group from the SYBC queue system. It has an arrival rate of λ a queue length of L_q and service time of μ . While Case B a model of a proposal is presented; it consists of dividing the in two segments in order to batch customers. The first section has an arrival rate of λ_{Gate} a queue length of $L_{q, Gate}$ and service time of μ_{Gate} , and a second section made of a distanced queue with an arrival rate of λ_{Border} a queue length of $L_{q, Border}$ and service time of μ_{Border} . Batch Sized (BS) are defined by a queue length limit (1). The queue at the border can be in two states idle or in use. While μ_{Gate} is subject to the $L_{q, Border}$ changing to state *idle* (2).

$$1 < L_{q, Border} < BS \text{ for server state in use} \quad (1)$$

$$L_{q, Border} = 0 \text{ for server state idle} \quad (2)$$

If Border queue is idle, than Gate opens and allows $BS + 1$ vehicle to arrive at queue system. This means that $L_{q, Gate}$ will on average be idle for the $BS * \mu_{Border}$. Average service time.

III. METHODS

Discrete Event Simulation (DES) is used to model these two simplified queue systems representing a waiting line in the General Traffic lane at the SYBC. By using DES we can evaluate “what if” scenarios that may provide insight on the effects the proposal

can have on some of the key attributes that are important to customers, specifically stress during wait, cost and environmental impact.

A. Data Collection

Data was collected on the 2nd of May, 2019. Data points included service time at gate 20 from the General Traffic service line at the SYBC, 112 service time where collected. 55 data point where collected for inter-arrival time, for same waiting line. Noting that jockeying during queue was not captured and is not considered for simplicity.

B. Data Analysis

Plotting the data point in histogram form against theoretical density distributions “Exponential, Gamma and LogNormal” (Figure 3), we see a similarity pattern in distribution of data. In order to define the best fit a Goodness-of-Fit test is performed using three statistics Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von-Mises and Anderson-Darling using fitdistrplus library running on R open source software (Table 1).

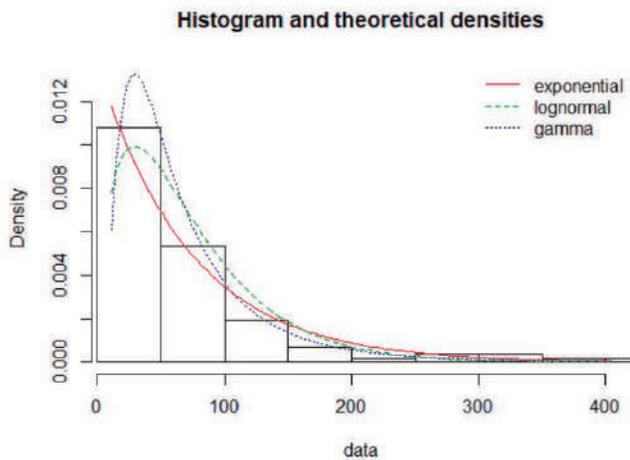


Figure 3. Service time data behavior comparison of the data point against theoretical densities

Based on the Goodness-of-Fit statistics the LogNormal theoretical distribution has the best fit for the data collected related to service time.

Using the same procedure for the inter-arrival time we obtain Figure 4 plot, with a similar outcome. This is to say, the three theoretical densities seem to

approximately describe the data’s behavior related to the inter-arrival time (see Table 2).

Table 1. Goodness of fit test for service time data

Goodness-of-Fit statistics	Table Column Head		
	Exponential	Gamma	LogNormal
Kolmogorov-Smirnov	0.1708383	0.1283019	0.08019974
Cramer-von Mises	0.7003909	0.4156915	0.10726277
Anderson-Darling	4.7060769	2.6077093	0.690019

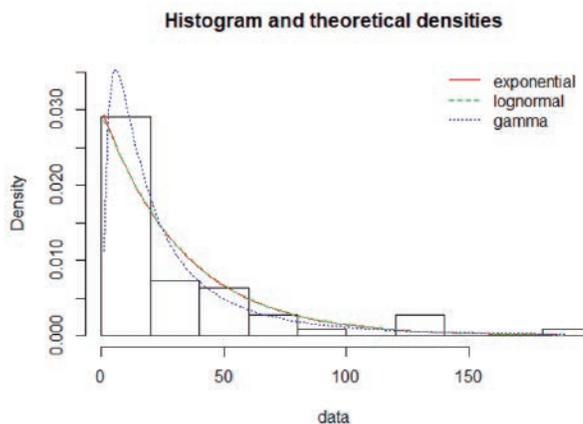


Figure 4. Inter-arrival time data behavior comparison of the data point against theoretical densities

Table 2. Goodness of fit test for inter-arrival time data

Goodness-of-Fit statistics	CDF		
	Exponential	Gamma	LogNormal
Kolmogorov-Smirnov	0.1499106	0.151991	0.08777296
Cramer-von Mises	0.2109057	0.2166413	0.05194021
Anderson-Darling	1.1324232	1.1532474	0.29767996

C. Simulation model

The model represents a single line of the General Traffic Service at the San Ysidro Port of Entry for non commercial vehicles northbound, this is to say,

from Tijuana, Baja California, Mexico to San Ysidro, California, USA.

The two waiting line configurations are based on Case A and B described in the previews sections of this paper. The development of the model, and the execution of the "what if" experiment was carried out with the support of PROMODEL ® commercial simulation software.

Case A consists of a classic waiting line with continuous flow, it should be noted that it is currently used in this Port of Entry. Its operation is as follows: the user enters from the entry to the line where the decision rule for their exit and entry to the server has been configured as FIFO. A capacity of 80 cars was defined arbitrarily in order to simulate a finite queue length. This simulates the fact that the border line has limited capacity before it interrupts adjacent streets and freeways. Based on the time measured in the field, the average times estimated for the arrival in the waiting line was 0.59 min and the service time for the server was 1.21 min.

Case B represents a variation with respect to what is detailed in the first, based on the following: in the first instance, the waiting line is no longer continuous but has been segmented into two waiting lines.

The segment closest to the server, has a capacity of 20 cars, this is to say BS variable, and only new arrivals will enter this segment once it has been emptied. The first segment (closest to the entrance) has a capacity for 60 cars, which will be waiting, the most important change is that the cars in this segment of the waiting line have the option to turn of the vehicles engine for the duration of the 20 car waiting line portion. The arrival times and service time is considered identical to Case A. This is done in order to contrast the current configuration against a simple change.

The execution of the simulation was performed for a simulated period of 24 hours of operation in order to obtain some basic statistics and key measurements.

The results obtained are shown in Table 3:

Table 3. Indicators with results of the simulation executed for two scenarios

INDICATORS	CASE A	CASE B
Total car exiting	1192	895
Average time in system (min)	93.28	109.08
Average time <u>in operation</u> (min)	33.99	34.03
Average time waiting (min)	57.59	69.90
Total entries to the server	1193	896
Average time per entries to the server (min)	1.18	1.22
Average contents on the server	0.98	0.76
% utilization on the server	97.72	75.79
Total entries to the waiting line		
Segment 1	1273	-
Segment 2	-	968
Average time per entries to the waiting line (min)		
Segment 1	88.60	-
Segment 2	-	83.00
Average contents in the waiting line		
Segment 1	78.33	-
Segment 2	-	55.79
% utilization in the waiting line		
Segment 1	97.91	-
Segment 2	-	92.99
	-	62.47

Simulation runs confirm that there is an increment in average waiting time and a decrease in the number of cars in the same time lapse that are serviced in the proposed design (Case B), this was expected. Yet, relative to other key performance indicators, this is a small price to pay, as we will see next.

IV. RESULTS

A. Performance indicators

The main performance indicators this paper is interested in and limits its scope are: awareness time, fuel consumption and environmental emission. This is due to limitation in redesigning under the constraint of a very rigid stance on border security policies the US government has implemented. By focusing on other important issues different design on those that can be proposed with little or no effect and current security protocols strategies can be useful for customer without much change to the overall system, especially in relation to security issues.

In order to evaluate theses performance indicators a study by [13] was used to make an approximate estimation on emissions and fuel consumption.

Although other studies have focused on better -geographic resolution- case studies [9, 10, 12], the format and data provided by [13] is best suited to illustrate the impact of the re-design proposal. It studied the emissions from a series of gas powered vehicles measuring emissions and fuel consumption. The findings have been adapted in Table 4, where Type 1 cars are passenger cars, and Type 2 are, in the [13] case, gas powered vans. For our study these results are used as proxies Type 1 for passenger vehicles and small trucks and SUVs, and Type 2 for large passenger vehicles and large trucks.

Table 4. Emissions and fuel consumption based on vehical type and driving mode (adapted from [13])

	Driving Mode	Modal Emission Rate (mg/sec)			Fuel Consumption (mg/sec)
		CO	HC	NOx	
Type 1 (Passenger Car)	Acceleration	9.54	0.69	0.62	62.62
	Cruising	9.15	0.49	0.77	39.1
	Deceleration	9.96	0.58	0.69	28.11
	Idling	2.99	0.36	0.14	18.11
Type 2 (Gas powered van)	Acceleration	15.14	1.85	1.96	67.29
	Cruising	14.52	1.7	1.81	52.14
	Deceleration	17.3	1.91	2.33	52.16
	Idling	8.39	1.88	0.81	12.71

These estimations are used to approximate the emissions during the queuing process for Case A and B. In Table 5, we propose a state change profile in seconds of duration for each driving mode during a full cycle of vehicle advancement when server receives a customer. This is to say that every time the server is open vehicles have to advance one vehicle length.

Table 5. State change in Queue based on driving mode

Queue design state change times (sec)		Driving Mode				Hourly rate full cycle
		Idle	Acceleration	Cruising	Deceleration	
Case A	1	2	0	2	49.48	
	Case B	1	4	3	4	4.95

It means that for Case A driver require to be continuously be in an alert state given that they advance approximately 50 time per hour. While for Case B drivers can turn of their vehicles and remain on average inattentive for a little over 12

minutes at atime waiting for the 20 vehicles to be dispatched before advancing.

Table 6, presents the estimated emissions and fuel consumption at an hourly rate for Case A. It was developed using the information from Table 4 and the approximate cycle and stage change from Table 5. It provides an estimate of the emissions and fuel consumption given the vehicle type (1 and 2) previously defined. During the queue system sampling, vehicle models ware registered. Based on model registered an estimation of approximately 2/3 of the vehicles sampled in the waiting line where Type 1 vehicles; while approximately 1/3 were Type 2 vehicles.

Table 6. Case A emissions and fuel consumption estimation

Emissions & Consumption	Vehical type	% Type in queue	Driving Mode				Hourly rate
			Idle	Acceleration	Cruising	Deceleration	
CO (mg)	1	66.07	2.99	19.08	0	19.92	2077.86
	2	33.93	8.39	30.28	0	34.6	3625.73
HC (mg)	1	66.071	0.36	1.38	0	1.16	143.51
	2	33.929	1.88	3.7	0	3.82	465.15
NOx (mg)	1	66.071	0.14	1.24	0	1.38	136.58
	2	33.929	0.81	3.92	0	4.66	464.66
Fuel (mg)	1	66.071	18.11	125.24	0	56.22	9875.63
	2	33.929	12.71	134.58	0	104.32	12450.80

The same estimations were performed for Case B configuration and state change profile presented in Table 7.

Table 7. Case B emissions and fuel consumption estimation

Emissions & Consumption	Vehical type	% Type in queue	Driving Mode				Hourly rate
			Idle	Acceleration	Cruising	Deceleration	
CO (mg)	1	66.07	2.99	38.16	27.45	39.84	536.61
	2	33.93	8.39	60.56	43.56	69.2	899.18
HC (mg)	1	66.071	0.36	2.76	1.47	2.32	34.19
	2	33.929	1.88	7.4	5.1	7.64	108.96
NOx (mg)	1	66.071	0.14	2.48	2.31	2.76	38.05
	2	33.929	0.81	7.84	5.43	9.32	115.79
Fuel (mg)	1	66.071	18.11	250.48	117.3	112.44	2465.96
	2	33.929	12.71	269.16	156.42	208.64	3201.30

2 Although some motorcycles were documented crossing the border, they are not included in the study given their negligible arrival rate and queuing behavior, mainly jumping the line.

Firstly let us take a look at the last row of each table (Table VI and VII). Case A automobiles consume, in the aggregate for both types, approximately 22326 mg/hr of fuel, while Case B only consumes 5667 mg/hr. Now looking at emissions we see an approximate improvement of 75% reduction in emissions across the board.

Furthermore, this is assuming that Case B vehicles are not turned off during the long waiting period between “20 car served cycle” completions. If it would take place during the simulation and be considered in the analysis, these differences would be greater. This is to say the improvement is due to the number of times cars need to advance ignoring the possibility to shut engines off. Yet it must be clarified that the results presented are at an hourly rate, and that, given that the simulation was set with a 100 vehicle cap (instead of an infinite length), there is a possible reduction of cars that can be served. In the simulation this is roughly 25% less vehicles that are served. This may account for a portion of the reduction of gas use and emission in the proposal. It is also important to note that during some environmental states (e.g. high temperature) willingness to turn of engine may reduce the number of cars that are willing to shut off the engine. Nevertheless, a reduction due to longer idle states verses continues stop-and-go states would still improve fuel consumption and emissions.

V. CONCLUSIONS AND DISCUSSION

The San Ysidro Border Crossing is one of the most important and emblematic ports of entry from Mexico to the US. In 2018 it was crossed 14,505,306 by passenger vehicles totaling 25,182,134 passenger [14] to get a sense of the scale of its importance and impact any change to the system may have. Many human hours are spent each year in an alert state during the waiting line cycle in order to be serviced by border patrol agents. This is stressful in its self, yet it is compounded by a continuous state of alertness needed throughout the waiting process in order to avoid jockeying and collisions. Vehicles remain idle

with engines on during the full length of the wait, and advance going through driving mode changes that consume different amounts of fuel and emit different amounts of air pollutants.

By proposing a small change in the queue system design a potential 75% improvement in fuel consumption and air pollution reduction can be achieved. While reducing awareness during the waiting time from approximately 50 advancements per hour to roughly 5, and order of magnitude less awareness required.

Yet, other strategies provided by Queue Theory such as limiting jockeying, allowing for balking and renegeing have not yet been explored in the literature for this type of border crossing configuration. Stimulating the question of “what if” these strategies could be applied, and what effect would this have to environmental and human health for the community the border crossing serves?

Furthermore, data collection was limited in time and scope. It would be important to increase the sample size in order to capture the variation and seasonality of the arrival and service times, if any. The scope of data collection could also extend to evaluate driving modes and refine the advancement cycle time’s estimation. This paper is part of a continuous research effort to study and improve the wellbeing of the community that lives around and depends on having access to both sides of the border.

ACKNOWLEDGMENT

The team would like to thank the US border patrol agents that where open to being documented during data collection; as well as the Mexican Federal and Municipal Police for the valuable information shared during data collection and there interest in the welfare of the data collector.

REFERENCES

- [1] Shancita I, Masjuki HH, Kalam MA, et al. A review on idling reduction strategies to improve fuel economy and reduce exhaust emissions of transport vehicles. *Energy Conversion and Management* 2014; 88: 794–807.
- [2] Francois JF, Fox AK, Londoño-Kent M. Measuring border crossing costs and their impact on trade flows: The United States-Mexican trucking case. *GTAP resource*; 1282.
- [3] Nie W. Waiting: integrating social and psychological perspectives in operations management. *Omega* 2000; 28: 611–629.
- [4] Ashur S, Weissmann J, Perez S, et al. Traffic simulation at international ports of entry: El Paso-Mexico Case Study. *Transportation research record* 2001; 1763: 48–56.
- [5] Salgado D, Jolovic D, Aldrete RM, et al. Methodology for Microscopic Traffic Simulation Modelling of Land Port of Entries along the U.S.-Mexican Border: Ysleta – Zaragoza Land Port of Entry Case Study. *Procedia Computer Science* 2016; 83: 321–328.
- [6] (PDF) Traffic Microsimulation Models Assessment – A Case Study of International Port of Entry. ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/295549416_Traffic_Microsimulation_Models_Assessment_-_A_Case_Study_of_International_Port_of_Entry (accessed 5 April 2019).
- [7] Khoshons MK, Lim CC, Sayed T. Simulation and evaluation of international border crossing clearance systems: a Canadian case study. *Transportation research record* 2006; 1966: 1–9.
- [8] Opasanon S, Kitthamkesorn S. Border crossing design in light of the ASEAN Economic Community: Simulation based approach. *Transport Policy* 2016; 48: 1–12.
- [9] Quintana PJE, Khalighi M, Castillo Quiñones JE, et al. Traffic pollutants measured inside vehicles waiting in line at a major US- Mexico Port of Entry. *Sci Total Environ* 2018; 622–623: 236–243.
- [10] Kazimi C, Cuamea F, Alvarez J, et al. Emissions from heavy-duty trucks at the San Diego-Tijuana Border crossing. *Journal of Borderlands Studies* 1999; 14: 1–15.
- [11] Nakamichi K, Hanaoka S, Kawahara Y. Estimation of cost and CO2 emissions with a sustainable cross-border supply chain in the automobile industry: A case study of Thailand and neighboring countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2016; 43: 158–168.
- [12] Reyna J, Vadlamani S, Chester M, et al. Reducing emissions at land border crossings through queue reduction and expedited security processing. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2016; 49: 219–230.
- [13] Tong HY, Hung WT, Cheung CS. On-Road Motor Vehicle Emissions and Fuel Consumption in Urban Driving Conditions. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2000; 50: 543–554.
- [14] Border Crossing Entry Data | Department of Transportation - Data Portal. [Data.Transportation.gov, https://data.transportation.gov/Research-and-Statistics/Border-Crossing-Entry-Data/keg4-3bc2/data](https://data.transportation.gov/Research-and-Statistics/Border-Crossing-Entry-Data/keg4-3bc2/data) (accessed 16 May 2019).

IMT^x : RPAS autónomo para transporte y logística

Bernardo Hernández Sánchez
Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas
de Transporte y Logística
Instituto Mexicano del Transporte, IMT
Querétaro, México.
bernardo.hernandez@imt.mx

Miguel Gastón Cedillo Campos
Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas
de Transporte y Logística
Instituto Mexicano del Transporte, IMT
Querétaro, México
gaston.cedillo@imt.mx

Marisol Barrón Bastida
Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas
de Transporte y Logística
Instituto Mexicano del Transporte, IMT
Querétaro, México
mbarron@imt.mx

Resumen— Recientemente una prestigiosa firma estimó que la flota de drones industriales en Europa y Estados Unidos será de 50 billones para el año 2050, con la mayor parte del valor vinculado a los servicios y la recopilación de datos. La innovación y la tecnología en la industria son factores clave para aumentar la competitividad en los distintos procesos económicos. A ello se suma el uso cada vez más creciente de sistemas aéreos pilotados remotamente (RPAS), los cuales, aspiran a tener un impacto potencial por su amplia gama de aplicaciones en la industria. El producto liberado es un sistema completamente autónomo, funcional y por sus características es único en México. El principal objetivo de este trabajo es presentar los primeros resultados del sistema autónomo RPAS IMTx para el transporte de carga ligera y su aplicación en Transporte y Logística. El resto del documento se encuentra estructurado con una sección II, en la cual, se incluye la revisión de los antecedentes de distintos casos de uso en los que se han realizado aplicaciones con drones. En la sección III se describe a detalle la metodología propuesta para el alcance de los objetivos, así como la arquitectura propuesta y el resultado final de la integración tecnológica y sus componentes más importantes. En la sección IV se muestra el análisis y los resultados de pruebas de comportamiento, análisis de fallas y vibraciones. Finalmente, en la sección V se incluye un apartado para las conclusiones finales.

Palabras Clave—Tecnología; competitividad; sistemas autónomos; RPAS; algoritmos de visión computacional; inteligencia artificial; logística; transporte.

I. INTRODUCCIÓN

En un informe titulado “Drones Reporting for Work”, Goldman Sachs pronostica que la industria mundial de RPAS alcanzará los \$ 100 mil millones para 2020 [1]. La consultora Bussines Consulting Group (BCG), estima que la flota de drones industriales en Europa y Estados Unidos será de 50 billones para el año 2050, y más de 1 millón de unidades con la mayor parte del valor vinculado a los servicios de drones y la recopilación de datos [2].

La innovación y la tecnología en la industria son factores clave para aumentar la competitividad en los distintos procesos económicos [3]. A ello se suma el uso cada vez más creciente de sistemas aéreos pilotados remotamente (RPAS), también conocidos como drones, los cuales aspiran a tener un impacto potencial por su amplia y creciente gama de aplicaciones en la industria. Por otro lado, los RPAS también han demostrado su capacidad para acceder a lugares donde la intervención humana es riesgosa o imposible, otorgando la capacidad de observar, medir y actuar de una manera rápida y eficiente en diversas situaciones. Por ejemplo, en el sector de la minería, estos sistemas se usan para realizar prospecciones, mapeo de ubicaciones de depósito y exploración de minerales.

Otro ejemplo de aplicación es el proyecto de la asociación entre Softbank y AeroVironment para la implementación de conectividad 5G e “Internet de las cosas”, con el uso del dron Hawk 3.0 de alimentación solar [5].

En el contexto anterior, la originalidad de este artículo estriba en el proceso de desarrollo del modelo para la creación de una nueva aplicación tecnológica no existente en el mercado. El principal objetivo de este trabajo es presentar los primeros resultados del sistema autónomo RPAS IMT^x para el transporte de carga ligera y su aplicación en Transporte y Logística.

El resto del documento se encuentra estructurado de la siguiente manera:

En la sección II se incluye la revisión de los antecedentes de distintos casos de uso en los que se han realizado aplicaciones. En la sección III se describe a detalle la metodología propuesta para el alcance de los objetivos, así como la arquitectura propuesta y el resultado final de la integración tecnológica y sus componentes más importantes.

En la sección IV se muestra el análisis y los resultados de pruebas de comportamiento, análisis de fallas y vibraciones. Finalmente, en la sección V se incluye un apartado para las conclusiones finales.

II. ANTECEDENTES

Estamos viviendo una época en la que los drones tienen un crecimiento acelerado en el ámbito recreativo en el mundo, sin embargo, en este documento se abordan otros casos de uso, con otro tipo de aplicaciones.

El desarrollo en el sector tecnológico en diferentes países, ha permitido elevar su nivel competitivo a corto plazo. De acuerdo a un estudio realizado por el World Economic Forum, México presenta rezagos, ocupando la posición número 76 de 139 países evaluados, disminuyendo así el aprovechamiento de las oportunidades que ofrecen las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) [19].

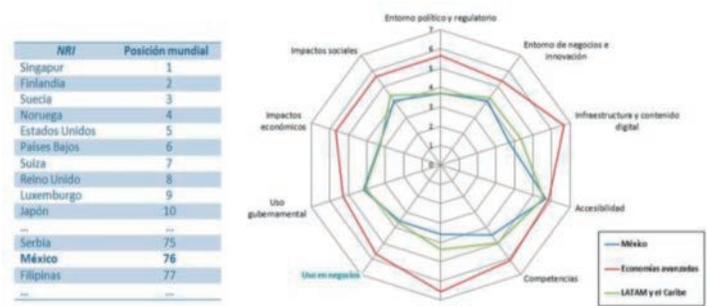


Figura 1. Uso de TIC con base al NRI, México vs el mundo. Fuente: Metodología para la incorporación de tecnologías en el autotransporte de carga [19]

En este contexto, a continuación se exponen los casos de uso humanitario, intralogística y de mensajería ligera aplicados.

A. Caso 1: Iniciativas humanitarias

En el ámbito humanitario, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), creó una iniciativa que apoya programas de educación para desarrollar habilidades para operar y mantener drones en Sierra Leona África. En este sentido, se están desarrollando pruebas con drones que mejoren la calidad de vida en la región, así como la eficiencia de los servicios en áreas de difícil acceso. Las pruebas realizadas están enfocadas en la entrega de suministros médicos y productos perecederos.



Figura 3. Suministros medicos Puerto Rico
Fuente: themobileglobe.com



Figura 2. Personal de UNICEF en el corredor de pruebas de drones humanitarios en Kasungu, Malawi, 2019
Fuente: <https://www.unicefusa.org/>

Otras aplicaciones importantes de los RPAS pueden estar enfocadas a los desastres de origen natural, por ejemplo: terremotos, inundaciones, desplazamientos de tierras y la inspección de daños en carreteras. Así mismo, se pueden rastrear zonas de difícil acceso para ubicar e identificar a personas desaparecidas, o bien, ubicar posibles rutas que sean seguras en caso de una evacuación.

Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) también realiza actividades con drones en ciudades como Rwanda, República del Congo, para transporte de órganos humanos y suministro de medicamentos en zonas remotas. En otras regiones se aprovechan las capacidades de captura aérea para identificar zonas dañadas o de riesgo en zonas silvestres.

B. Caso 2: Intralogística

La intralogística está referida a los procesos logísticos que ocurren en la cadena de suministro en un entorno controlado y acotado, el proceso de optimización, integración, automatización y administración del curso logístico de la información y los insumos materiales dentro de un almacén, planta o centro de distribución [8]. El desarrollo de una intralogística eficiente genera competitividad en la industria y ofrece una oportunidad para el aumento de la eficiencia, desarrollando cada vez más el arte de automatizar, integrar, gestionar y optimizar el flujo logístico de bienes materiales, con el flujo de información y las operaciones dentro la infraestructura física de los nodos de la cadena de suministro [9].



Figura 4. Intralogística
Fuente: DHL

En este sentido podemos afirmar que los drones podrían desempeñar un papel importante en áreas internas como almacenes para tareas de distribución y para entrega en exterior, es decir, los drones pueden ser usados como medio de transporte urgente de carga ligera entre centros logísticos. Un ejemplo es la entrega de herramientas especializadas, partes de una máquina o incluso líquidos lubricantes.

C. Caso 3: Mensajería ligera

La industria estima que para 2025, los aviones no tripulados generarán 100,000 nuevos empleos y un impacto económico de \$ 82 mil millones [10]. Dicho crecimiento se está empezando a notar en diversas empresas de alto nivel. Recientemente se ha circulado la noticia que la startup Wing de Alphabet, es la primera compañía de drones con aprobación de la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos (FAA) y el Departamento de Transporte para empezar las primeras entregas rutinarias de artículos de consumo [11]. Hoy en día el “repartidor volador” está entregando paquetes en las comunidades rurales de Virginia Estados Unidos [12].



Figura 5. Dron lleva pedido a domicilio
Fuente: ideal.es

Sin embargo, esta aprobación tiene ciertas restricciones, por ejemplo, los drones no pueden sobre volar las carreteras principales y el horario de entrega se realiza entre las 7 y 20 horas de lunes a viernes [13].

Por otro lado, la empresa de paquetería UPS se asoció con Matternet para iniciar el uso drones para

entrega de suministros médicos en Carolina del Norte. Por otro lado, la compañía estadounidense de comercio electrónico Amazon, está realizando ensayos en tres países para lanzar esta innovadora propuesta para optimizar la entrega de productos. Su apuesta consiste en cambiar todo el sistema de reparto de mercadería, con su "dron repartidor" Amazon Prime Air. Finalmente, el gigante chino del comercio electrónico Alibaba ha comenzado a utilizar por primera vez drones para enviar paquetes desde Putian, en la provincia de Fujian, hasta la isla de Meizhou. [14].

En conclusión, esta revisión ha permitido identificar áreas potenciales de desarrollo y sentar las bases para la creación de una nueva aplicación tecnológica no existente en el mercado mexicano. approximately describe the data's behavior.

III. DESARROLLO DEL SISTEMA IMTX

El producto desarrollado por el Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística del Instituto Mexicano del Transporte, consiste en un sistema completamente autónomo para el transporte de carga ligera, el cual incluye componentes electrónicos, materiales de ensamble, mecanismo y software propietario.

La idea inicial fue crear una plataforma tecnológica para el despliegue de aplicaciones específicas usando como base los drones. Para tal efecto, se conformó un equipo interdisciplinario de trabajo, en las áreas de mecánica, electrónica, mecatrónica, sistemas computacionales y aeronáutica.

A continuación, se da una descripción de la metodología utilizada en este proyecto y los resultados de la misma:

A. Diseño

Como un primer paso, se diseñó una arquitectura base considerando los siguientes elementos:

- Un servidor para la operación y control.

- Una base de datos para el almacenamiento de la telemetría.
- Una aplicación móvil para la gestión de los servicios.
- Una interface administrativa para la gestión del sistema.
- El sistema autónomo RPAS IMT^x para el transporte de la carga ligera.

En la siguiente figura se presenta el diagrama de la arquitectura propuesta:

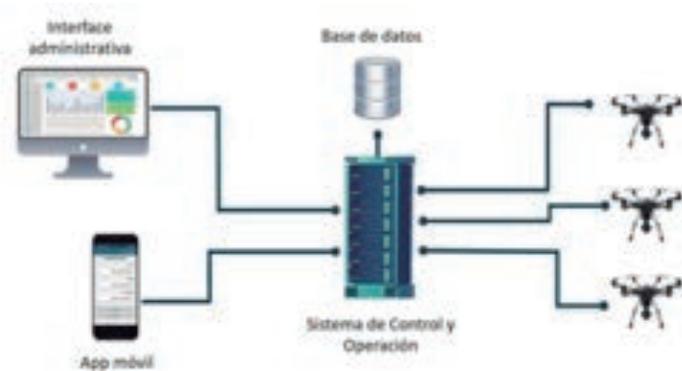


Figura 6. Arquitectura propuesta del Sistema IMT^x
Fuente: propia

A continuación, se da una breve explicación de los componentes de la arquitectura:

a) El servidor

El servidor es el responsable de ejecutar los módulos que conforman el sistema principal de operación y control, verificando siempre el estado del mismo y almacenando la telemetría que corresponde a cada servicio realizado. El servidor es una plataforma de cómputo basado en la nube: Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2), lo que garantiza la comunicación de los drones y el servidor por medio de la red celular.

Otras funciones importantes en el servidor son, la administración de las notificaciones, el almacenamiento de las métricas de vuelo, la interacción entre los usuarios, los drones y el administrador del sistema.

b) La aplicación móvil

Se desarrolló una aplicación móvil que opera en teléfonos inteligentes con sistema operativo Android, la cual permite gestionar las solicitudes del

servicio. Una vez iniciada la aplicación, se seleccionan los usuarios de destino, el puerto de recolección y el puerto destino para la entrega del suministro. Otra de sus funcionalidades es el control del mecanismo de sujeción para retener o soltar el contenedor de carga.

c) La base de datos

La base de datos fue desarrollada en Oracle 11g, misma donde se almacenan los usuarios válidos para usar el sistema, sus permisos y roles, las solicitudes de servicios, los registros de viaje, el registro de las rutas y trayectorias, el estado del RPAS, el inventario de los puertos entrega-recolección, etc.

B. Integración tecnológica

Para lograr el objetivo planteado y por supuesto el control sobre las partes que componen el sistema, se realizó la integración de elementos de hardware y software con características de código abierto, es decir, que tuvieran la flexibilidad de ser programados y reconfigurados según la necesidad específica a cubrir.

Para la integración tecnológica del RPAS IMT^x se utilizaron los siguientes componentes:

- 1x Armazón, 6 brazos y 2 patas Tarot T960
- 6x Tarot 5008-340kv motor brushless
- 6x Tarot 1855 Hélices fibra de carbono
- 6x Hobbywing XRotor 40A-OPTO ESC
- 1x Pixhawk 2 Cube Controlador de Vuelo
- 1x Companion Computer Intel Aero
- 1x Batería de 6 celdas, 22.2V, 10000mah, LiPo
- 1x Sensor IR-LOCK
- 1x MarkOne Beacon v2.0
- 1x Sensor óptico laser



Figura 7. Componentes de la integración tecnológica
Fuente: propia

Descripción de algunos de los componentes importantes:

a) Controlador de vuelo

Uno de los elementos importantes usados en el proyecto fue el controlador de vuelo Cube Pixhawk 2 de Ardupilot, el cual, está definido como una plataforma de desarrollo de hardware de código abierto. Este dispositivo normalmente es usado para diferentes tipos de drones. Además, opera con algoritmos que permiten conocer la altitud, posición y navegación, manejando una triple redundancia en sus sensores como: acelerómetro, giroscopio, magnetómetro y barómetro. Este dispositivo permite que el RPAS tenga un vuelo sostenido y estable. El controlador de vuelo se ilustra en la Figura 8.

b) Computadora complementaria

Otro elemento de suma importancia es una placa madre complementaria para lograr la comunicación y el control del dron IMT^x. Ésta es fabricada por la marca Intel y es diseñada específicamente para uso en sistemas aéreos no tripulados. Aquí se ejecuta un sistema operativo Ubuntu Linux y diversos módulos desarrollados en lenguaje Python, los cuales permiten el control de rutas y la comunicación por mensajes.

Debido a su característica de compatibilidad con el controlador de vuelo, resultó conveniente su uso para el desarrollo del proyecto. La Figura 9, muestra una imagen de la computadora Intel Aero utilizada.



Figura 8. Controlador Cube Pixhawk 2
Fuente: <http://ardupilot.org>



Figura 9. Computadora Intel Aero
Fuente: <https://software.intel.com>

c) Sensores

El dron IMT^x se instrumentó con varios sensores periféricos, el controlador y los dispositivos de salida que actúan como los ojos, oídos y cerebro del

vehículo. Entre ellos, un sensor óptico laser, un sensor IR, giroscopio, acelerómetro, magnetómetro (brújula) y barómetro. En la Figura 10 se ilustra la calibración de los sensores.



Figura 10. Calibración de sensores
Fuente: propia

A continuación, se describen algunas de las características técnicas o especificaciones más relevantes del sistema RPAS IMT^x:



Figura 11. RPAS IMT^x
Fuente: propia

PROPIEDADES FÍSICAS:

- Dimensiones: 145 cm x 50cm
- Peso con accesorios: 5.8 Kg

RENDIMIENTO DE VUELO:

- Tiempo de vuelo continuo: 22 min
- Velocidad de vuelo: 5m/s - 12m/s
- Carga máxima útil: 5Kg
- Control de vuelo: despegue y aterrizaje autónomo completo.
- Resistencia máxima al viento: 12.5m/s

PROPIEDADES GENERALES:

- Motor sin escobillas
- Hélice de fibra de carbono
- Estructura de fibra de carbono
- Batería 6S, 10000 mAH, x 1
- Temperatura de funcionamiento: -5°C a 45°C

C. Operación del sistema

Se diseñó un protocolo de servicio en secuencia como se ilustra en la siguiente figura:

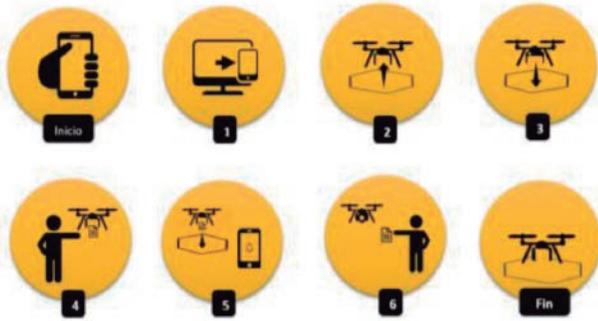


Figura 12. Protocolo del servicio
Fuente: propia

1. Un usuario registrado en el sistema puede solicitar un servicio mediante la App móvil. En esta debe especificar el puerto de recolección, el puerto de entrega y el usuario receptor del paquete.
2. El sistema recibe la petición de servicio y en automático verifica la disponibilidad de los RPAS, si hay disponibilidad entonces el sistema manda el itinerario de vuelo al dron y da la orden de salida; en este momento, el servidor envía un mensaje de texto al usuario remitente y otro mensaje al usuario receptor avisando que el servicio está en marcha.
3. Una vez que el dron recibe el itinerario del vuelo, realiza un despegue desde su base de operación en el puerto principal e inicia su recorrido hacia el puerto de recolección; posteriormente el sistema envía un mensaje del estado de vuelo a los usuarios remitente y receptor.



Figura 14. Puerto de recolección-entrega
Fuente: propia

4. Cuando el dron llega al puerto de recolección, aterriza automáticamente y apaga sus rotores, posteriormente manda un mensaje al usuario remitente avisando que se encuentra listo en su puerto de recolección para recibir el paquete.
5. El usuario remitente coloca el contenedor de carga en el mecanismo de sujeción y, mediante la aplicación móvil le indica al sistema que puede proseguir con su servicio (vuelo al punto de entrega del paquete).
6. El RPAS vuela hacia el puerto de entrega, aterriza, deposita el contenedor de carga y envía un mensaje avisando al usuario receptor que llegó su paquete.
7. Finalmente, cuando el RPAS ha entregado el paquete, retorna de forma autónoma a su puerto principal y queda en espera de un nuevo servicio.

IV. ANALISIS Y RESULTADOS

Durante la fase de pruebas se examinó el comportamiento del sistema RPAS IMTx en las instalaciones del IMT, para ello, se realizaron una serie de vuelos en diferentes horas del día y los registros recabados por el controlador de vuelo fueron analizados con el software Mission Planner. A continuación, se exponen los resultados:

A. Prueba de comportamiento en vuelo

Para probar la tecnología se realizó un conjunto de



Figura 13. Puerto principal IMTx
Fuente: propia

vuelos programados en rutas preestablecidas. En la Figura 14 se muestran los resultados de la evaluación del comportamiento del vuelo del RPAS IMTx. Primero, el inicio autónomo del vuelo tuvo un despegue vertical desde el puerto principal (hangar de drones), después permaneció en su ruta de vuelo, como se muestra en el gráfico, y finalizó con un descenso en el puerto de aterrizaje. Cabe señalar que esta prueba se realizó a una altura promedio de 35m sobre el nivel de tierra a una velocidad promedio de 5m/s.

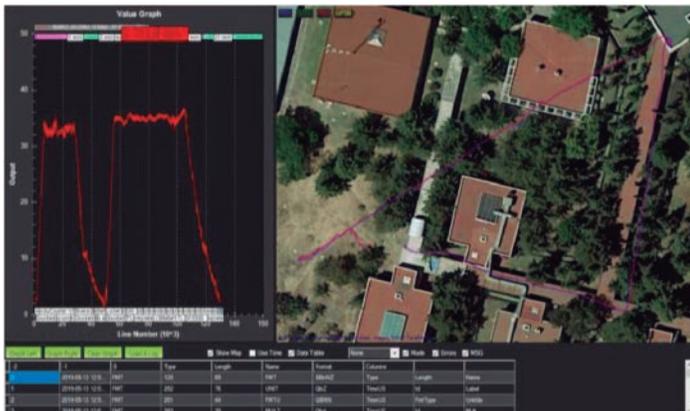


Figura 15. Análisis prueba de vuelo y aterrizaje autónomo
Fuente: propia

Por otro lado, encontramos que investigadores de las Universidades Melbourne y Joondalup en Australia, realizaron un estudio a más de 150 incidentes relacionados con drones entre 2006 y 2016. El estudio reveló que el 64% de los incidentes con drones es atribuido a fallos técnicos, los más frecuentes son [18]:

- Fallos mecánicos durante el vuelo,
- Problemas técnicos durante el despegue,
- Fallos físicos del hardware.

Por tal motivo, se realizaron pruebas para diagnosticar fallas mecánicas y un análisis de vibraciones. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

B. Diagnóstico de fallas mecánicas

Las fallas mecánicas comunes en drones incluyen: falla del motor o del controlador electrónico de velocidad (ESC), la rotura o desprendimiento de alguna hélice, etc. En el caso de falla, aparecen

eventos en el registro como una divergencia repentina en el balanceo e inclinación deseados frente al balanceo e inclinación reales del dron. Esta divergencia es visible al graficar DesRoll vs Roll del mensaje ATT, DesPitch vs Pitch y, en menor medida, DesYaw vs Yaw. Como se muestra en la siguiente figura:

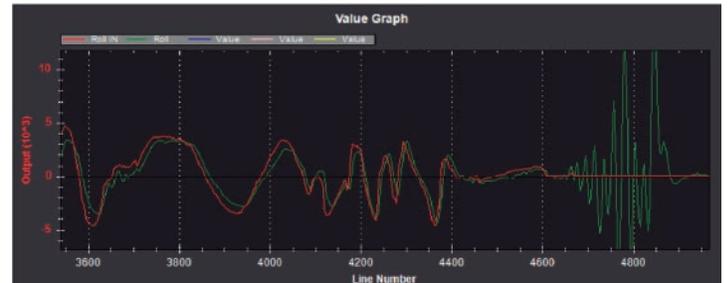


Figura 16. Diagnóstico de fallas mecánicas
Fuente: ardupilot

C. Análisis de vibraciones

Las vibraciones elevadas pueden hacer que las estimaciones de altitud y posición horizontal basadas en el acelerómetro se alejen de la realidad, lo que ocasiona problemas con la retención de altitud (el vehículo puede dispararse hacia el cielo). Las vibraciones se grafican en los valores VibeX, VibeY y VibeZ. Los niveles de vibración por debajo de 30m/s/s son normalmente aceptables. El siguiente gráfico muestra niveles de vibración aceptables que son consistentemente por debajo de 30m / s / so de ESC.

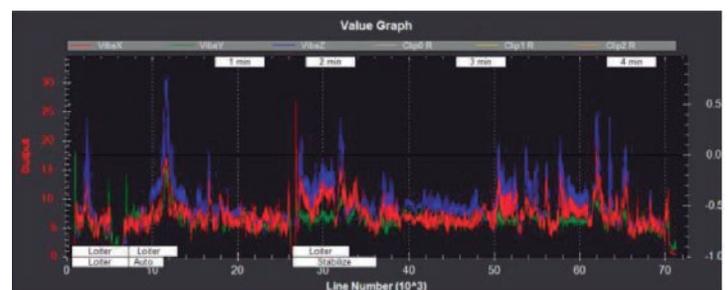


Figura 17. Diagnóstico de vibraciones
Fuente: propia

D. Prueba tecnológica y resultados

Para validar completamente el sistema, se diseñó y ejecutó un conjunto de pruebas que se realizaron en el Interpuerto Monterrey, N.L. El vuelo de prueba se efectuó desde un punto geográfico en la terminal intermodal de Kansas City Southern de México (KSC) y la Aduana del Interpuerto

Monterrey. Los resultados obtenidos fueron favorables para esta prueba, pues se logró el despegue y aterrizaje autónomo en una ruta de vuelo sostenido a una velocidad de 10m/s, con una distancia recorrida de 5.6 km (ida y vuelta).

En la siguiente imagen se muestra la zona geográfica donde se realizó la prueba. La línea roja ilustra la trayectoria que siguió el RPAS IMT^x.



Figura 18. Diagnóstico de vibraciones
Fuente: propia

E. Retos a futuro

El producto RPAS IMT^x se logró terminar con éxito. Sin embargo, como todo desarrollo tecnológico se detectaron los siguientes retos a futuro:

- Modelar trayectorias de vuelo para más de un dron.
- Desarrollar algoritmos para el seguimiento automático de objetivos.
- Desarrollar un sistema de posicionamiento para la navegación en interiores.
- Probar diversos sensores para la especialización del dron para futuras aplicaciones específicas.

V. CONCLUSIONES

El uso de RPAS para entrega en la última milla es una de las innovaciones más importantes hoy en día para la entrega de productos en ubicaciones de difícil acceso, esta innovación contribuye en la reducción de costos de operación tradicional.

Una ventaja acerca de su uso, es la reducción en los tiempos de entrega, sobre todo en zonas urbanas, ya que las distancias son cortas y son lugares donde el tráfico es muy denso para un transporte convencional. Otro elemento favorable a su uso, es la baja emisión de contaminantes de CO₂, debido al uso de energía eléctrica para su operación.

Finalmente, el dron como vehículo para volar es cada vez menos importante; de mayor importancia es el sensor especializado, el procesamiento de la imagen, el análisis del dato colectado, así como, el conocimiento práctico en tiempo real que el análisis puede brindar.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece el acompañamiento de la empresa de alta tecnología Champion Technologies S.A. de C.V. y a su equipo de ingenieros especializados en desarrollo de soluciones en telemetría. Se agradece a la empresa Ciao, S.A. de C.V., quienes apoyaron con los permisos para lograr aplicar la prueba tecnológica en Interpuerto Monterrey.

REFERENCIAS

[1] Haye Kesteloo. Jan. 28th 2019. Drones reporting for work – Goldman Sachs [Internet]. Disponible en: <https://dronedj.com/2019/01/28/drones-reporting-for-work-goldman-sachs/> [30/05/2019].

[2] Alexandre Amoukkeh , Joel Janda , and Justin Vincent. April 10, 2017. Drones Go to Work [Internet]. Disponible en: <https://www.bcg.com/publications/2017/engineered-products-infrastructure-machinery-components-drones-go-work.aspx>

- [3] Francesco Castellano. Los drones comerciales están revolucionando las operaciones comerciales [Internet]. Disponible en: <https://www.toptal.com/finance/market-research-analysts/los-drones-comerciales-estan-revolucionando-las-operaciones-comerciales>
- [4] Juliana Jara. Marzo, 8.2019. Dron de Softbank ofrece internet 5G y funciona con energía solar [Internet]. Disponible en: <https://es.digitaltrends.com/computadoras/softbank-dron-red-5g/>
- [5] Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos, Investigador, documento “Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística, Etapa Consolidación”
- [6] Roberto Sosa Noviembre.07.2018. ¿Qué es la Intralogística? [Internet]. Disponible en: <http://blog.intralogistics-latam.com/2018/11/07/que-es-la-intralogistica/>
- [7] Silvia Jira . Mayo.06.2018. Logística de Aprovisionamiento y Distribución [Internet]. Disponible en: <https://logisticamuiaipcsupv.wordpress.com/2018/05/06/intralogistica-4-0/> []
- [8] Milenio Digital. Abril 23, 2019. Google comenzará a hacer entregas con drones en EU [Internet]. Disponible en: https://amp.milenio.com/tecnologia/drones-de-google-comenzara-n-a-hacer-entregas-en-estados-unidos?twitter_impression=true
- [9] Rafael López Inclán. Agosto, 14. 2017. Drones, nueva era en materia logística [Internet]. Disponible en: <http://a21.com.mx/un-espacio-para-los-no-tripulados/2019/05/23/transporte-medico-y-de-paquetes-con-drones-una> []
- [10] Jon Porter. April 9, 2019. Google's Wing drones approved to make public deliveries in Australia [Internet]. Disponible en: <https://www.theverge.com/2019/4/9/18301782/wing-drone-delivery-google-alphabet-canberra-australia-public-launch> []
- [11] Infobae. Abri 9, 2019. Project wing: aprobaron la entrega de paquetes a domicilio con drones en Australia [Internet]. <https://www.infobae.com/america/tecno/2019/04/09/proyect-wing-aprobaron-la-entrega-de-paquetes-a-domicilio-con-drones-en-australia/> [Agosto 01, 2019].
- [12] Susana Galeano. Diez proyectos innovadores que quieren revolucionar la logística online en España [Internet]. Mayo 28 2018. Disponible en: <https://marketing4ecommerce.net/10-proyectos-revolucionar-la-logistica-online-en-espana/> [Agosto 01 2019].
- [13] Haidari, L.A., Brown, S.T., Ferguson, M., Bancroft, E., Spiker, M., Wilcox, A., Ambikapathi., R, Sampath, V., Connor, D,L y Lee, B.Y. (2016). The economic and operational value of using drones to transport vaccines. Vaccine. 4062-4067.
- [14] Boysen, N., Briskorn, D., Fedtke, S y Schwerdfeger, S. (2018). Drone delivery from trucks: Drone scheduling for given truck routes.
- [15] González-Torre, A y Gisbert-Soler, V. (2017). Use of drones in urban distribution. 3C Empresa. 108 – 115.
- [16] Gerard Sylvester. FAO and ITU, Bangkok, 2018. e-agriculture in action: Drones for agriculture. 33-67.
- [17] Emmanouil N. Barmponakis, Eleni I. Vlahogianni, John C. Golias. (2017). Unmanned Aerial Aircraft Systems for transportationengineering: Current practice and future challenges 112- 120.
- [18] Graham Wild 1, John Murray y Glenn Baxter 1. (22 July 2016). Exploring Civil Drone Accidents and Incidents to Help Prevent Potential Air Disasters.
- [19] Marisol Barrón Bastida, Elizabeth de la Torre Romero. Cinthya del Carmen Aguilar Soriano. 2016. Metodología para la incorporación de tecnologías en el autotransporte de carga. 2.

La logística ante el marco de innovación tecnológica de la industria 4.0

Juan José Méndez Palacios
Departamento de Ingeniería Industrial Tecnológico
Nacional de México/Tecnológico de Querétaro
Querétaro, México
jjmendez@mail.itq.edu.mx

Erick Álvarez Alfaro
Departamento de Ingeniería Industrial Tecnológico
Nacional de México/Tecnológico de Querétaro
Querétaro, México
ealvarez@mail.itq.edu.mx

Resumen— La manufactura de productos ha estado influenciada por el acceso a la información actualizada acerca de lo que hay que producir, cuánto fabricar, cuánto tener en inventario, cuánto transportar y, a quien venderlo. Esta dinámica productiva ha incorporado tecnologías de información caracterizadas por el internet de las cosas, la inteligencia artificial, la robotización de operaciones y el análisis de gran cantidad de datos.

Esta situación supone la interconexión de operaciones que generen información tales como: producción, manejo de mercancías, uso de máquinas, organización de fábricas, movimiento de vehículos, etc. Con la finalidad de estas actividades se realicen de manera autónoma a través de nuevas interfaces y nuevas programaciones, donde la logística en la cadena de suministros se verá influenciada para garantizar ante este nuevo paradigma tecnológico, la producción más personalizada, tener una gestión de envíos acorde a previsión de la demanda, reducir stocks y tiempos de almacenamiento, la eficiencia de rutas de distribución, la localización espacial del cliente, la trazabilidad de la mercancía, la automatización de pagos, entre otros.

El presente trabajo revisa los aspectos conceptuales acerca de cómo esta nueva tendencia tecnológica permeará en las actividades logísticas en México y muestra un análisis cualitativo del caso de las empresas ubicadas en el Estado de Querétaro para atender los requerimientos que impone la dinámica de la Industria 4.0 en las cadenas de suministro.

Palabras Clave— Industria 4.0, Operación Logística, TIC, plataforma logística

I. INTRODUCCIÓN

La fabricación de productos es una serie de operaciones relacionadas que inician con el abastecimiento de materia prima, continuando con su transformación en otro material hasta terminar con un acabado específico que lo define cómo producto terminado como se muestra en la Figura 1. Este proceso de modificación de materiales para su venta, ha sido influenciado por el consumo de productos que derivan de un mercado de usuarios. El crecimiento de la demanda, aunado a la competencia entre empresas, ha promovido mejoras en los equipos y procedimientos para hacer más eficiente la producción y ganar más mercados.

Es así como de los procedimientos artesanales de fabricación, para seguir con su mecanización, y después con la innovación de la línea de ensamble que permite la fabricación en serie, hasta la implementación de la computadora para hacer más ágiles los procesos de manejo de información, hasta el uso de la internet y su aplicación en la inteligencia artificial, ha significado una evolución tecnológica para atender mercados diversos con una variedad de productos y en diferentes ubicaciones geográficas.

El acelerado consumo de insumos generado por el fenómeno de la globalización aunado con la accesibilidad a la información en tiempo real, ha generado estrategias de comercialización que parten de los esquemas de marketing tradicionales integrándolos con plataformas informáticas para que el consumidor tenga información actualizada de los diversos procesos que implican el intercambio de productos y así, poder planear las compras correspondientes, además de potencializar el desarrollo de la logística en la cadena de suministro.

La industria 4.0 es un concepto nuevo que presume el uso masivo de la tecnología de Inteligencia Artificial gracias a la evolución de las TIC y sistemas embebidos, sin embargo al ser un concepto nuevo es de notarse que no ha permeado en la industria mexicana de manera general.

Por ello resulta conveniente responder los cuestionamientos: ¿Cuál ha sido la evolución industrial que ha llevado al fenómeno de la industria 4.0?, por otra parte ¿Cómo este enfoque tecnológico impactará en los procesos u operaciones logísticas?, y finalmente ¿Qué tendrá que hacerse en la industria instalada en el estado de Querétaro para mantenerse a la vanguardia en esta nueva visión tecnológica de productividad?

El enfoque metodológico para la elaboración de este artículo fue el de la investigación cualitativa que se basa en una lógica y proceso inductivo, es decir explorar y describir, y luego generar perspectivas teóricas. En este sentido el presente escrito tiene como objetivo mostrar, el proceso desde lo particular del concepto de manufactura y su evolución en la operatividad de la industria 4.0, y hacia lo general en su implicación a las operaciones logísticas; además muestra un análisis cualitativo del caso de las empresas ubicadas en el Estado de Querétaro para atender los requerimientos que impone la dinámica de la Industria 4.0 en las cadenas de suministro.



Figura 1. Proceso de fabricación
Fuente: Elaboración propia

II. LAS REVOLUCIONES INDUSTRIALES

El término “Revolución Industrial” fue utilizado a finales del siglo XVIII, para referirse a los cambios que se estaban dando en esa época en Inglaterra. Esta expresión, buscaba comparar principalmente a la Gran Bretaña con Francia, solo que en Francia los sucesos tenían que ver más con la parte social y política, en tanto que en la primera se enfocó a la

economía y a la sociedad en lo referente a la industria de fabricación, lo que permitió un gran incremento en la producción y la productividad.

Contrastando con la etapa preindustrial, en la que la principal actividad económica era la agricultura, en la sociedad industrial la primera fue reduciéndose en la medida en que se incrementaba el de la industria fabril y los servicios.

Una de las características de la sociedad industrial es la velocidad del cambio tecnológico, que permite fuertes incrementos en la producción y productividad.

La etapa industrial se distingue también por un alto nivel de urbanización. En ella no sólo creció el porcentaje de la población urbana, originado por la migración de la gente del campo a la ciudad; sino que también se incrementó significativamente el número de ciudades importantes y que pasaron a ser grandes. Surgieron nuevas formas de organización del trabajo y la familia, nuevas clases sociales, nuevas formas de actividades políticas.

También se tuvo un avance significativo en el desarrollo de los medios de transporte y de los servicios de comunicación; propiciando que se diera el contacto entre las diversas regiones del planeta, dando origen al florecimiento de la actividad comercial entre diferentes regiones y se incrementó el movimiento de las personas a estos lugares en busca de oportunidades de trabajo y mejores condiciones de vida.

La primera revolución industrial, tuvo su inicio con la creación de la máquina de vapor y su aplicación en producción da apertura a la primera revolución industrial, Azaña (2016). Esta revolución inicia a finales del siglo XVIII y termina hasta mediados del XIX, dio un cambio radical a la forma de fabricación de materiales y generó el paso de la economía rural a la industrial. Es así como la mecanización de los procesos productivos, como el caso de la fabricación de tejidos que generó una fuente de riqueza para las naciones que desarrollaron y usaron de dichas tecnologías, como se muestra en la Figura 2.

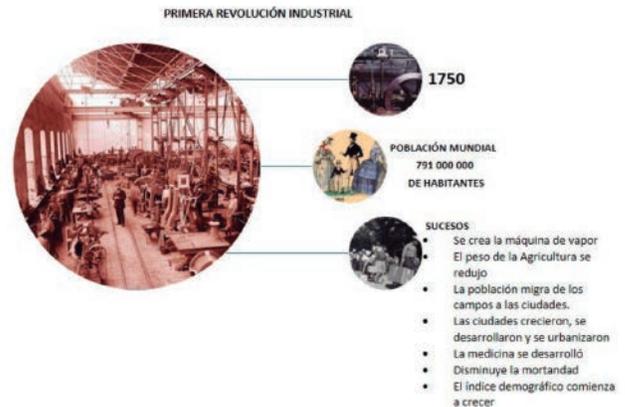


Figura 2. Características de la 1ª Revolución Industrial
Fuente: Elaboración propia

La segunda revolución industrial sucedió entre los siglos XIX y XX y ocurre cuando se descubre la forma de generar la producción masiva de energía eléctrica así como la reorganización del trabajo en línea o producción en cadena, especialmente aplicada a la producción de automóviles con motores de combustión interna, los aspectos significativos se muestran en la Figura 3.

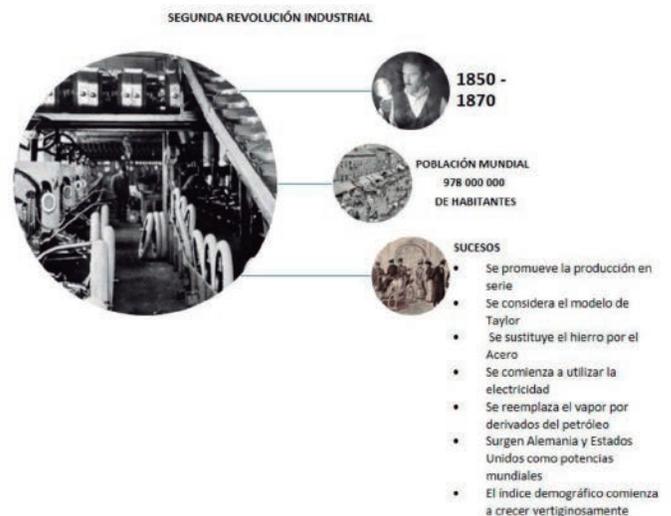


Figura 3. Características de la 2ª Revolución Industrial
Fuente: Elaboración propia

La tercera revolución industrial, ocurrida entre los siglos XX y XXI, se caracterizó por el empleo de la electrónica digital que permitió la gestación de las tecnologías de la información y la automatización de los procesos industriales, como se observa en la Figura 4.

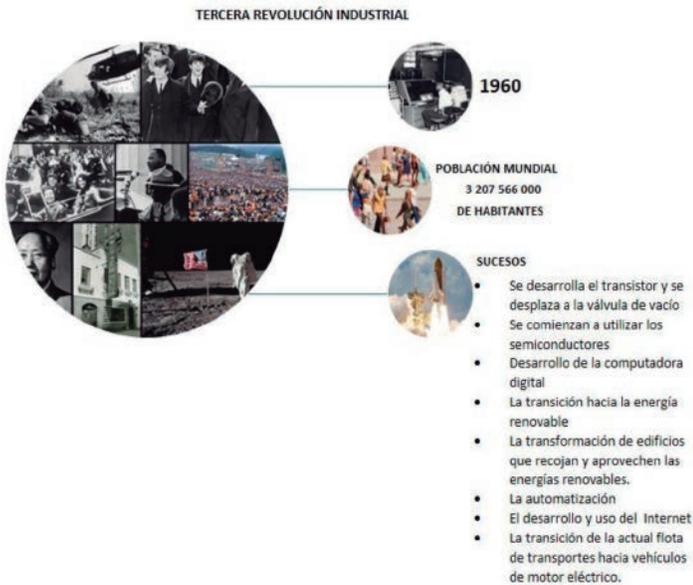


Figura 4. Características de la 3ª Revolución Industrial
Fuente: Elaboración propia

La cuarta revolución industrial, a decir de varios autores, está dándose en este momento con la convergencia de todas las tecnologías en lo que se llama el Internet de las cosas, el big data y la nube integrando actualmente la tecnología vestible (del inglés wearable technology), aspectos que se observan en la Figura 5.



Figura 5. Características de la 4ª. Revolución Industrial
Fuente: Elaboración propia

Cada revolución se caracterizó en atender la demanda de un mercado específico acorde a su época y población, como se observa en la Figura 6. En este sentido, resulta interesante destacar que, a mayor cantidad de personas en cada época, ha sido necesario incorporar tecnologías que permitan

atender los grandes mercados emergentes en su tiempo, situación que permeo para el desarrollo de la logística y después en el desarrollo de la cadena de suministros, al atender no sólo mercados nacionales sino ahora mundiales.

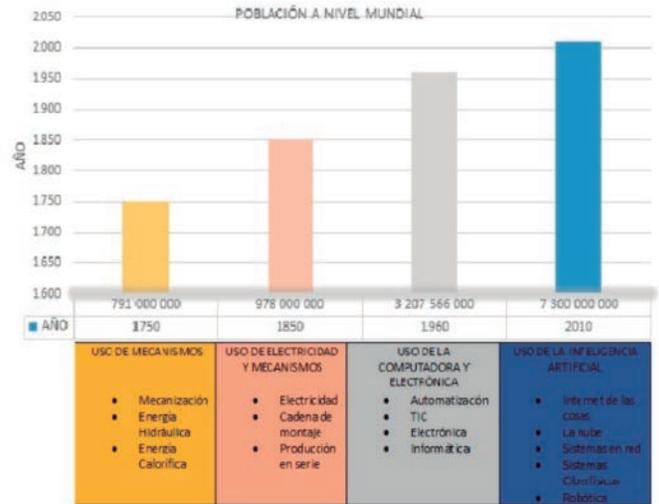


Figura 6. Revoluciones industriales y crecimiento poblacional
Fuente: Elaboración propia con base en [3]

III. LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA INDUSTRIA 4.0

El incremento del uso de las tecnologías de comunicación e información (TIC), en todos los ámbitos sociales ha permitido disminuir la brecha de información para tener conocimiento acerca de diferentes aspectos del saber humano.

La toma de decisiones acerca de los procesos de comercialización se ha visto beneficiada al tener indicadores a detalle de los consumos, de las transacciones financieras y principalmente de los planes de producción en el ámbito empresarial.

Las TIC han permeado en una complejidad tecnológica que ha permitido optimizar procesos y a su vez ha generado disrupciones en la cadena de valor [1], integrando nuevos sectores económicos sociales y ha generado nuevos modelos de negocio. Es así como en la época actual, la internet integra la industria con el avance en el uso de computadoras, las máquinas con el mundo digital, lo que ha generado la integración de una gran cantidad de datos acerca de los procesos y producción.

En este sentido, esta integración de ambos sistemas: informáticos y físicos, sería en principio los fundamentos de la industria 4.0; esto se apoya en sistemas inteligentes entre los que se encuentran: programas de cómputo basados en características y comportamientos parecidos a la inteligencia humana en cuanto a toma de decisiones; los servicios de telefonía móvil y; de computación ubicua que permite usar cualquier dispositivo en cualquier lugar y en cualquier formato. También se sirve de los procesos de negocios que usan internet tales como la nube una plataforma de almacenamiento de datos y el uso de dispositivos de radiofrecuencia (RFID), entre otros. Por otra parte, el uso masivo de las redes sociales y de comunidades como el web 2.0. así como de las redes de conocimiento abierto han contribuido al desarrollo de los sistemas informáticos y físicos.

Al incrementarse la generación de información digital, generó la capacidad de almacenamiento y procesamiento de un gran volumen de datos que estimuló la creación y uso de algoritmos, que a su vez propiciaron la inteligencia artificial para el análisis y sistematización de la información, así como las conexiones entre individuos, máquinas y dispositivos. Los datos son una nueva fuente de competitividad [1] que permiten el análisis para optimizar y combinar las capacidades humanas y de las máquinas.

Este concepto de la fabricación inteligente considera que el internet de las cosas (IoT) se utiliza para controlar en tiempo real las etapas de la producción, esto se conoce internet industrial [1] de las cosas (Internet Industrial of Things, IIoT), y aclara que no es un subconjunto del IoT, ya que los objetos de IIoT producen objetos que se registran en el IoT. [2] Se expone que las máquinas y herramientas están conectadas a internet y los datos que se envían a la red son principalmente mediciones del desempeño de estos objetos, por lo que la característica del IoT es integrar varias tecnologías relacionadas con la identificación y el seguimiento de proceso, como es el caso de sensores inalámbricos, actuadores integrados, dispositivos portátiles y sistemas digitales de

control usados en el rastreo de productos en la línea de fabricación.

IV. LAS OPERACIONES LOGÍSTICAS EN LA INDUSTRIA 4.0

Las operaciones logísticas [5] son las actividades que apoyan la realización del flujo logístico, cada una con una caracterología particular de acuerdo a su finalidad, misma que se describe a continuación explicando la forma en que cumplirá la dinámica de la industria 4.0

Transporte: Actividad que realiza el desplazamiento físico de los materiales ya sea para una cadena de aprovisionamiento o para la distribución física de las materias primas, productos semiterminados o productos terminados. El esquema de transporte puede ser de diversos tipos como lo son el transporte modal que maneja un solo tipo de transporte ya sea aéreo, carretero, ferroviario, marítimo; intermodal que puede ser en un solo modo, como el caso de la complejidad que resulta el mover las mercancías en zonas urbanas, o de dos modos de transporte y multimodal que integra tres modos o más de transporte de acuerdo al volumen de la carga.

Esta operación logística para atender los requerimientos de la industria 4.0, tendrá que lograr una mejora en cuanto a la seguridad de la carga en movimiento, la velocidad de la entrega, la calidad de servicio, ahorro en los costos de operación y también ahorro energético. Aunado a lo anterior, el transporte requiere de infraestructura vial para desarrollar la movilidad, en este sentido los sistemas ciber-físicos aportan ayudas en la realización de rutas origen-destino, en el rastreo de la mercancía, en el monitoreo del operador, todo en tiempo real. Aunado a lo anterior la normatividad deberá estar adecuada para que esta operación sea eficiente.

- **Envase y embalaje:** Actividad que parte del diseño para protección del producto y por ende su presentación ante el cliente, y por otra parte la organización de los productos en un solo lugar para su manejo en lotes y su fácil manipulación ya sea para su transportación o almacenaje. Ambos

elementos cumplen la operación logística del resguardo del producto hasta su consumo y cubrir la función de acomodo de productos para la optimización de espacio disponible en vehículos y almacenes.

- Manipuleo de carga: operación logística que consiste en mover la mercancía de un lugar a otro al interior de un lugar o colocarla en el transporte para su entrega, esto se realiza en un lugar de almacén o en el punto de entrega en su destino final. Entre los diversos tipos de manipuleo según la presentación del producto están:
- Carga general (donde se usan grúas para facilitar el manipuleo de la carga),
- Carga a granel (que es movilizada para su carga en vehículos de transporte mediante bandas y ductos y descargada de la misma forma),
- Carga perecedera (donde además de las operaciones de carga y descarga, es importante el manejo adecuado de las condiciones de temperatura del producto),
- Carga frágil (aquí el tamaño y forma del embalaje permite darle protección al producto además de una correcta señalización para su manipuleo, además de las operaciones de carga, traslado y descarga),
- Carga peligrosa (además del punto anterior, se deben ubicar lo más accesible posible de las puertas del contenedor).

Algunos de estos equipos incorporan dispositivos que monitorean la velocidad de manipulación, el volumen del producto, el peso y en su caso el momento de carga y descarga. La información generada por estos artefactos en tiempo real apoya a la industria 4.0 en conocer los estándares de productividad y de servicio al cliente.

Almacenamiento. Operación logística cuya función es ofrecer de manera eficiente y rápida el resguardo, la conservación y entrega de productos de un lugar a otro con la mejor ubicación que estos requieran. El almacenamiento tiene tres actividades funcionales:

- 1) El resguardo, que puede ser en una bodega,
- 2) Un Centro de Distribución donde se realiza el procesamiento y resguardo y,
- 3) Sólo el resguardo y entrega como en el caso de las empresas comercializadoras y de mensajería.

La acción de resguardo de productos atiende los requerimientos de la industria 4.0 mediante la incorporación de códigos y sensores que ayudan a agilizar el reconocimiento del producto, a conocer las cantidades existentes y su ubicación en el almacén, además de permitir la trazabilidad del producto desde su entrada al resguardo, después su consolidación, luego su embarque y colocación en el transporte y finalmente su entrega al cliente. Esto permite tener información que ayuda a administrar inventarios y además ayuda a planear la producción.

Sistemas de información. Operación logística que brinda comunicación entre la empresa con sus proveedores de diferentes materiales y servicios, y también con sus clientes. El conocimiento de la productividad y de la demanda en tiempo real apoya la planificación, contratación, manufactura y entrega de productos.

La generación de información de cada parte de la cadena de suministro, sirve como conexión entre las diversas etapas de la cadena, permitiéndoles coordinar y maximizar la rentabilidad total de la misma, además de ser un factor importante de la industria 4.0 para la operación diaria de cada eslabón de la cadena de suministro y con ello alcanzar su objetivo utilizando la información compartida de todos los involucrados. Las empresas han incorporado tecnologías para compartir y analizar la información, llegando a aplicar algoritmos de inteligencias artificial, estos se basan en: intercambio electrónico de datos (EDI), uso de la internet, manejo de sistemas de planeación de recursos empresariales (ERP), implementación de software para la administración de la cadena de suministro (SCM) y, sistemas de identificación de radiofrecuencia (RFID).

También, como parte de las actividades que conforman los sistemas de información, es el seguimiento de pedidos y al mismo tiempo la medición de la satisfacción del usuario a través del servicio post-venta que ayude a evaluar el funcionamiento de la cadena de suministro.

El seguimiento de pedidos, es la actividad donde la evidencia de la documentación forma parte esencial ya que el correcto ordenamiento y tramites permite que el cliente y al proveedor conozcan el estado actual de su pedido, se usan plataformas virtuales o el correo electrónico para realizar el pedido o bien una vez que se haya entregado evaluar que llego en las condiciones adecuadas.

Mientras que el servicio postventa busca conocer los retornos de productos y uso de garantías por parte de los fabricantes, de tal manera que se le da un respaldo al cliente al momento de su adquisición para garantizar un producto de calidad, donde entran funciones tales como la gestión de devoluciones a los proveedores y fabricantes, creación de órdenes de servicio para la reparación del producto o simplemente para la satisfacción del usuario.

Otro aspecto a considerar, es el uso de la robotización en las operaciones logísticas para el monitoreo y colocación de productos, tal es el caso de las empresas DHL que usa drones para monitorear el volumen de inventario [6] y el de la empresa Amazon [7] que utiliza robots para el manejo de estanterías en sus centros de distribución. Estos ejemplos muestran como la logística ha tenido que usar tecnologías para hacer más rápidas sus operaciones de almacenamiento y consolidación de pedidos atendiendo los requerimientos de la industria 4.0.

Lo anterior se resume en las siguientes tablas:

OPERACIÓN LOGÍSTICA: TRANSPORTE			
TECNOLOGÍA INCORPORADA	- Infraestructura en la comunicación del vehículo - Comunicación vehículo a vehículo. (Tecnología V2V).	- Diagnóstico remoto	- Conducción autónoma - El camión digital
FUNCIONAMIENTO	Conecta a los vehículos a una infraestructura inteligente y obtiene datos para la gestión del tráfico, estacionamiento, posicionamiento global, advertencia de fallas y soporte remoto, detección de la fatiga del operador y prevención de accidentes. Permite a los vehículos comunicarse entre sí a través de información segura para realizar acciones que eviten un choque, frenar en seco, girar el volante o reducir la velocidad.	Obtiene información remota sobre la operación del camión y los códigos de falla	Son sensores, procesadores, actuadores y software para conducir un vehículo de forma autónoma El sistema inteligente recaba información sobre el desempeño de los camiones desde el consumo de combustible, estilo de conducción y velocidad promedio hasta la geolocalización.
APOYO A LA INDUSTRIA 4.0	Permite obtener un mejor desempeño del operador y reducción de combustible, manejo seguro, prevención de accidentes, reducción de tiempos de traslado y cuidado de la carga Permite mayor seguridad a la carga y los cuidados para que se eviten las mermas por movimiento-traslado	Ayuda a tener el vehículo en condiciones óptimas de operación y coadyuva a que se asegure que llegará la carga en tiempo	Actualmente está en marcha el nivel 3 de 5. Que son: Sólo conductor, asistida, automatización parcial, automatización elevada y automatización completa. Sistemas de gestión de flotas de transporte.

Tabla 1. Operación logística de transporte
Elaboración propia

OPERACIÓN LOGÍSTICA: ENVASE Y EMBALAJE	
TECNOLOGÍA INCORPORADA	- Envase activo -Envase inteligente
FUNCIONAMIENTO	Ecología y sustentabilidad de los envases, el internet como medio de adaptación entre la cadena logística de recogida, entrega y almacenaje. El envase como herramienta de comunicación
APOYO A LA INDUSTRIA 4.0	- Personalización del envase - Envases flexibles con adaptación para consumo On.The-Go -Envase adaptado al ecommerce -Información sobre ingredientes, conservadores, beneficios y uso del producto mediante un código leído por una APP.

Tabla 2. Operación logística de envase y embalaje
Elaboración propia

OPERACIÓN LOGÍSTICA: MANIPULEO DE CARGA	
TECNOLOGÍA INCORPORADA	-Sistemas de manipulación, robotizados y automáticos - Mesas elevadoras, grúas - Brazos manipuladores - Balancines
FUNCIONAMIENTO	Funcionan a través de sistemas embebidos utilizando energía eléctrica, hidráulica, neumática o manual
APOYO A LA INDUSTRIA 4.0	El manejo es automatizado en la mayoría de los casos y coadyuvan en el manejo de mayor volumen de mercancías, mayor intensidad de trabajo, mejores velocidades de ejecución de las tareas y mayor precisión entre otras aportaciones.

Tabla 3. Operación logística de Manipuleo de carga
Elaboración propia

OPERACIÓN LOGÍSTICA: ALMACENAMIENTO	
TECNOLOGÍA INCORPORADA	<ul style="list-style-type: none"> - Smart tags - Almacenes automáticos - Paletización dinámica - Paletización push back - Picking dinámico - Picking para miniload
FUNCIONAMIENTO	Permite tener un control en tiempo real del trayecto de los productos, conocer el estado físico de las mercancías, mejores rutas para hacer el picking.
APOYO A LA INDUSTRIA 4.0	Reducción de los costos logísticos globales en un 30% mediante la automatización y almacenaje robotizado, reducción de tiempos de traslados y manipuleo

Tabla 4. Operación logística de almacenamiento
Elaboración propia

OPERACIÓN LOGÍSTICA: SISTEMAS DE INFORMACIÓN	
TECNOLOGÍA INCORPORADA	<ul style="list-style-type: none"> - Big data - IOT - Bienes sensorizados - ERP
FUNCIONAMIENTO	Mejor diseño de rutas para incrementar la eficiencia, control de activos, seguimiento de productos y máquinas
APOYO A LA INDUSTRIA 4.0	Fijación anticipada de precios según costos logísticos, búsqueda de la entrega perfecta, entregas el mismo día, ubicación de minihubs urbanos, control y puntualidad pedidos, optimización operativa de almacenes, reducción de costos directos de inventario y tecnológicos.

Tabla 5. Operación logística de sistemas de información
Elaboración propia

V. QUERÉTARO COMO PARTE DE LAS PLATAFORMAS LOGÍSTICAS EN MÉXICO

De acuerdo a la agenda estatal de innovación 2018 [8] del CONACYT, el Sistema Nacional de Plataformas logísticas (SNPL) considera al estado de Querétaro como parte de un corredor logístico dentro del Eje estructurante nacional consolidado, que se integra al sur con la Ciudad de México y al norte con los estados de Guanajuato, San Luis Potosí, Durango, Nuevo León, Chihuahua y Tamaulipas. Por otra parte la entidad es un punto estratégico para las regiones centro y bajo de México, ya que fortalece el rol competitivo en cuanto a la exportación a través de otros estados y apoya a la eficiencia de los procesos de distribución con la articulación de las diversas redes de transporte.

La entidad cuenta con 31 parques y zonas industriales, un parque biotecnológico y un agroparque, que son parte de los sectores estratégicos del estado, que están agrupados de acuerdo a la agenda en:

Industria consolidada. Tal es el caso de las industrias: automotriz, el agroalimentario, la metalmecánica y la de electrodomésticos.

Industria en desarrollo: en este rubro están la industria aeroespacial, la de software especializado, los Call Center y los servicios de ingeniería.

Industria emergente: Biotecnología y Salud.

Aunado a lo anterior, existen áreas de especialización tales como:

Manufactura digital, software especializado, nuevos materiales y biotecnología.

También la entidad cuenta con infraestructura para desarrollar operaciones logísticas de apoyo al sector empresarial [9] que son: Plataforma logística de Distribución metropolitana, Centro de Carga Aérea, Plataforma Logística de apoyo al Clúster Aeronáutico, Puerto Seco. Situación que contribuye a la fortaleza de la entidad para que sus empresas atiendan los requerimientos de la industria 4.0.

Cabe considerar que el acceso a la información por parte de la población es un indicador que hace posible la inserción a los mercados globales y en su caso permitirá el desarrollo de la industria 4.0 en Querétaro. Datos del INEGI referentes a la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH), muestran que en el estado [10] hay 1, 231 798 usuarios con acceso a internet, también hay 308136 hogares con conexión a internet. Esta situación junto con las innovaciones tecnológicas en las operaciones logísticas permitirá que la productividad empresarial del estado de Querétaro se inserte en el mercado global.

VI. CONCLUSIONES

La fabricación de productos es una dinámica empresarial para obtener ganancias al proveer de insumos a los mercados, ha evolucionado de acuerdo al desarrollo de las ciudades donde estan

Las revoluciones industriales han sido provocadas por la competitividad empresarial y por el crecimiento poblacional, para suministrar en el corto tiempo bienes a los usuarios. Estas revoluciones han sido generadoras de grandes avances tecnológicos que en su época apoyaron la productividad y la entrega de los productos a los mercados ubicados cada vez más lejos de las fábricas.

La logística también ha sido impactada por estas evoluciones, desde solamente dedicarse al traslado de las mercancías, ahora integra tecnologías de información que le permiten tener un control de los procesos que se llevan a cabo en la cadena de suministros.

La industria 4.0 es una innovación que acelera los procesos de producción al tener información en tiempo real de la demanda, de los flujos de materiales en la fabricación al utilizar tecnologías basadas en TIC y automatismos. Su implementación es originada por el gran volumen de datos que se obtienen gracias al acceso a diferentes mercados de consumo en el planeta. En este sentido las operaciones logísticas han incorporado tecnologías informáticas y de manipuleo de carga para ofrecer mayor rapidez en el proceso producción-distribución. En todos los casos se genera información que es importante para el tomador de decisiones empresarial.

Para el caso del estado de Querétaro, su dinámica socioeconómica no está alejada del uso de las TIC, gracias a su experiencia de más de 30 años de producción industrial, ha creado la infraestructura necesaria para atender los requerimientos de la Industria 4.0.

Sin embargo, existen otros factores que hay que considerar para que la logística atienda la dinámica de la industria 4.0, tales como:

- Adecuar la normatividad referente a la operación vehicular, desde los trámites para permisos de circulación del transporte, la operación de la TIC en aduanas y trámites fiscales, acerca del uso de equipos automáticos en las vías de comunicación, la accesibilidad a la información.

- Tener infraestructura adecuada para la circulación de vehículos de transporte con inteligencia artificial, el uso de aplicaciones para ruteo, así como mejoras en el pago de peajes.

- Formar recursos humanos en el uso de tecnologías destinadas a eficientar las operaciones logísticas: diseño y uso de aplicaciones, manipuleo de drones y robots, diseño de procesos productivos basados en inteligencia artificial, entre otros.

El artículo es una reflexión acerca de las implicaciones que la industria 4.0 tendrá en las operaciones logísticas, ya que ello derivará en inversiones no solo de las mismas empresas productoras sino también de los gobiernos para tener la infraestructura física y de conocimiento necesarias para cubrir los requerimientos de esta nueva revolución industrial.

REFERENCIAS

- [1] M. Casalet. "La digitalización industrial." Un camino hacia la gobernanza colaborativa. Santiago, Chile: Naciones Unidas. 2018
- [2] A. Sánchez Aguilar.. " De un gran volumen de datos a datos inteligentes." Newsletter XXV Aniversario: La explotación de los datos, visualización y otras tecnologías, 61, 130. 2016
- [3] clioekumene.webnode.es. (2014). "El crecimiento demográfico en los siglos XVIII y XIX." 22 mayo 2019, de clioekumene Sitio web: <https://clioekumene.webnode.es/historia2/el-lugar-de-europa-en-el-poblamiento-de-la-tierra/el-crecimiento-demografico-en-los-siglos-xvii-y-xviii/>
- [4] A. Azaña Garcia, (2016). Cuatro revoluciones industriales. abril 15, 2019, de Grupo Informaria. Sitio web: <https://www.agendaempresa.com/72101/cuatro-revoluciones-industriales/>
- [5] J.J. Méndez, E. Álvarez, C. De Santiago. "Elementos para la caracterización de empresas logísticas." En Investigaciones y aplicaciones de ingeniería en la cadena de suministro (260). México: Pearson Educación. 2017

[6] DHL. (2017). "Logística 4.0: El uso de drones para la gestión de inventario." mayo 9, 2019, de DHL Sitio web: <https://youtu.be/onzh3A-PYFU>

<https://sites.google.com/site/elmilagromexicanoii/ desarrollo/la-migracion-del-campo-a-la-ciudad>

[7] CNET en español. (2014). "Estos son los robots que logran que tu pedido de Amazon llegue tan rápido." mayo 9, 2019, de CNET en español Sitio web: <blob:https://www.youtube.com/56623c78-4a29-44cc-ae6d-b2e26e89e401>

<http://www.tedear.com.ar/2017/07/18/estamos-viviendo-el-amanecer-de-la-cuarta-revolucion-industrial/>

<https://vaiu.es/la-vida-cotidiana-en-1900s/>

[8] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2018). "Agenda de Innovación de Querétaro." Abril 21, 2019, de CONACYT Sitio web: <http://www.agendasinnovacion.org/wp-content/uploads/2015/01/2-Diagn%C3%B3stico-del-sistema-de-innovaci%C3%B3n8.pdf>

<https://yolandamuriel.com/2012/01/06/henry-ford-el-concepto-de-produccion-en-serie/>

[9] Banco Interamericano de Desarrollo, SCT, SE. (2013). "Sistema Nacional de Plataformas Logísticas." Abril 21, 2019, de SE, SCT, BID Sitio web: http://logisticsportal.iadb.org/sites/default/files/presentacion_sistema_nacional_de_plataformas_logisticas.pdf

[10] M. Hernández (2018). "En Querétaro, hay un millón 231 mil 798 usuarios con acceso a internet: INEGI." mayo 5, 2019, de Código QRO Sitio web: <http://codigoqro.mx/2018/02/20/en-queretaro-millon-231-mil-798-usuarios-acceso-a-internet-inegi/>

REFERENCIAS DE IMÁGENES

<http://www.cisgrouppla.com/que-es-la-cuarta-revolucion-industrial-y-que-tiene-que-ver-con-la-tecnologia-digital-2/>

<http://cristodelpica.blogspot.com/2014/11/que-es-la-artificial-inteligencia.html>

<https://www.elcomercio.com/tendencias/rusia-planificacion-viajes-turismo-espacio.html>

https://es.wikipedia.org/wiki/A%C3%B1os_1960
http://www.iesporza.educa.aragon.es/libro_historia_espagna/la_revolucion_industrial_en_espaa.html

<https://www.lifeder.com/segunda-generacion-computadoras/>
<http://negrowhite.net/moda-masculina-desde-principios-del-siglo-xx-a-nuestros-dias/>

<https://planetamisterio.net/la-electricidad-que-nikola-tesla-descubrio/>

<https://www.sdpronoticias.com/estilo-de-vida/2014/01/24/como-era-la-moda-en-los-60>

Tendencias g-locales de la logística en los programas de postgrado en el mundo

Angela Nathalia Solarte Villotaa
Grupo de Investigación en Competitividad y Productividad
Empresarial (GICPE) Universidad Autónoma de Occidente
Santiago de Cali, Colombia
ansolarte@uao.edu.co

Jairo Alexander Lozano-Moreno
Grupo de Investigación en Competitividad y Productividad
Empresarial (GICPE) Universidad Autónoma de Occidente
Santiago de Cali, Colombia
jlozano@uao.edu.co

Resumen— La gestión de la cadena de suministro (SCM), la logística, y las Instituciones de Educación Superior (IES) con su importante labor en la trasmisión de conocimientos para la formación de talento humano especializado que responda a plenitud a las necesidades del entorno envuelto en los dinamismos de la globalización, son asuntos primordiales para la creación de ventajas competitivas que permitan sobrevivir en un mundo donde las exigencias en logística y SCM cada vez son más complejas. Sin embargo, para garantizar una educación de calidad es necesario emplear estrategias de benchmarking vistas desde un punto de vista g-local que permitan analizar el entorno exterior para propender su comparación y mejoramiento con base a lineamientos regionales e interregionales. Frente a vacíos en la literatura de este tipo de estudios, se propone identificar las tendencias g-locales de programas en logística y SCM (maestrías) con intención de encontrar que estrategias están empleando las IES para dar respuesta a todas a un entorno globalizado. Para el estudio realiza la búsqueda de programas en cuatro zonas geográficas, Asia, Europa, Norteamérica y Latinoamérica, con la información registrada se aplican estrategias para clasificación y análisis de información cualitativa y herramientas de estadística descriptiva con tres intenciones, en primer lugar, realizar un análisis económico a nivel local que permita comparar los costos de los programas a nivel global mediante la definición de un Indicador Ingreso-Costo (IIC) que se basa en el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita y los costos anuales promedio del programa; en segundo lugar, sintetizar la información de los perfiles por zona geográfica y finalmente identificar las tendencias en los contenidos curriculares de los programas y la alineación con los perfiles. Dentro de los resultados se determina los territorios con mejor y peor relación Ingreso-Costo, las tendencias educativas globales y por zona geográfica y la alineación con sus perfiles.

Palabras Clave— Logística, SCM, tendencias curriculares, g- local, Instituciones de Educación Superior, PIB.

I. INTRODUCCIÓN

Las adecuadas aplicaciones logísticas y en gestión de la cadena de suministro (SCM) actúan como factores claves en la creación de ventajas competitivas tanto para las empresas como para las naciones[1]–[4], sin embargo la globalización de la economía, las comunicaciones y los negocios están llevando a la redefinición de sus estrategias[3], considerando pertinente formar capital humano de calidad[5], bajo el cambiante marco de las necesidades logísticas y de la SCM[6], y desde un aspecto global y local a la vez (g-local)[7]. El mismo neologismo de glocalización hace que las fronteras geopolíticas desaparezcan, pues lo regional busca su espacio en la proximidad, mientras que la tecnología y la economía conducen a un escenario que cada vez tiene menos barreras[7], permitiendo que el conocimiento pueda ir más allá del contexto inmediato para atender necesidades externas.

Es aquí donde las Instituciones de Educación Superior (IES), en su rol de agentes clave en la generación y transferencia del conocimiento[8]–[12], juegan un papel importante al rastrear no solo las necesidades globales y las nuevas tendencias en formación, sino también el marco de acción local de las mismas, con el fin de estructurar programas académicos que respondan plenamente a las necesidades del mercado [13]. Vega, Huanca y Fernández [14] definen las IES como agentes de desarrollo cuyas funciones hoy por hoy trascienden el campo de la docencia y la investigación, pues éstas además de brindar soporte tecnológico y asesoramiento, contribuyen directamente a las actividades de innovación.

En ese sentido, se hace inminente la búsqueda del mejoramiento continuo en el ámbito educacional para alcanzar una formación de calidad, de ahí la importancia de enfocar estrategias de benchmarking para la observación del entorno directamente vinculado al desarrollo de la visión educativa[15]. A partir de una revisión de la literatura, se encuentran algunos desarrollos de éste tipo de estrategias para los estudios en

logística y SCM [16]–[18] cuyas metodologías se basan en la realización de análisis comparativos curriculares, con el fin de diseñar propuestas educativas o mejorar los fundamentos de la mismas, sin embargo, dichos estudios no expanden su visión hacia el fenómeno de la glocalización, pues su análisis solo centra en el contexto local, sin tener en cuenta el factor económico, necesario para elegir dónde acceder a la formación, ni la correspondencia entre los perfiles profesionales y los currículos ofrecidos.

Frente a tales vacíos, el presente artículo analiza de manera g-local el factor económico, las competencias de formación y los contenidos curriculares de maestrías afines a la logística y la SCM, ofrecidas por las principales IES en el mundo, evidenciando las estrategias que éstas han asumido para enfrentar los retos de la globalización, dicho estudio se logra a través de la identificación de tendencias para cada una de las cuatro zonas geográficas en estudio: Asia, Europa, Norteamérica y Latinoamérica, a partir de información que incluye las estructuras programáticas de los programas (oferta de cursos obligatorios y electivos), la ubicación de la IES en rankings mundiales, los perfiles ocupacionales y parámetros económicos como el Producto Interno Bruto per cápita (PIB per cápita), costos promedio de los posgrado y la TRM para cada país, a intención de demostrar cómo éstos aspectos locales pueden ser comparables y relacionados desde un enfoque mundial y que tan bien alineados se encuentran los perfiles ofrecidos con el diseño de los contenidos programáticos.

II. METODOLOGÍA

La siguiente metodología describe el proceso de investigación de corte exploratorio centrado en la indagación de información referente a maestrías afines a la logística y la SCM, con el objetivo de identificar tendencias globales en sus contenidos curriculares y las estrategias de la IES frente a la globalización. En cuanto al tipo de datos se contó con información tanto cualitativa como cuantitativa, con los cuales se emplearon procedimientos

basados en la clasificación y medición para su interpretación, usando como mecanismo la estadística descriptiva.

Para la consolidación de la población y levantamiento de la información, se tomaron 60 programas de maestría ofrecidos por 57 IES incluidas en dos diferentes rankings: “QS World University Rankings”[19] y “Webometrics Ranking of World Universities”[20]. La búsqueda consideró ofertas vigentes en el primer semestre del año 2017 teniendo en cuenta las siguientes zonas geográficas (delimitación geográfica): Asia, Europa, Norteamérica y Latinoamérica. La base de datos con las diferentes maestrías ofrecidas por las IES seleccionadas, se construyó considerando las siguientes variables: Nombre de la IES y su posición en cada ranking, país donde se ofrece, nombre y duración de la maestría, objetivos y perfil profesional, cantidad y temática de los cursos obligatorios, cantidad y perfil de los cursos electivos, costo del programa en moneda local y PIB per cápita del país.

Los datos resultantes se parametrizaron bajo tres enfoques: análisis económico, síntesis del perfil y la identificación de tendencias curriculares. En el análisis económico se utilizó la tasa de cambio representativa del mercado (TRM) 1 para convertir el costo del programa de moneda local a dólar estadounidense (USD) con el fin de utilizar esta última como divisa base de comparación. Posteriormente, se construyó un indicador dividiendo el costo del programa en el PIB per cápita de cada país para tener una visión respecto al rendimiento de las condiciones económicas y sociales de las IES frente a la economía nacional. En el segundo enfoque, se compiló la información disponible en los perfiles profesionales para cada zona geográfica y finalmente se identificaron las tendencias curriculares la clasificando los cursos obligatorios en 13 categorías “Tabla I” que surgieron tras identificar la correspondencia entre los nombres de las asignaturas con los eslabones de la cadena de suministro y temáticas afines a las áreas de simulación, finanzas, emprendimiento, humanidades y demás.

Tabla 1. Categorías para la clasificación de los cursos obligatorios

No.	Categoría	Descripción.
1	Compras	Incluye temas relacionados con el primer eslabón de la cadena de suministro como compras, aprovisionamiento, relación con proveedores y análisis de la demanda.
2	Almacenamiento e inventarios	Abarca referentes a la gestión de inventarios y los procesos de almacenamiento y manejo de centros de distribución.
3	Producción	Temas afines a producción, incluyendo procesos de manufactura, dirección de operaciones y gestión de
4	Servicios de apoyo	Se considera a las áreas de marketing, comercio internacional, embalaje, sistemas de información, gestión del talento humano, servicio al cliente y TICs.
5	Distribución	Abarca asignaturas especializadas en el área de distribución y transporte, teniendo en cuenta asuntos de infraestructura, normativas y procesos de gestión documental
6	Métodos y modelos de simulación	Se registran materias relacionadas a simulación de procesos y métodos de modelación matemática
7	Gestión empresarial	Áreas relacionadas con la gerencia estratégica, inteligencia de negocios, estrategias competitivas, habilidades gerenciales y demás.
8	Proyectos	Referentes a la planificación, evaluación y ejecución de proyectos sobre innovación, tecnología,
9	Investigación y trabajo de grado	Contiene asignaturas destinadas a procesos de investigación y la construcción del trabajo de grado
10	Finanzas	Tales como ingeniería económica, planificación financiera, gerencia e costos y demás
11	Humanidades y habilidades blandas	Referente a humanidades como ética y cuidado ambiental, así como también a habilidades de liderazgo y comunicación asertiva.
12	Planificación y estrategias de la CS	Relativo a asignaturas propias a la gestión y planificación estratégica de la cadena de suministro.
13	Énfasis logístico	Cuyos nombres enfatizan al área logística tanto en fundamentos como en asuntos especializados como logística verde, reversa, inteligente, integral, humanitaria, lean, entre otros

Es importante resaltar que una limitación clave para el desarrollo de esta etapa fue que no todos los contenidos temáticos de los cursos estaban con el mismo nivel de detalle. Lo anterior conllevó en ciertos casos a una clasificación subjetiva siguiendo la similitud encontrada en los nombres de las asignaturas, mas no en sus contenidos.

III. RESULTADOS

Tras la identificación de 60 programas de maestría afines al área de estudio, se encontró que la mayoría de ellos se ofrecen en IES latinoamericanas (22 programas), seguidos por Europa, Norteamérica y Asia respectivamente “Ver Tabla 2”.

Tabla 2. Frecuencias para cantidad de posgrados ofertados por zonas geográficas

Zona Geográfica	Frecuencia absoluta (No. Programas)	Frecuencia relativa (%)
Asia	7	12%
Europa	17	28%
Latinoamérica	22	37%
Norteamérica	14	23%

Profundizando en el contexto Latinoamericano, la Figura 1 muestra que 17 de las 22 las maestrías afines a la logística y la SCM se ofrecen en Colombia, México y Chile. Igualmente se encuentran dos ofertas en Panamá; mientras que Argentina, Perú y Salvador cuentan con un solo programa cada una.

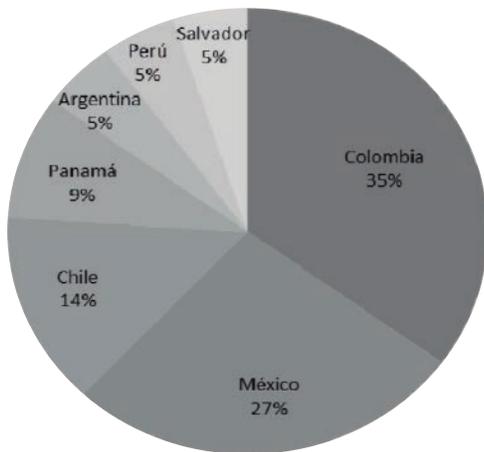


Figura 1. Distribución de ofertas en Latinoamérica

A. Análisis económico

Como se explicó anteriormente, se realizó la conversión a USD de los costos anuales de un posgrado en promedio para cada país haciendo uso de la TRM y se utilizó el PIB per cápita más reciente (2017-2018) para la estructuración del Indicador Ingreso-costo (IIC) (1) que relaciona “la riqueza anual producida y disponible en promedio por habitante de cada país”[21] y la inversión del programa para el mismo periodo de tiempo e igual territorio.

$$IIC = \frac{CPP}{PIB \text{ per cápita}} \quad (1)$$

Donde:

CPP= Costo Promedio programa (USD anual)

PIB per cápita (USD anual)

La Figura 2, muestra el rango de los indicadores obtenidos por cada una de las zonas geográficas definidas, la que representa mayor amplitud en el rango de relación ingreso- costo es Asia, donde se encuentran IIC que van desde 0.9% hasta 120%, evidenciando gran variabilidad en cuanto a las riquezas esperadas por persona y la considerable significancia que tienen los costos del programa para los países que se encuentran en el límite superior en comparación a los que se ubican en el límite inferior del rango. Por su parte la menor amplitud la presenta Norteamérica, pues además de ser la zona con menos países en estudio, sus IIC no exceden a más de 36.2% ni menos de 17.6%. Igualmente cabe destacar que la amplitud de los rangos por zona geográfica no depende de la cantidad de países que conformen el estudio, pues siguiendo tal sentido, Latinoamérica debería ser el de mayor amplitud, sino que éste se rige cuando homogénea sea la correspondencia entre los ingresos y costos de los países.

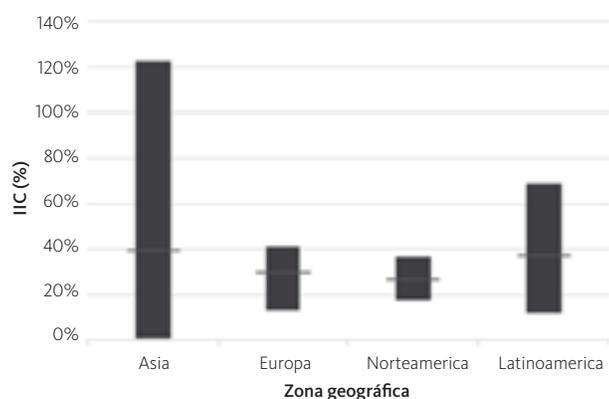


Figura 2. Rango indicador IIC

En el mismo sentido se realiza un análisis detallado del PIB per cápita para cada país con intención de conocer el perfil económico y social de la maestría (y las IES) frente a la economía nacional, en la “Tabla III” se puede observar que el país con mejor IIC es China con 0,9% de ahí que a pesar de no tener un PIB per cápita tan elevado como Singapur, el costo de estudiar un posgrado es muy bien equilibrado con respecto a los ingresos esperados.

El siguiente con mejor IIC, pero con considerable diferencia del primero (10.8 cifras porcentuales), es Panamá con 11.7%, país que tiene el segundo PIB per cápita más alto dentro de la zona latinoamericana y el segundo menor costo anual por programa.

A caso contrario se encuentra Bangladés con 122.6%, territorio que posee el IIC más alto, el cual incluso supera el 100%, eso significaría que con los ingresos anuales esperados por persona no se alcanzaría a cubrir los costos de un año de maestría y es que Bangladés se encuentra en la lista de los 10 países con menor PIB en Asia [22]. El siguiente IIC más alto lo tiene Colombia con 69.2% a quien le corresponde uno de los PIB per cápita más bajos dentro de su zona geográfica de estudio.

Tabla 3. Indicador macroeconómico por país

Zona geográfica	País	PIB per cápita (USD)	CPP (USD)	Indicador
Asia	Banglades	1,578.1	1,934.9	122.6%
	China	9,153.6	81.2	0.9%
	Hong Kong	46,010.7	6,876.1	14.9%
	Singapur	59,524.6	11,847.5	19.9%
Europa	Alemania	45,808.0	16,716.1	36.5%
	España	29,008.0	9,315.5	32.1%
	Finlandia	47,376.0	6,164.9	13.0%
	Italia	32,480.0	9,247.4	28.5%
	Polonia	14,448.0	5,940.8	41.1%
	Reino Unido	40,320.0	7,566.1	18.8%
	Suecia	51,408.0	13,736.9	26.7%
	Turquía	8,855.8	3,428.3	38.7%
Norteamérica	Canadá	43,897.3	7,743.4	17.6%
	Estados Unidos	59,741.9	21,890.5	36.6%
Latinoamérica	Argentina	11,248.2	1,641.1	14.6%
	Chile	15,405.6	5,575.2	36.2%
	Colombia	6,270.9	4,337.3	69.2%
	México	9,309.4	3,773.3	40.5%
	Panamá	15,068.5	1,767.1	11.7%
	Perú	6,711.0	1,792.8	26.7%
	El Salvador	3,754.2	2,370.0	63.1%

B. Análisis del perfil

Inicialmente se realiza una síntesis de la información dispuesta en los perfiles de las ofertas de posgrado estudiadas para cada territorio, a fin de identificar rasgos característicos de cada una, es así como se sustrae que para el sector asiático, las bases sientan sobre la comprensión integral de la cadena de suministro, desde un marco empresarial con capacidad para analizar asuntos económicos apoyándose de las tecnologías, además se hace hincapié en la implementación de soluciones para los desafíos en lo que a transporte se refiere. Las competencias principales se relacionan con la aplicación de modelos y herramientas para mejorar los procesos de adquisición, alinear las operaciones al margen estratégico y una adecuada selección y

relación con los proveedores. Las ofertas laborales posibles son referentes a cargos ejecutivos, analistas de la cadena de suministro y planificadores de la misma.

Para el caso de Europa los perfiles convergen en habilidades como el liderazgo, confianza, visión direccional, capacidad para tomar decisiones, resolver problemas, implantar procesos y herramientas que permitan innovar constantemente. De igual forma se considera facultad para la selección, evaluación y negociación con proveedores. Por otra parte, sugieren que dicho perfil es competente para ejecutar cargos como consultor, managers en logística, gestor de compras y aprovisionamiento, planificador de la demanda, producción y/o transporte, estrategia de cadenas de suministro; gerente de la SCM, director de proyectos de logística o analistas de inventario. Con lo anterior evidencian que los profesionales tienen un amplio campo laboral en cualquier tipo y área de una organización, sin embargo se destaca la industria fabricación de automóviles, fabricación de maquinaria, fabricación de precisión y TI transporte y logística, empresas aeroespaciales y empresas de consultoría.

Respecto al perfil para Norteamérica se destacan áreas de aprendizaje en negocios, investigación de operaciones y gestión de la cadena de suministro, Six Sigma, Gestión de calidad total, Just-in-Time, Lean; habilidades como la comunicación efectiva y el pensamiento crítico y analítico en el campo del transporte, la investigación y el análisis del mercado, el desarrollo de pronósticos de demanda, el uso de tecnologías como sistemas, aplicaciones y productos en procesamiento de datos (SAP); Se mencionan cargos gubernamentales, en industrias de transporte y consultoría, puestos de gestión general y funcional cualquier área de la cadena de suministro y externalización global y facultades portuarias dado a certificaciones e el asunto como proporcionada por el Instituto Canadiense de Tráfico y Transporte (CITT).

Así mismo en Latinoamérica, se destaca la innovación, el uso de las TIC, las prácticas

sostenibles, la responsabilidad social, investigación y la facultad para aportar al desarrollo de la infraestructura logística de los territorios, en adición se nombran habilidades como la tenacidad, capacidad crítica y proactiva, trabajo en equipo y visión emprendedora. A modo general se resalta la habilidad para alinearse a los propósitos estratégicos y la habilidad para formular modelos matemáticos que posibiliten la resolución de problemas, todo lo anterior manejado bajo conceptos éticos. Dentro de los cargos se menciona la consultoría, la docencia, interventoría en procesos de comercio, investigación, funciones directivas y de gerencia.

C. Tendencias curriculares

Para identificar las estrategias que las IES están desarrollando para la formación de talento humano que responda a las necesidades de la sociedad y se desenvuelva ante un mundo globalizado, se realiza el análisis de las estructuras curriculares mediante el empleo de estadística descriptiva, logrando determinar las áreas del conocimiento de mayor y menor énfasis por región. Finalmente se retroalimentan los resultados con el perfil identificado para determinar si el enfoque académico predominante posibilita el desarrollo de las competencias mencionadas en el apartado anterior.

1) Estructura curricular (cursos obligatorios)

En el Territorio Asiático se compilan 38 temáticas abordadas por las 7 ofertas encontradas, se observa que la categoría con mayor peso temático es la 12 con un 22% que aborda asignaturas relacionadas a: planificación y diseño de la cadena de suministro, medidas de desempeño para la gestión de la cadena de suministro, entre otros; Las siguientes son las categorías uno, tres, cinco y siete las cuales tiene un porcentaje del 13%, la primera de éstas se refiere a conceptos de gestión de relaciones de compra, suministro, adquisiciones y negociación de contratos; la segunda a gestión de calidad y estratégica de operaciones en la cadena de suministro; la tercera a diseño de carreteras, evaluación del transporte, fundamentos del flujo de tráfico y control de tráfico; y, la última, a la planificación de los recursos empresariales y sistemas empresariales.

Con esto se evidencia que existe alineación entre el perfil ofrecido y el énfasis de su contenido curricular en lo referente a logística integral, adquisiciones, transporte.

Por su parte, se encuentra que seis categorías tienen un 3% de participación en los currículos de las ofertas asiáticas, estos son: categorías dos con referentes en sistemas de almacenaje y manejo de materiales, categoría cuatro con sistemas de información logística, categoría seis que aborda modelado para sistemas de la cadena de suministro, categoría ocho con proyecto de investigación, categoría nueve que se refiere al trabajo de grado y por último la categoría diez que trata el tema de contabilidad financiera intermedia.

En Europa se analizan 126 cursos presentes en los currículos de las 17 ofertas encontradas. El 15% de los contenidos se relaciona a la categoría 13 dentro de la cual se resaltan temáticas como; dimensión europea de la logística, lean logística, logística humanitaria-socorro en casos de desastres y logística en países de desarrollo; seguidamente se encuentra la categoría cinco con un 12% y temas como: marco de la planificación del transporte, gestión de infraestructuras de transporte y modelos de transporte; con un porcentaje igual lo hace la categoría 11 que trae a colocación cursos de: sostenibilidad medio ambiental, responsabilidad social, ética empresarial internacional y gestión y liderazgo.

A pesar de que dentro de los énfasis académicos se encuentra el área de transporte, mencionada en el perfil, una de las áreas que también debería tener mayor predominancia es la de compras donde se consideran desarrollo de competencias para la negociación y relación con proveedores.

Los porcentajes bajos los asume la categoría 10 con un 3% la cual aborda asuntos de administración y finanzas, gestión del desempeño financiero y finanzas para operaciones y gestión de la cadena de suministro; y la categoría 8 con un 2% en temas de gestión de proyectos y proyecto de innovación empresarial.

Por su parte, en Norteamérica se identificaron 126 asignaturas, luego del proceso de clasificación y conteo, arrojan que para este territorio el 12% de los cursos tratan temas afines a la categoría cinco con asignaturas de: análisis para gerentes de transporte, planificación y políticas de transporte, operaciones de terminal portuario y de transporte en logística global; la categoría 12 se encuentra presente en un 11% con temas sobre: estratégicas de la cadena de suministro, ingeniería de la cadena de suministro gestión de la cadena de suministro: fundamentos y tendencias. En un 10% se observa a la categoría 6 con: modelos estocásticos con aplicaciones, gestión con software de aplicación empresarial utilizando SAP, modelos teóricos en la gestión de la SCM entre otros; con un porcentaje igual lo hace la categoría 7 en cursos de introducción a las funciones empresariales y de gestión, organizaciones empresariales y demás; así mismo la categoría 13 donde unos de sus referentes son logística aplicada para el éxito de la cadena de suministro internacional y logística globalización y desarrollo económico. El enfoque académico para éste territorio efectivamente posibilidad el desarrollo de las competencias mencionadas en el perfil pero el principal enfoque debería llevarlo el área de simulación y modelos matemáticos.

Por su parte, las categorías menos tratadas son las uno y nueve con un 5%, las cuales respectivamente hacen alusión a gestión de compras, proveedores e investigación aplicada para consultoría de negocios. Finalmente, el porcentaje más bajo lo lleva la categoría dos con un 4%, por tanto, los asuntos menos abordados por los programas afines a la maestría en logística en Norteamérica son acerca de la dirección de control y gestión de inventarios y diseño de sistemas de almacenamiento.

El caso de Latinoamérica sus estudios de maestría se basan en las categorías tres y cinco con un 13% y dos con un 12%. Para la primera, se registran nombres como: sistemas de manufactura de la cadena de suministro, producción y gestión de operaciones, sistemas de gestión de la calidad y

auditoria; para la segunda: sistemas de distribución logística, estrategia de transporte y redes de distribución, políticas de embarque y transporte, operación y normatividad portuaria, procesos aduanales internacionales y demás; y para la tercera: planeación y control de inventarios, distribución y planeación física de almacenes, almacenaje y mantenimiento, manejo de materiales, estrategia de almacenamiento entre otros. De igual forma, otro de los contenidos mayormente tratados es el de la categoría 13 con un 10%, en ellos se manejan conceptos como: Logística internacional, logística inteligente, outsourcing logístico, logística íntegra, y demás.

Las áreas menos tratadas (inferiores al 5%) son las categorías uno, diez y once. En la categoría uno se destacan cursos de: cadena de suministro alineada a la demanda, compra y gestión de proveedores, sistemas de abastecimiento y estrategias de suministro; en la categoría diez se aborda: ingeniería económica avanzada, fianzas, costos en logística, planificación financiera y gerencia de costos; finalmente en la categoría once se visualizan cursos de: liderazgo y formación de valores, responsabilidad social y ética de la empresa, gerencia y liderazgo y gestión Ambiental y de Seguridad. A partir de lo anterior se observa que mediante lo sintetizado en el perfil que una de las categorías de mayor enfoque debería ser la doce donde se tratan asuntos de planificación estratégica enfocada a la SCM, así mismo la 9 referente a proyectos de investigación y la 4 donde se abarca el concepto de las TIC.

Para hacer una contextualización sobre la respuesta de las IES a bajo el marco de la glocalización se realiza un gráfico de barras (Figura 3) a partir del cual es posible evidenciar que el mayor énfasis curricular a nivel global se da en el área de distribución y de manera local la zona geográfica con mayor contenido en el tema es Latinoamérica, seguidamente se encuentra el énfasis logístico en la que a Norteamérica le corresponde la porción más grande de dicho enfoque. En contraposición, la categoría con menos tratada globalmente es finanzas y a su vez

Asía, quien a nivel local le da menor prioridad en sus currículos.

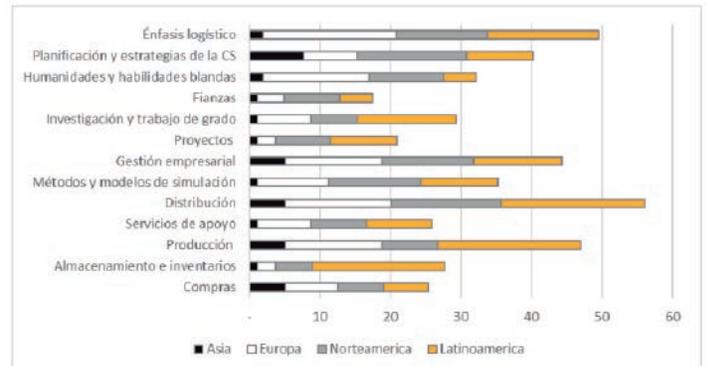


Figura 3. Tendencias curriculares globales por zonas geográficas

2) Flexibilidad del currículum (cursos electivos)
 Los cursos electivos son el mejor indicador de flexibilidad de los programas de formación en la IES. Para identificar las tendencias y la flexibilidad del programa frente a los retos de la globalización se analiza la información respectiva para cada una de las zonas geográficas definidas en el presente estudio. Posteriormente se clasifican las temáticas correspondientes a cada categoría (ver Tabla 4) y se realiza el análisis de las mismas.

Tabla 4. Categorías para la clasificación de los cursos electivos

No.	Categoría	Descripción
1	Logística y SCM	Referente a logística y cadena de suministro, abarcando la gestión de inventarios, información y operaciones
2	Transporte y distribución	Incluye tramites especiales aduaneros y demás
3	Infraestructura logística	Relacionado con tecnología energética, información geográfica y diseño de infraestructura.
4	Costos y finanzas	Abarca cursos afines a asuntos económicos y/o financieros
5	Simulación y modelos	Referente a los modelos matemáticos, métodos y herramientas de simulación.
6	Negociación abastecimiento	Afin de relacionarse con proveedores, gestión de almacenes y materiales
7	Gerencia de proyectos	Relativo a gestión de proyectos, calidad y riesgos.
8	Marketing	Relacionado a ventas, comercio internacional, mercadeo y afines.
9	Sector público	Cursos que abordan al sector público
10	Habilidades blandas y profesionales	Temáticas como liderazgo, emprendimiento, planeación estratégica, entre otras.

En Asia las categorías uno y tres tienen cada una un porcentaje del 21% con cursos referentes logística y cadena de suministro e infraestructura logística, cabe resaltar para la primera categoría cursos como: Logística industrial, gestión de la cadena de suministro de la industria del consumando, logística sanitaria, cadena de suministro verde, visualización de la cadena de suministro e inteligencia procesable entre otros; por su parte la categoría 3 cuenta con asignaturas de Ingeniería civil en tecnología, estrategia y organización del sistema público local, ingeniería del tráfico asistida por computadora con Matlab, estrategias, Diseño de infraestructura urbana; Estrategias en regiones de mega ciudades y países en desarrollo.

Para Europa se evidencia que el 36% de los contenidos electivos son referentes a logística y cadena de suministro, por mencionar los cursos más representativos se encuentra: logística sostenible, logística avanzada, logística de fábrica, cadenas de suministro humanitarias y salud pública y logística de mercancías peligrosas. Por su parte no se encuentran asignaturas referentes al sector público.

Por otra parte, en Norteamérica se observa que el 50% de los cursos electivos son referentes a logística y gestión de la cadena de suministro con asignaturas de: Análisis y diseño de cadenas de suministro, Gestión integral de logística, Planificación de recursos empresariales en la cadena de suministro, entre otros. Para este territorio no se ofertan referentes a infraestructura logística, costos y finanzas ni al sector público.

Como resultado en el territorio latinoamericano se observa que la mayoría de cursos electivos son referentes a la categoría 1 de logística y cadena de suministro con un 24%, entre los cuales cabe mencionar: Seguridad y medio ambiente para la cadena de suministro y Enfoques para el diseño de cadenas de valor. Seguidamente, con un 19%, se encuentra la categoría 5 relacionada a simulación y modelos matemáticos; por su parte cabe resaltar que no encuentran temas relacionados a infraestructura logística ni sector público.

Finalmente, la Figura 4 muestra un gráfico de líneas donde se representa el porcentaje de contenido curricular por categoría temática para los cuatro territorios en estudio, incluyendo la tendencia marcada por las instituciones líderes.

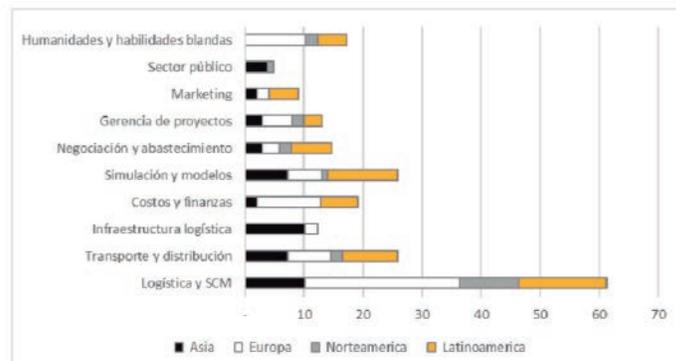


Figura 4. Tendencias curriculares globales de cursos electivos

De lo anterior se observa que el mayor énfasis global de los cursos electivos se da en logística y SCM correspondiente a cursos de énfasis en logística y gestión de la cadena de suministro, a la cual, la mayor importancia local le da la zona de Europa, seguidamente está la categoría de transporte y distribución, fuerte en Latinoamérica y la categoría en simulación y modelos que desde el punto de vista de los cursos electivos es una de las ofertas más variadas para Latinoamérica también.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con respecto al análisis económico es posible concluir el potencial de integrar el concepto g-local en la comparación de asuntos propios de un territorio, como el PIB per cápita y el costo de la educación de magísteres en logística con otras zonas geográficas, ahí que los resultados sugieren la pertinencia de acceder a éste tipo de formación en China cuya relación entre ingresos-costos anuales del programa es la más favorable. Para el caso del territorio latinoamericano, especialmente para Colombia quien presenta un IIC desfavorable, existen posibilidades cercanas como Panamá para acceder a formación con una relación de ingreso–costo mucho más favorable. Caso

contrario y especial se dio en Bangladés donde su IIC superó el 100% lo cual puede bien ser relacionado tras ser uno de los 10 países más pobres de Asia, sin embargo tiene una opción más beneficiosa y en el mismo territorio (China).

Asimismo, fue posible relacionar el factor g-local al análisis de tendencias curriculares e identificar las estrategias que ofrecen las IES frente a la globalización, pues se encontró que el área temática con mayor énfasis curricular a nivel global es distribución y transporte y a nivel local el sector geográfico con mayor enfoque en el tema es Latinoamérica. De igual forma se corroboró la correspondencia en la estructura curricular ofertada para el desarrollo de algunas competencias mencionadas en los perfiles, rescatando la mayor afinidad en Asia y menor alienación en Latinoamérica. Sin embargo, se rescata la importancia de flexibilizar la formación mediante la oferta de los cursos electivos para la obtención de las mismas.

Por último se recomienda hacer empleo de este tipo de investigaciones como estrategias de mejora educativa para otras áreas y complementar su análisis con el estudio de los requerimientos del mercado regional para el diseño de futuras o posibles propuestas de mejoramiento a programas existentes o diseño de nuevos posgrados con base a las características identificadas, a intención de alinear tendencias internacionales como estrategia de benchmarking a las necesidades presentes en el contexto inmediato.

REFERENCIAS

[1] D. Cardona Arbeláez, V. Balza Franco, and G. Henríquez Fuentes, *Innovación en los procesos logísticos: retos locales frente al desarrollo global*, 1st ed. Cartagena de Indias, Bolívar, Colombia: Universidad Libre, 2017.

[2] D. Donado and J. D. Alarcón, "Una Zona De Actividad Logística Como Estrategia De Desarrollo Regional," 2016.

[3] L. A. Mora Garcia, *Gestión Logística Integral: las mejores prácticas en la cadena de abastecimiento* (2a ed.). ECOE EDICIONES, 2016.

[4] J. L. Chicaiza and F. F. Sandaya, "La investigación en logística y transporte: comparación entre los países de la región Andina; retos y oportunidades para su desarrollo en el Ecuador," in *Congreso en ciencia y tecnología ESPE*, 2015, vol. 10, no. 1, pp. 275–280.

[5] E. J. Figueroa Martínez, Z. E. Fajardo, O. Bravo Santos, and P. Estrella Acencio, "Los escenarios educativos en la actualidad: historicidad, reflexiones y propuestas para la mejora educativa en el Ecuador.," *INNOVA Res. J.*, vol. 2, no. 10.1, pp. 175–188, 2019.

[6] C.; Avaliação and S. P. Sorocaba, "Educación Superior Comparada: Tendencias Mundiales y de América Latina y Caribe," no. 1, pp. 13–32, 2016.

[7] S. Fernández Parratt, *La Glocalización de la Comunicación: El macrofenómeno de la globalización*. 2002.

[8] J. Olea Miranda, O. Contreras, and M. B. Valenzuela, "Las capacidades de absorción del conocimiento como ventajas competitivas pa...: CRAI-Biblioteca," *Estud. GERENCIALES*, vol. 32, no. 0123-5923, pp. 127–136, 2016.

[9] E. R. Ponce, "El Rol De Las Universidades En La Sociedad Del Conocimiento Y En La Era De La Globalización: Evidencia Desde Chile," *Interciencia*, vol. 34, no. 11, pp. 824–829, 2009.

[10] J. E. Lombana Coy and A. E. Muñoz Santiago, "Competitividad, educación y empleabilidad: consideraciones para el desarrollo de los países," *Rev. Clío América*, vol. 11, pp. 169–176, 2017.

[11] E. A. Buendía Rice, "El papel de la Ventaja Competitiva en el desarrollo económico de los países," *Análisis Económico*, vol. XXVIII, no. 69, pp. 55–78, 2013.

[12] H. Silva-Guerra, "La innovación y educación: variables claves para la competitividad de las empresas," *Clío América*, vol. 11, no. 21, pp. 88–107, 2017.

[13] M. J. Foncubierta Rodríguez, J. L. Perea Vicente, and G. González Siles, "Una Experiencia En La Vinculación Universidad-Empresa: El Proyecto Cogempleo De La Fundación Campus Tecnológico De Algeciras," *Educ. XX1*, vol. 19, pp. 201–225, 2017.

[14] J. M. V. Jurado, I. F. de Lucio, and R. H. López, "La Relación Universidad-Empresa en América Latina: ¿Apropiación Incorrecta de Modelos Foráneos?," *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 2, no. 3, pp. 97–107, 2007.

[15] M. V. Contreras, M. Z. Sepúlveda, M. Albornoz, and M. S. Steel, "Una experiencia en el uso del Benchmarking para la educación en ingeniería," vol. 2, pp. 77–96, 2017.

[16] J. A. Giraldo Sagra, "Diseño de un proyecto educativo organizacional sistémico en el área de la logística mediante las TIC," *Educ. y Desarro. Soc.*, vol. 7, pp. 134–151, 2013.

[17] A. C. De Faria, J. A. Pereira, I. R. Peleias, L. C. Prearo, and R. S. Pereira, "Avaliação Do Ensino Sobre Gestão De Cadeias De Suprimentos Nos Cursos Superiores De Tecnologia Em Logística Na Grande São Paulo," *Rev. Alcance*, vol. 22, no. 2, p. 212, 2015.

[18] D. H. Ruiz Molina, G. Bravo Vargas, V. S. Flores García, and T. S. Ordoñez Hernández, "Estudio comparativo de planes y programas para la oferta del programa educativo de Ingeniería en logística, en una universidad autónoma del centro sur de México.," *Innovación y desarrollo tecnológico revista digital*, 2015. [Online]. Available: <http://www.uam.mx/licenciaturas/index.html>,. [Accessed: 24-May- 2019].

[19] "University Rankings | Top Universities" [Online]. Available: <https://www.topuniversities.com/university-rankings>. [Accessed: 24-May-2019].

[20] "Bienvenido a Ranking Web de Universidades | Ranking Web de Universidadeset" [Online]. Available: <https://www.webometrics.info/es>. [Accessed: 24-May-2019].

[21] H. G. Romo, *México frente a la mundialización neoliberal*. Ediciones Era, 2014.



2. AGROLOGÍSTICA

- Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística: soluciones aplicadas en el sector agroalimentario en el sur de Sonora.
- Mejoramiento en el proceso de distribución de alimento para ganado bovino utilizando el algoritmo de Dijkstra.
- Protected agriculture before climatic vulnerability in the agricultural supply chain: Review of the literature.
- Implementación de herramientas Lean Manufacturing en los procesos de preparación y distribución de alimento para ganado bovino

Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística: soluciones aplicadas en el sector agroalimentario en el sur de Sonora

*Alfredo Bueno Solano
Depto. Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de Sonora
Cd. Obregón Sonora, México.*

*Ernesto Alonso Lagarda Leyva
Depto. Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de Sonora
Cd. Obregón Sonora, México*

*Ernesto Alonso Vega Telles
Depto. Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de Sonora
Cd. Obregón Sonora, México*

*Javier Portugal Vázquez
Depto. Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de Sonora
Cd. Obregón Sonora, México*

Resumen— En este artículo se presenta una muestra de las soluciones que se han generado durante el ciclo agosto 2018 a mayo 2019 en el Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística sede Instituto Tecnológico de Sonora (SiTLOG Lab- Itson), localizado en el Estado de Sonora con una vocación agro- logística y con el compromiso de dar respuesta a las principales brechas detectadas en la logística y cadena de suministro en México. Los esfuerzos del laboratorio se realizan en sociedad con otras tres sedes ubicadas en prestigiosos centros de investigación que participan activamente y están localizados en el Querétaro (Instituto Mexicano del Transporte), en Mérida, (Universidad Autónoma de Yucatán), y en Nuevo León (Universidad Autónoma de Nuevo León). En este artículo se muestran los resultados actuales de diferentes investigaciones y los pasos futuros para ofrecer soluciones integrales a los productores del noroeste de México. Debido a la complejidad del análisis y estudio de la cadena de suministro, se utilizaron diferentes técnicas y aplicaciones orientadas al estudio holístico de los sistemas de suministro. Las conclusiones demuestran la importancia de justificar y mantener el financiamiento futuro para proyectos que permitan elevar los niveles de competitividad agro-logística, de formación de recursos humanos en temas de logística y cadena de suministro, así como la fuerte vinculación con el sector productivo en especial con el de agro-alimentos

Palabras Clave—Soluciones Agro-logísticas, Observatorio Logístico, aplicaciones Tecnologías en agro-industrias

I. INTRODUCCIÓN

Los Laboratorios Nacionales que ha apoyado el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) desde 2014 primero para su conformación y posteriormente para su consolidación, funcionan como unidades especializadas que refuerzan la infraestructura y equipamiento para el desarrollo científico y la innovación en temas fundamentales, con el fin de optimizar recursos, generar sinergias y ofrecer servicios constantes y de calidad, con convocatorias específicas, apoya la conformación de estas unidades de investigación para incidir directamente en la formación de recursos humanos de calidad con capacidad de llegar a ser autofinanciables a través de los servicios externos que ofrecen a las organizaciones [1]

Es de interés del CONACYT apoyar la constitución de laboratorios que atiendan problemáticas de interés nacional, que efectivamente cuenten cobertura nacional y con una vocación de investigación complementaria entre sí. En este sentido, ITSON definió su vocación como un laboratorio agro- logístico con la firme convicción de brindar servicios de valor para los productores del Noroeste de México con soluciones focalizados en el sector de agro-industria.

En este artículo se presentan las principales intervenciones durante el último año y los retos de futuro hacia 2021 para seguir consolidándonos como laboratorio, bajo el enfoque de materializar la visión de la universidad a través de los cuerpos académicos y la capacidad de Transformar y poner en acción la inteligencia colectiva con otros actores, para el beneficio de la región sur de Sonora y el noroeste del país, en donde la universidad, las organizaciones y gobiernos convergen y trabajan en conjunto, buscando el beneficio mutuo, entregando valor a la sociedad.

Es importante mencionar que las aplicaciones han sido desarrolladas por profesores, estudiantes de licenciatura y posgrado con la validación de los patrocinadores de las empresas involucradas en los últimos dos años.

II. RUTA METODOLÓGICA

El proceso de selección de proyectos en organizaciones del giro agroalimentario sigue las siguientes fases:

A. Vincular la universidad con la empresa.

En esta fase se elaboran un convenio general que es firmado por la institución y los directores de la organización con un horizonte de cinco años de duración, después se desprenden convenios específicos de acuerdo al diagnóstico de la organización, derivado de ello este último año se celebraron mas de diez convenios generales para el desarrollo de proyectos. Sin embargo, se presentan sólo los relacionados con el sector agroindustrial.

B. Diagnosticar la cadena de suministro de la organización

Esta fase permitió visualizar aspectos asociados a las variables críticas e indicadores logísticos claves de la cadena de suministro de la organización. El producto obtenido fue detectar las principales brechas sobre el desempeño que impactaban negativamente a la cadena de suministro.

C. Aplicar la Metodología

En función de la complejidad de las relaciones detectadas en los eslabones de la cadena de suministro bajo estudio se determina la metodología que podía resolver el problema. Durante el periodo de intres destaca el uso de la dinámica de sistemas (DS), estrategias de distribución, uso de sistemas para programación de los requerimientos de materiales (MRP) y el uso de drones con aplicaciones agro-logísticas.

D. Desarrollar la solución al patrocinador

En esta fase se le hace la entrega de la solución al empresario en un informe técnico para su implementación y se tiene un tiempo para observar las mejoras de la implementación, es posterior a ello cuando el empresario hace la entrega de una carta de satisfacción donde se reconoce la aportación.

E. Reportar resultados

En esta fase se hace el reporte de los principales indicadores de producción para organismos externos como el Conacyt, el Sistema Nacional de Investigadores, el Programa para el Desarrollo Profesional Docente. Como resultado de este desempeño se han visto beneficiados los miembros del Cuerpo Académico de Cadenas Productivas y el Programa de Maestría en Gestión de la Cadena de Suministro y el Programa de Licenciatura de Ingeniería Industrial y de Sistemas con recursos externos para continuar investigaciones relacionadas con la mejora de la fluidez de la Cadena de suministro con enfoque en la agro-logística.

III. RESULTADOS

A continuación, se presentarán los resultados actuales sobre los cinco proyectos del ciclo 2018-2019 que atienden las diferentes problemáticas que enfrenan las organizaciones del sur del estado de Sonora y norte de Sinaloa en sus esfuerzos por acceder a cadenas de suministro más rentables y competitivas en el ámbito nacional e internacional.

A. Comercializadora y distribuidora de productos

La organización bajo estudio consiste básicamente en la comercialización y distribución de productos pertenecientes a la canasta básica y se encuentra localizada en el Parque Industrial de Ciudad Obregón, Sonora.

La empresa es un programa social, inclusivo y autosustentable, que cubra las necesidades del trabajador, para apoyar a la economía local y generar una cultura del autoconsumo en la comunidad, ofreciendo una solución cómoda y económica a las necesidades alimenticias de calidad. Asimismo, la empresa adoptó ocho de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la ONU, los cuales consisten esencialmente en poner fin a la pobreza y al hambre, garantizando una vida sana y promoviendo el bienestar de todos.

Esto, con ayuda de ciudades y comunidades que

busquen mejorar el crecimiento económico de manera sustentable. [2]

El modelo de negocio de la organización está enfocado en fungir como intermediario entre el productor y el cliente final, buscando dar mayor mercado a los productos de la región. Esta actividad la lleva a cabo mediante una plataforma Web y una aplicación electrónica, en la cual los clientes realizan el pedido a la empresa y esta se encarga de llevar los productos hasta el cliente.

En esta empresa comercializadora y distribuidora de productos del sector primario se realizaron los siguientes proyectos específicos:

- Modelo para el análisis cuantitativo del comportamiento de las compras e inventarios. /Dinámica de Sistemas

El objeto bajo estudio de este proyecto se centró primordialmente en la estrategia del eslabón de abastecimiento de los productos tanto de cadena en frío y en seco. Al ser productos de canasta básica y con la intención de mantener los costos bajos, la empresa en ocasiones usa sus unidades de reparto para ir por los productos al almacén de los proveedores. Sin embargo, la investigación se enfocó en el proceso de recepción de los productos hasta la correcta disposición en inventario de cada uno de ellos según sus necesidades y características de almacenamiento.

La problemática abordada está relacionada con controlar y medir la rotación de los inventarios, el cual debido a los precios, el cambio de temporada, el apoyo a los productores regionales, la prioridad por parte de los productores de alimentos para la exportación al mercado estadounidense, entre otras variables, hacen que estandarizar las compras sea un reto complejo.

El objetivo del proyecto consistió en desarrollar una interfaz gráfica, que permite evaluar el desempeño del eslabón de abastecimiento de los productos seco y frío en diferentes escenarios empleando dinámica de sistemas. [2]

Para atender el objetivo se construyeron tres escenarios cuantitativos de los productos fríos y secos para mayoreo y menudeo, modificando los parámetros y variables críticas como son la demanda para mayoreo y menudeo, el tamaño de lote, el punto de re-orden, el costo de mantener un kilogramo en almacén, el costo de ir por productos con los proveedores en kilogramo, y el costo de abastecer productos en kilogramo.

Actualmente la plataforma tecnológica para la toma de decisiones se encuentra en una etapa de diseño para estandarizarlo con los demás sistemas de la empresa y posteriormente la empresa desea iniciar una etapa de registro y protección de la misma.

Cabe señalar que una vez evaluados los tres escenarios, se realizó un análisis de sensibilidad para medir el impacto de las diferentes políticas en la organización, así mismo, se atendió la problemática del proceso de abastecimiento proponiendo políticas de inventario de materia prima para atender los requerimientos del área de producción en función a la demanda, se diseñaron indicadores de desempeño, se atendió la variabilidad en la demanda, se está trabajando con los proveedores para disminuir los costos a través de modelos Tamaño económico de pedido (EOQ), entre otras estrategias más en caminadas a tener un mejor control de inventarios.

- Simulación del proceso de empaque de productos de anaquel.\Dinámica de sistemas

El proceso inicia con el picking de productos en seco y frío por separado, después pasan a empaqueo, posteriormente al área de espera, enseguida son enviados a concentración donde se unen en un paquete la porción de productos seco y frío, a continuación, pasan al área de inspección para por último ser almacenados en conservación a la espera de ser distribuidos

El objetivo de la investigación consistió en desarrollar una interfaz gráfica que capaz de analizar la utilización del proceso de empaqueo de productos

de anaquel en diferentes escenarios considerando la demanda y que permitan la toma de decisiones basada en datos [3]

Se caracterizó el proceso mediante un Value Stream Map (VSM), en este se describen los flujos de información y materiales, del proceso de empaqueo de productos con larga vida de anaquel. El proceso de empaqueo que inicia en el picking dura en promedio 35 segundos por paquete, considerando que el producto se encuentra listo para y liberado por el área de abastecimiento. En esta etapa a su vez, reciben órdenes de producción por parte del cliente y son validados por el administrador. El siguiente proceso del recorrido de los productos, siguiendo con el flujo de los materiales, es empaqueo con un tiempo de ciclo promedio de 48.7 segundos por paquete, seguido de inspección que realiza en un tiempo estimado de 10 segundos por paquete, por último, se encuentra el área de conservación para ser distribuidos.

Dentro del estudio del flujo del material se encontró que el 43.21% del tiempo de procesamiento se utiliza para el movimiento de la materia prima entre cada estación de trabajo, lo que indica una oportunidad de mejora para la empresa. Después de realizar el mapeo de la organización se procedió a elaborar el diagrama causal con las variables y parámetros más críticos, a continuación, tomando como base el diagrama causal se creó el Diagrama Forrester donde se obtuvieron las ecuaciones del modelo matemático que explican los resultados obtenidos, una vez establecido el modelo actual se procedió a llevar a cabo la simulación y la validación del modelo por medio de las pruebas de consistencia de unidades y de condiciones extremas, al obtener el modelo validado se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para obtener los modelos optimista y pesimista, Para la obtención del escenario optimista se tomó como base el VSM realizado mediante la metodología Lean Startup, que permite idealizar un camino para el desarrollo de la empresa poniendo como prioridad las necesidades del cliente, lo anterior es lo que lleva a la propuesta de cambiar

de un sistema push a pull donde se trabaja de acuerdo a la demanda del cliente lo que permite la eliminación de inventario en proceso e inventario final.

- Determinación de rutas de distribución para clientes actuales y potenciales \Dinámica de Sistemas

El elemento individual más importante en los costos de logística es la transportación de la carga para hacerla llegar al cliente [4], y que puede representar hasta el 50% del costo logístico total [5]

El objetivo de la investigación fue construir una interfaz gráfica que apoye la toma de decisiones basada en información cuantitativa en el proceso de distribución en función de la demanda y capacidad de una empresa dedicada a la comercialización de alimentos en la región Sur de Sonora, empleando dinámica de sistemas. [6]

El proceso inicia al recibir la orden de entrega y con base en esto se selecciona el vehículo de transporte basándose en la cantidad de paquetes a entregar por envío, debido a las distintas capacidades de los vehículos disponibles. Una vez identificado el vehículo en el cual se realizará la distribución, éste es cargado tomando en cuenta la información referente a la cantidad de paquetes de menudeo y de productos al mayoreo, el tipo de productos a entregar y el cliente al cual van dirigidos. Una vez cargado el vehículo lo siguiente es dirigirse a la ubicación de los clientes, cabe aclarar, sin rutas definidas de distribución. Al llegar el vehículo a su destino, se proceda a la entrega de los productos a los clientes finales en base a la orden de entrega. Actualmente desde el centro de distribución en el parque industrial de ciudad obregón se atienden las siguientes rutas de la región sur de sonora con servicios en Cd. Obregón (1.1 km), BÁCUM (28.3 km), Etchojoa (90.20 km) y el poblado llamado campo 5 (17.3 km). Una vez entregados los productos, el vehículo regresa a la empresa.

El modelo de dinámica de sistemas busca analizar los datos de manera confiable para que

los tomadores de decisiones puedan identificar las condiciones y políticas que les permitan enfrentarse a los retos presentes y futuros en el eslabón de distribución, logrando responder a los tiempos de entrega del cliente, la disminución de los costos de transporte y mejorando los flujos de la cadena de suministro estudiada.

Para esta parte del método, se presentan diferentes escenarios cuantitativos los cuales se simularán en el modelo, para determinar cuáles variables son más sensibles a el cambio de diferentes parámetros. Se presentan tres escenarios, el primero donde se representa una situación poco favorable para la organización, el segundo representará condiciones normales del proceso de distribución y el tercero representará situaciones favorables para la organización.

Los siete parámetros seleccionados para la realización de estos escenarios fueron bajo dos consideraciones: 1) El parámetro muestra impacto en los resultados obtenido; 2) La organización no ha considerado dicho parámetro en su análisis. Explicado esto, los parámetros seleccionados fueron:

- Demanda al mayoreo, la cual se mide en kilogramos ordenados por cada cliente;
- Demanda al menudeo, en donde ésta se refiere a la cantidad de paquetes pedidos por uno o varios clientes;
- Precio de diésel, expresado en pesos mexicanos por litro;
- Ingreso neto por kg, el cual toma el ingreso por kilogramo;
- Ingreso neto por paquete, representando el ingreso obtenido por paquete;
- Costo por llanta, haciendo referencia al costo de adquirir una llanta;
- Costo de mantenimiento, donde se considera lo pagado en los servicios realizados a la unidad de distribución.

Además, existen parámetros que se mantendrán constantes, como lo es la capacidad de cada uno de los vehículos, tanto al mayoreo como menudeo, así como también los tiempos de carga y descarga de los productos.

La interfaz generada permitirá a la organización bajo estudio seguir realizando simulaciones de sus rutas de distribución, donde a partir de la información que dicha interfaz genera se podrán tomar mejores decisiones, basadas principalmente en el volumen de la demanda.

Para lograr el objetivo y dar respuesta a la problemática encontrada, fue necesario la elaboración de un modelo dinámico que permitiera la simulación de diferentes rutas de distribución, por lo que se optó por el empleo de la metodología de dinámica de sistemas, la cual permite analizar sistemas complejos, como es el caso del objeto bajo estudio y, además, permite observar las relaciones de realimentación que tiene una variable sobre otra. A partir de dicho modelo, se generaron escenarios de simulación, bajo un escenario pesimista, normal y optimista, los cuales se utilizaron para realizar el análisis de la información generada y llegar a explicar el comportamiento del sistema.

A través del análisis realizado, fue posible determinar que el volumen de la demanda es la variable que mayor impacto tiene, ya que, al aumentar la demanda en cada uno de los escenarios, la utilidad obtenida en cada ruta crece en el momento que la demanda también sufre un incremento. Además, se determinó que entre mayor sea la utilización de la capacidad del vehículo, menor será el costo por unidad transportada, lo que a su vez determina una mayor utilidad a obtener.

B. Ruta metodológica para la creación de un observatorio agro-logístico para la región sur de Sonora

La investigación propone una ruta metodológica para el desarrollo de un observatorio agro-logístico en el sur de Sonora que permita gestionar y analizar de manera confiable los datos del sector. Con ello atiende uno de los retos más grandes para las

organizaciones de todos los tamaños como es la obtención y el tratamiento eficiente y seguro de los datos. Este reto no es exclusivo del sector productivo, sino también, de otros sectores como las organizaciones dedicadas a la investigación y desarrollo (I+D), requieren del acopio de datos útiles y fiables para poder construir modelos complejos y sofisticados que sirvan como herramientas para la toma de decisiones. [7]. Un observatorio Agro-logístico se puede entender como un instrumento de evaluación continua de las necesidades de los sectores económicos en relación a la capacidad de producción y la logística, siendo este, un punto de encuentro entre las empresas y los agentes decisores, lo cual permite integrar las necesidades del tejido empresarial con la planificación y gestión de infraestructuras y servicios.

Partiendo de la experiencia internacional en el desarrollo de instrumentos para la evaluación de indicadores en otras áreas del conocimiento, la presente metodología integra la metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas, propuesta en 2005 por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) [8], y la propuesta del modelo esquemático para establecer observatorios nacionales presentada en 2013 por el BID[9].

La integración se logra en tres etapas que abarcan el diseño, la ejecución y la evaluación propuestas por [10]. En la fase de diseño se deberá precisar las principales demandas que se enfrentarán en el observatorio en materia de logística y agroindustria, se deberá destacar la necesidad del sector, que estrategias se seguirán, así como el determinar las necesidades mediante el levantamiento de información a los expertos del área con la finalidad de generar conocimiento en cuanto a las necesidades del mismo. Durante la ejecución, se comparará y estructurará un observatorio con base al análisis de programas y observatorios tanto nacionales como internacionales que apoyen como referente a la creación del observatorio agro-logístico en México. Finalmente en la etapa de evaluación se

identificarán los requerimientos de información y sus fuentes para alimentar el sistema de indicadores del observatorio al mismo tiempo, se deberán definir los criterios de operación para el diseño preliminar del observatorio, incluyendo una primera propuesta de indicadores que servirán como base para el desarrollo del sistema de indicadores.

Actualmente el proyecto se encuentra en la etapa de diseño que consta de los siguientes pasos:

- *Identificar tipos de observatorios nacionales e internacionales.*
- *Construir el estado del arte.*
- *Realizar el benchmark.*
- *Definir lineamientos Agro – Logísticos.*
- *Diseñar la estructura organizacional del observatorio.*

Cabe señalar que con la elaboración de este proyecto, se contribuye en la generación de valor en diversos sentidos que se describen a continuación pero que no se limita a ellos. Se atiende a una necesidad manifiesta en el sector agro-logístico en torno a ofrecer alternativas que permitan mejorar el flujo seguro y eficiente de las cadenas de suministro. Se abrirán líneas de investigación entorno a soluciones agro-logísticas que abonarán en la consolidación y en el incremento de la productividad del cuerpo académico en productos de valor como artículos científicos y en la formación de recurso humano altamente competitivo y sensible a la generación de soluciones que fortalezcan la economía y el desarrollo sustentable de la región.

Los siguientes pasos incluyen actividades como analizar los posibles requerimientos de información para alimentar el sistema de indicadores del observatorio y definir criterios de operación para el diseño preliminar del observatorio, incluyendo una primera propuesta de indicadores que servirán como base para el desarrollo del sistema de indicadores del observatorio.

C. Exploración de aplicaciones agro-logísticas con uso de aeronaves no tripuladas (drones).

La agricultura desempeña un papel importante en la economía de México produciendo 750 cultivos diferentes ocupando un 16% de las hectáreas

nacionales, como principales cultivos, se producen el maíz grano blanco, grano amarillo, maíz forrajero, sorgo forrajero, sorgo grano, frijol y trigo. Sonora es el llamado granero nacional, que debido a su vegetación e infraestructuras hidráulicas le permite cosechar grandes cantidades de cultivos siendo el principal aportador de trigo al país, específicamente en el Valle de Yaqui, donde las condiciones climatológicas favorecen a este cultivo. Tras el paso de los años y debido al precio del dólar, los costos de producción se elevaron haciendo que el método tradicional reduzca los márgenes de utilidad para el productor, debido a esas situaciones los productores se ven en la necesidad de tomar decisiones inmediatas para la solución de problemas, empleando nuevas técnicas de precisión en cultivos. Por lo que la presente investigación se propone explorar el impacto que tiene el uso de drones en el seguimiento y control de los cultivos en la región sur de Sonora [11].

La agricultura de precisión (AP) se ha encargado de explotar el campo con el uso de la tecnología, controlando los efectos, cuya finalidad es mejorar la calidad aprovechando los recursos de la mejor manera. A través de estos nuevos modelos aplicados, se han generado datos precisos proveniente de cultivos, que ayudan a la toma de decisiones para poder predecir problemas y dar solución a ellos [12].

Para la realización de este proyecto se utilizaron los siguientes equipos y software del laboratorio nacional de sistemas de transporte y logística sede ITSON.

- *DroneDeploy: aplicación utilizada para realizar el plan de vuelo con las variables que se requieren para sobrevolar el cultivo del trigo.*
- *DJI Phantom 4 PRO: Utilizado para sobrevolar el cultivo de trigo y la toma de las imágenes de éste.*
- *FarmsLens: plataforma en línea utilizada para el procesamiento de las imágenes del cultivo del trigo bajo estudio.*

- *Software Visio 2007: Empleado para la creación de distintos diagramas empleados en el proyecto.*
- *Software Stella Architect®: Programa de simulación computacional gráfico utilizado para la realización de la interfaz dinámica.*

Con el desarrollo de la investigación el cliente pudo constatar que con monitoreo de DRONE, no se tienen pérdidas por la invasión al cultivo. De igual forma pudo constatar que puede identificar con precisión en nivel de estrés de la parcela y focalizar los puntos que requieren atención. El tiempo de análisis y de recolección de datos se reduce a minutos versus sistemas tradicionales. Al realizarse la prueba con 3 revisiones, se pudo constatar que solo se genera un 5% de daño del cultivo y se reduce a un 5% la mortandad de cultivo. Bajo estas condiciones la utilidad generada es de \$501,650; en cambio sin monitoreo de DRONE y 0 revisiones, un porcentaje de 25% de daño del cultivo y 15% de mortandad de cultivo, y la utilidad generada es de \$363,320. Reflejando una diferencia de \$138,330 pesos, en una parcela de 22 hectáreas con un rendimiento promedio de 6,500 kg.

Esta investigación exploratoria aún sigue en desarrollo para identificar más aplicaciones agro-logísticas con apoyo de drones. Cabe señalar que con estos resultados se puede calcular que el costo beneficio de un DRONE y software especializado se verá reflejado a partir del 2er año al momento de trabajar con 44 ha.

Otra recomendación es seguir desarrollando aplicaciones para apoyar la agricultura de precisión en la realización de actividades en el campo, específicamente en la comprobada utilidad de las aeronaves no tripuladas para la detección de cultivos afectados o que están por verse afectados por plagas y /o enfermedades.

IV. CONCLUSIONES

Las presiones de la competencia global y la necesidad de contar con una colaboración

inter-organizacional está forzando a las compañías a llevar al límite a sus cadenas de suministro exigiendo que sean más flexibles y que tengan rápida capacidad de respuesta.

En este sentido el laboratorio nacional de transporte y logística sede ITSON, participa en el desarrollo de soluciones pertinentes a las problemáticas de las organizaciones regionales empleando procedimientos robustos para que los resultados generados sean más confiables. Las principales conclusiones y recomendaciones se basan en tres años de implementación y desarrollo de soluciones para las organizaciones del sector agroalimentario.

Trabajo Futuro. Como resultado del avance del SiTLOG Lab-Itson, se está consolidando el proyecto de un dron para aplicaciones de mensajería en conjunto con el Instituto Mexicano del Transporte, proyectos como el de G-Cover están en una fase de implementación de una iniciativa estratégica para el desarrollo de una Start-up sostenible con apoyo de inversiones por parte del patrocinador del proyecto, existe el proyecto a futuro de implementar la fábrica de bio-plástico a partir de la papa rezagada. En estos proyectos se esperan inversiones importantes de alrededor de los 10 millones de pesos por parte de los patrocinadores.

V. AGRADECIMIENTOS.

Los autores del presente documento y miembros del Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística- Consolidación, agradecen el apoyo recibido a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) del programa de "Laboratorios Nacionales". Asimismo, se agradece el financiamiento por parte del ITSON a través de los proyectos anuales del PROFAPI y del Programa de Fortalecimiento a la Calidad Educativa (PFCE-SEP fondo 2018). En especial a todos los estudiantes de posgrado y licenciatura, así como de los patrocinadores de cada uno de los proyectos por la disponibilidad de la información.

REFERENCIAS

- 1] Lagarda-Leyva E.A., Naranjo-Flores A.A., Bueno-Solano A., Portugal- Vásquez J. (2018) Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística: A tres años de generar soluciones con dinámica de sistemas en el sector agroalimentario. CLADS 2018, Puebla México.
- [2] Fiel-Ochoa K.M., Sánchez-Figueroa J.R. (2019). Modelo para el análisis cuantitativo del comportamiento de las compras e inventarios. Tesis. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora. México
- [3] Fierros Cota, C.I., Valenzuela-Orduño N. L., (2019). Simulación del proceso de empaque de productos de anaquel. Tesis. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora. México
- [4] Boubeta A.I., (2007), "Distribución logística y comercial. La logística en la empresa", Gesbiblo S. L, España.
- [5] Correa A.F., Gómez H.M., Loaiza J.F., Lopera D.C., Villegas J.G., (2008), "Características del diseño de rutas de distribución de alimentos en el Valle de Aburrá", Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 45:172-183
- [6] VEA-VALDEZ H. P., LÓPEZ-DANIEL O. M. (2019). Construcción de una interfaz gráfica para el proceso de distribución en una empresa comercializadora de alimentos del Sur de Sonora. Tesis. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora. México.
- [7] Long, P., & Siemens, G. (2011). Analytics in Learning and Education. EDUCAUSE Review, 46 (5), 30. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [8] Ortigón, E., Pacheco J.F., Prieto A. (2005). Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. Manual CEPAL. ISSN 1680-886X
- [9] IDB-TN-509 (2013). Diseño e implementación de observatorios nacionales de transporte de carga y logística. Fases y consideraciones estratégicas. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- [10] Ana Cecilia
- [11] Ponce-Fernández H., Esquer-Felix E. (2019). Uso de Aeronaves no tripuladas para la implementación de la dinámica de sistemas en el cultivo del trigo. Tesis. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora. México
- [12] Díaz, R. (2019). Agricultura de Precisión (AP): Tecnologías para mejorar la competitividad del sector agrario. ainia disponible en <<https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/agricultura-precision/>>

Mejoramiento en el proceso de distribución de alimento para ganado bovino utilizando el algoritmo de Dijkstra

Emilia E. Saucedo López

División de Ingeniería Industrial Instituto Tecnológico
Superior de Guasave, ITSG. Sinaloa, México
saucedoemilia@gmail.com

Viridiana Humarán Sarmiento

División de Ingeniería Industrial Instituto Tecnológico
Superior de Guasave, ITSG. Sinaloa, México

Raúl Loredó Medina

División de Ingeniería Industrial Instituto Tecnológico
Superior de Guasave, ITSG. Sinaloa, México

Juan C. López Palos

División de Ingeniería Industrial Instituto Tecnológico
Superior de Guasave, ITSG. Sinaloa, México

Agustín Cervantes López

División de Ingeniería Industrial Instituto Tecnológico
Superior de Guasave, ITSG. Sinaloa, México

Resumen—Las organizaciones cotidianamente buscan mejorar sus procesos para incrementar su productividad, el trabajo presentado aborda el tema de la distribución de alimento para ganado bovino, se derivó de la necesidad de disminuir el tiempo en el reparto del alimento a cada uno de los corrales en una empresa ganadera. Se analizaron los diferentes factores que intervienen en el proceso como son el número de corrales, variedad de fórmulas de alimento, características de los vehículos repartidores, procedimiento en los recorridos y el método de surtido. Se calcularon las distancias específicas entre todos los corrales para generar los nodos que posteriormente se utilizaron en la programación del algoritmo de Dijkstra para determinar la ruta más corta que debía seguir el vehículo repartidor hacia cada uno de los corrales, los cuales, inicialmente se establecieron de acuerdo a la demanda de cada tipo de fórmula y la capacidad del vehículo repartidor, todo esto con el objetivo de reducir las distancias de recorrido, que se traduce en reducción de tiempo y por lo tanto representa disminución en los costos operativos. Finalmente se realizó la validación de los datos arrojados por el modelo, evaluando la factibilidad de las rutas y realizando comparativos de los indicadores actuales con los que propone el algoritmo, comparando las rutas arrojadas por el programa utilizado por la empresa y las rutas propuestas con el diseño del modelo de distribución. Los resultados arrojaron mejoras significativas en el tiempo total de distribución entre los dos turnos de reparto.

Palabras Clave—Ruta más corta; distribución de alimento; corrales; algoritmo de Dijkstra

I. INTRODUCCIÓN

Los costos de distribución pueden abarcar hasta dos tercios de los costos totales de logística, por lo que es primordial mejorar la eficiencia de los recursos utilizados [1]. El estudio realizado involucra el análisis y diseño de rutas en la distribución del alimento en los corrales de una empresa ganadera. La importancia del estudio radica en que alimentación del ganado debe cumplirse en los tiempos establecidos de acuerdo a las necesidades específicas de las reses, el tiempo de espera para consumir el alimento puede provocar problemas al animal que interfieren con su sano crecimiento y proceso de engorda, y como consecuencia se origina un aumento en los costos para que logren el peso adecuado para su próxima etapa.

La programación de camiones o vehículos para desarrollar actividades de distribución o recolección de productos ha sido un tema relevante en los últimos 20 años, por el ahorro en los costos y la productividad que significa contar con una programación eficiente [2].

La optimización de redes ha tenido uno de los mayores desarrollos recientes de la Investigación de Operaciones. Su aplicación abarca áreas como: producción, planeación de proyectos, distribución, localización de instalaciones, administración de recursos y planeación financiera [3].

Según Hillier y Lieberman (2010) los problemas de optimización de redes son en esencia problemas de programación lineal, y su solución se puede lograr por medio de varios algoritmos de optimización de redes. Los algoritmos de optimización de redes que se utilizan actualmente son los siguientes:

- Problema de la ruta más corta.
- Problema del árbol de expansión mínima.
- Problema de flujo máximo.
- Algoritmo de costo mínimo.

Para abordar la problemática de la distribución del alimento, el algoritmo utilizado fue el Algoritmo de Dijkstra que tiene como objetivo determinar las rutas más cortas entre el nodo origen y los demás nodos en la red [4]. El fundamento para utilizar este algoritmo radica en la necesidad que tienen los distribuidores para mejorar la secuencia de corrales que se les asigna en el departamento que planea los recorridos, este departamento cuenta con un programa para determinar los corrales a repartir en cada recorrido, sin embargo, no contaba con el análisis de las rutas que contribuyera a minimizar los recorridos. Después de una serie de observaciones de las secuencias de los corrales se confirmó que el reparto no se realizaba considerando la ruta más corta entre un corral y otro, por lo que la utilización del algoritmo de Dijkstra en una aplicación móvil y de escritorio contribuyó a mejorar este proceso.

Existen investigaciones en el desarrollo de algoritmos y modelos para optimizar la programación de redes en operaciones de transporte en sectores como el forestal, minero, de construcción y de combustibles; además de otros casos de programación específicos en el ambiente de manufactura y logístico. También se han realizado estudios de generación de algoritmos y medición de análisis computacional [5]. Estos estudios contribuyen a brindar metodologías que se pueden emplear en situaciones específicas como se aborda en la presente investigación. A continuación se presenta la descripción de los estudios más significativos encontrados respecto a la utilización del algoritmo de Dijkstra.

Anton [6] desarrolló un planificador de rutas para el recoger los desechos sólidos urbanos en una región de Perú, el planificador consistió en brindar al operario del vehículo la ruta más corta que debe seguir para realizar la recolección de los desechos sólidos. Para realizar el sistema planificador de rutas para el recojo de desechos sólidos, se localizaron y ubicaron los puntos de acción; para luego construir la ruta óptima para cada uno de los puntos de acción con la utilización del algoritmo de Dijkstra. También en Perú, Bach- Marchena [7] utilizó el Algoritmo para establecer las rutas óptimas de

recorrido para los trabajadores de campo de una empresa de medición de predios. En España, De la Cruz, Magwili, Mundo, Gregorio, Lamoca, y Villaseñor [8] realizaron una aplicación móvil para los usuarios de una tienda de comestibles para obtener la ruta más corta que debe recorrer el usuario mientras obtiene los productos en su lista de compras. Zhang, Yan y Li [9] optimizaron las rutas de distribución de los productos del centro de distribución a diferentes almacenes, utilizando la teoría de grafos y aplicando el algoritmo de Dijkstra. Chen, Shen, Chen, y Yang [10] construyeron un modelo de red vial dinámica para la evacuación de vehículos en China de acuerdo al algoritmo de Dijkstra, esto con la finalidad de identificar las rutas de evacuación más rápidas en caso de un desastre natural o acontecimiento que propicie una emergencia y se requiera evacuar a las personas; probaron tres casos diferentes considerando la velocidad de los vehículos en el tráfico de las horas pico a lo largo del día.

En China Zhang et al., [11] desarrollaron el algoritmo de Dijkstra basado en la ruta más corta a partir del consumo de combustible de los vehículos, utilizaron los parámetros relacionados con el vehículo y el entorno de conducción, como la distancia, la velocidad, el tiempo de conducción, el tiempo de las revoluciones, el flujo de desplazamiento, el consumo de aceite de conducción y el consumo de aceite de las revoluciones, para producir el algoritmo con un cálculo del peso ponderado en cada sección del viaje. Wei [12] utilizó también el algoritmo de Dijkstra para identificar la ruta óptima en ciudades de China, proponiendo un algoritmo mejorado que incorpora pesos a tres factores que influyen en gran medida en el tiempo de traslado, estos son la longitud de la carretera, la congestión del tráfico y la calidad de la carretera, el algoritmo lo programó en lenguaje C++ y obtuvo resultados favorables respecto a la propuesta de las rutas y tiempos de traslados.

Galán García, Aguilera Venegas, Galán García, & Rodríguez Cielos [13] presentaron en España una extensión del algoritmo de Dijkstra que además de considerar las distancias entre los lugares a visitar y las condiciones del tráfico, incorporaron factores

probabilísticos respecto a las preferencias de los conductores con el propósito de simular con mayor precisión un comportamiento más normal de los conductores, parten de un modelo previo basado en redes neuronales.

Galbrun, Pelechrinis, & Terzi [14] en Estados Unidos trabajaron en una aplicación para establecer las rutas más cortas en las ciudades de Chicago y Filadelfia, desarrollaron algoritmos que combinaron las distancias y la inseguridad de los sectores, utilizando como base el algoritmo de Dijkstra y agregando ponderaciones respecto a la incidencias de delitos, para así proporcionar las rutas más cortas y más seguras. En Perú, Nolasco & Atoche [15] analizaron las rutas del transporte urbano entre los extremos de la ciudad de Lima, también utilizaron el algoritmo de Dijkstra y consideraron factores como utiliza factores como distancia, tiempo de viaje, dirección de los viajes, y número de paradas; para programar el algoritmo utilizaron Lingo 14 y para calcular el tiempo estándar entre cada nodo utilizaron un método estadístico, con la ayuda del programa Minitab 16.

Rocha González, Gómez Triana, & Sánchez Caimán, [16] en Colombia presentaron una metodología y resultados parciales de un estudio para establecer un modelo de ruta más corta para la conexión terrestre entre puntos geográficos de la región de Cundinamarca con relevancia económica con el fin de mejorar las decisiones tácticas en materia de ruteo, implementaron algoritmos de programación dinámica, Dijkstra, y Colonia de hormigas.

En el presente documento se expondrá el desarrollo del proyecto de mejora realizado en la empresa Ganadera Rubio's S.P.R de R.L de C.V, el cual tiene como finalidad disminuir el tiempo de reparto del alimento balanceado para ganado bovino.

II. METODOLOGÍA

A. Análisis del proceso del reparto de alimento

Se realizaron recorridos preliminares para identificar el flujo del proceso de distribución del alimento. Se

identificaron las distancias, tiempos y capacidades del equipo de transporte, además se establecieron los indicadores de servicio de acuerdo al número de corrales atendidos y número de reses atendidas por tiempo. La Tabla 1 presenta los datos más relevantes. Algunas de las problemáticas detectadas fueron la obstrucción de las puertas de los caminos, descalibración de la báscula del vehículo repartidor que provoca la variación en la cantidad de alimento surtida, intersección entre los vehículos repartidores de alimento y de agua, obstrucción para el reparto por otras actividades en los corrales como el retiro de lodo o abono, caminos en mal estado principalmente en temporada de lluvia, los baches afectan el transporte, duplicidad de corrales a atender cuando ya han sido surtidos, falta de seguimiento a la instrucción en la lista de corrales a atender por parte de los choferes para descargar el alimento; pero el principal factor que influía en el tiempo de distribución era la distancia que tenían que recorrer los vehículos para llegar a cada uno de los corrales asignados.

Tabla 1. Datos generales del proceso de distribución

Factor	Datos
Número de corrales	186
Fórmulas	F10, F10A, F11, F11A, F12, F 13, F 14
Tamaños del ganado	Peso de recepción: 100 kg en promedio, Crías: 60 kg, Peso alcanzado: 500 kg - 550 kg
Demanda de alimentación diaria	30 % en turno matutino 70 % en turno vespertino
Número de distribuidores	6 distribuidores
Capacidad promedio del equipo de transporte	4 toneladas

Fuente: Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico Superior de Guasave.

B. Análisis de rutas

Para realizar el análisis de las rutas de distribución de alimento para el ganado bovino en los corrales se acompañó a los operadores en sus vehículos de distribución de alimento, se realizó un muestreo del reparto de las diferentes fórmulas tomando tiempos desde el proceso de preparado y mezclado, tiempo de carga del vehículo, tiempo de traslado para llegar a los corrales asignados de acuerdo al programa de

la empresa y el tiempo de la descarga del alimento en cada corral.

Se utilizó el croquis de la empresa de manera impresa para indicar los corrales que estaba indicados en la fórmula y el recorrido que realizó el vehículo. Se indicó la hora de salida desde el momento que empezaba el recorrido y la hora de llega una vez terminado, con la finalidad de indicar el tiempo productivo y el tiempo muerto. La Tabla II muestra un ejemplo del muestreo realizado en un turno de reparto.

Tabla 2. Ejemplo del muestreo de recorridos

TIEMPOS DE DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTO						
VEHÍCULO	FORMULA	TP	TM	TC	HS	TRI
7 TMX	F 10 A	9.46	11.29	2.27	03:00	7.3
5 TMX	F 10 A	9.46	11.29	1.15	03:16	11.77
9 TMX	F 11	5.42	2.22	1.04	03:35	4.3
7 TMX	F 11 A	9.16	3.68	2.3	03:56	3.15
5 TMX	12	8.3	4.32	1.16	04:23	0.41
8 TMX	12	8.3	4.32	2.36	04:42	3.16

VEHÍCULO	TURNO	AM		FECHA	04/07/2018	T. DEM
		TD	TRF			
7 TMX		6.12	9.37	03:30	45.81	7.21
5 TMX		1.57	5.33	03:47	40.57	12.33
9 TMX		2.33	3	03:53	18.31	10.37
7 TMX		4.08	4.11	04:32	26.48	24.66
5 TMX		2.49	0.39	04:48	17.07	21.71
8 TMX		5.28	4.09	05:13	27.51	18.27

TP	Tiempo de Preparación
TM	Tiempo de Mezclado
TC	Tiempo de Carga
HS	Hora de Salida
TRI	Tiempo de Recorrido Inicial
TD	Tiempo de Descarga
TRF	Tiempo de Recorrido Final
HLL	Hora de Llegada
TT	Tiempo Total
T. DEM	Tiempo de Demora

C. Medición de longitud de corrales

Se realizaron las medidas de todos los corrales, donde se observó el tamaño de comedero de cada corral, las medidas fueron realizadas por medio de Google Earth, programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital. Se estimó un promedio en la variación de las dimensiones mediante un muestreo de las medidas de los comederos de los corrales que se realizó manualmente.

Con las medidas obtenidas se modificó el croquis de los corrales, en el cual tiene las medidas de lo largo del comedero de todos los corrales, así como

las direcciones y distancias de los caminos por donde debe pasar el vehículo repartidor de alimento. La Figura 1, muestra el croquis realizado.



Figura 1. Croquis de la distribución de los corrales

D. Creación de la matriz de distancias

Se calcularon las distancias de recorrido desde la planta mezcladora llamada KHUN y de cada corral a todos los corrales, por los caminos factibles y cumpliendo con el lado requerido para la descarga del alimento, así como identificar la ruta más corta para llegar, con estos datos se generó una matriz asimétrica. Se usó un repositorio de la plataforma GitHub, un script para auxiliar la elaboración de esta tarea que incluyó determinar 34 596 distancias entre corrales.

Tabla 3. Fracción de la matriz de distancias entre corrales

	KUHN	21	22	23	24	25	26	27
KUHN	9999	0169.67	0155.01	0138.34	0124.67	0111	0026.67	0040.34
21	0041.34	9999	0196.34	0179.67	0166.01	0152.34	0047	0060.67
22	0056.010	0014.67	9999	0194.34	0180.67	0167.01	0061.67	0075.34
23	0072.68	0031.340	0016.67	9999	0197.35	0183.68	0078.34	0092.01
24	0086.350	0045.010	0030.340	0013.67	9999	0197.35	0092.01	0105.68
25	0100.02	0058.680	0044.010	0027.34	013.67	9999	0105.68	0119.35
26	0026.67	0196.35	0181.68	0165.01	0151.34	0137.67	9999	0013.67
27	0243.04	0412.73	0398.06	0381.39	0367.71	0354.04	0216.37	9999

En la Figura 2, se muestra el código Dijkstra.py que está basado en el lenguaje programación interpretado Python.

Posteriormente se agregaron los nodos haciendo referencia a las distancias obtenidas de los

```

1  from collections import defaultdict
2  from heapq import *
3
4  def dijkstra(edges, f, t):
5      g = defaultdict(list)
6      for l,r,c in edges:
7          g[l].append((c,r))
8
9      q, seen, mins = [(0,f,())], set(), {f: 0}
10     while q:
11         (cost,v1,path) = heappop(q)
12         if v1 not in seen:
13             seen.add(v1)
14             path = (v1, path)
15             if v1 == t: return (cost, path)
16
17         for c, v2 in g.get(v1, ()):
18             if v2 in seen: continue
19             prev = mins.get(v2, None)
20             next = cost + c
21             if prev is None or next < prev:
22                 mins[v2] = next
23                 heappush(q, (next, v2, path))
24
25     return float("inf")
26
27 if __name__ == "__main__":
28     edges = [
29         ("A", "B", 7),
30         ("A", "D", 5),
31         ("B", "C", 8),
32         ("B", "D", 9),
33         ("B", "E", 7),
34         ("C", "E", 5),
35         ("D", "E", 15),
36         ("D", "F", 6),
37         ("E", "F", 8),
38         ("E", "G", 9),
39         ("F", "G", 11)
40     ]
41
42     print "=== Dijkstra ==="
43     print edges
44     print "A -> E:"
45     print dijkstra(edges, "A", "E")
46     print "F -> G:"
47     print dijkstra(edges, "F", "G")

```

Figura 2. Código Dijkstra.py (Kachaiev, 2013)

comederos de los corrales, utilizando el código (A,B,N) dando por entendido que A es el primer nodo y B es el nodo destino, marcando N como la distancia del vértice del nodo A al B, obteniendo como resultado el código de la Figura 3.

```

28
29 if __name__ == "__main__":
30     edges = [
31         #Cruces
32         ("21", "0", 41.34),
33         ("21", "26", 47),
34         ("26", "34", 0),
35         ("34", "26", 0),
36         ("34", "42", 63),
37         ("42", "34", 63),
38         ("42", "51", 0),
39         ("51", "42", 0),
40         ("51", "106", 62),
41         ("106", "51", 62),
42         ("106", "116", 0),
43         ("116", "106", 0),
44         ("116", "127", 66),
45         ("127", "116", 66),
46         ("127", "133", 0),

```

Figura 3. Código de registro de todos los corrales

Una vez agregados todos los nodos, se agregó un ciclo While para obtener una columna entera para insertar en la matriz. Se modificó el código de tal manera que se obtuviera la distancia de los corrales del 21 al 206 a un corral en específico, obtenido como resultado lo mostrado en la Figura 4 Código de salida Python, guardando cada dato obtenido en un archivo de texto denominado "datos.txt" repitiendo este proceso hasta obtener todas las columnas de la matriz de distancias.

```

279 opcion2 = 21;
280 rutas = "";
281 while opcion2 < 207:
282     inicio = str(opcion2)
283     cadena = (dijkstra(edges, inicio, "206"))
284     auxcadena = str(cadena)
285     _cadena = auxcadena[0:7]
286     _cadena2 = _cadena.replace(" ", "")
287     _cadena3 = _cadena2.replace(", ", "")
288     buscarPunto = _cadena3.find(".")
289     if buscarPunto == 3:
290         _cadena4 = _cadena3.replace("(", "00")
291     if buscarPunto == 4:
292         _cadena4 = _cadena3.replace("(", "0")
293     if buscarPunto == 5:
294         _cadena4 = _cadena3.replace("(", "")
295     if buscarPunto == -1:
296         _cadena4 = _cadena3.replace("(", "")
297     f = open("datos.txt", "a")
298     f.write('\n' + _cadena4)
299     f.close()
300     opcion2 = opcion2 + 1;
301     print ("terminado")
302     pyperclip.copy(rutas);

```

Figura 4. Código de salida Python TM

III. RESULTADOS

A. Aplicaciones para el diseño de rutas

Al contar con los elementos del funcionamiento de la distribución del alimento en la empresa ganadera se prosiguió a desarrollar el diseño un sistema que se integró a dos aplicaciones. Primero una aplicación de escritorio que será usada por el operador de engorda, la aplicación trabaja bajo métodos orientados a objetos, los cuales se encargan de buscar las distancias dentro de la matriz de distancias.

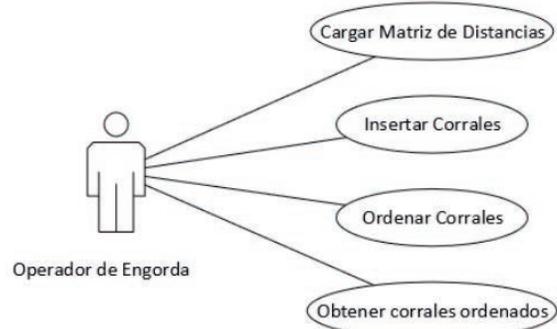


Figura 5. Caso de uso de operador de engorda



Figura 6. Interfaz del usuario para la aplicación de escritorio

La segunda aplicación consiste en una aplicación móvil desarrollada para el sistema operativo móvil Android en su versión número 8.0 (denominado

Android Oreo), tendrá su función directamente con el conductor del vehículo de distribución de alimento de acuerdo a la Figura 6, otorgándole una ruta con el camino que debe seguir para llegar de un punto a otro, basada en el algoritmo de caminos mínimos.

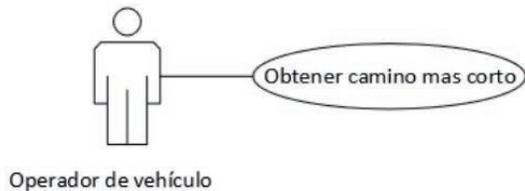


Tabla 5. Tiempos de carga

Fórmula	Corrales
Fórmula 11	26, 30, 125, 130, 80, 144, 175, 201 y 196
Formula 12	26, 30, 125, 130, 80, 144, 175, 201 y 196



Figura 9. Croquis de la ruta de la fórmula 12 con el uso de la aplicación



Figura 10. Croquis de la fórmula 11 con la aplicación del algoritmo

Figura 7. Caso de uso de Operador de vehículo de distribución

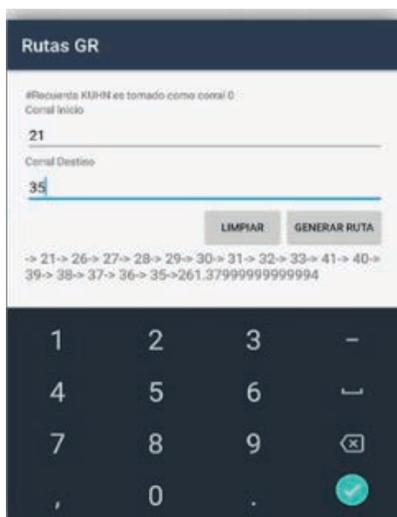


Figura 8. Interfaz para la aplicación móvil Android

B. Pruebas del diseño

Se realizó la validación de los datos arrojados por medio de pruebas, comparando las rutas del programa de la empresa y las propuestas con el nuevo diseño del modelo de distribución en la tabla se muestran los corrales asignados para cada fórmula a repartir. Se realizó la toma de tiempos para el reparto en esta ruta y posteriormente se utilizó la aplicación para generar la nueva ruta.

La Tabla 5 presenta los datos de dos de las rutas a repartir. En la Figura 9 se muestra el croquis del recorrido de ruta del software de la empresa y la Figura 10, muestra el croquis de la ruta creada por el algoritmo.

C. Comparación de tiempos en el proceso de distribución

Mediante el análisis de los tiempos de preparado, mezclado, carga, distribución del alimento, anteriormente todo el proceso se realizaba de las

7 am a 8 pm. Actualmente con todas las mejoras se tiene una jornada laboral de 7am a 5.30pm, aproximadamente 2.5 horas en promedio. Las Figuras 11, 12, 13 y 14 representan los tiempos obtenidos para el reparto de cada fórmula con el uso del programa de la empresa y con la utilización del algoritmo.

1) *Tiempos de carga de la fórmula a repartir*

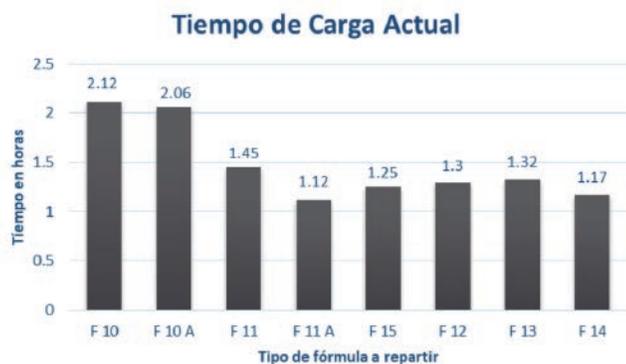


Figura 11. Gráfica de los tiempos de carga con la asignación del programa de la empresa



Figura 12. Gráfica de los tiempos de carga con la propuesta

2) *Tiempos de recorrido de la fórmula a repartir*



Figura 13. Gráfica de los tiempos de recorrido con la asignación del programa de la empresa

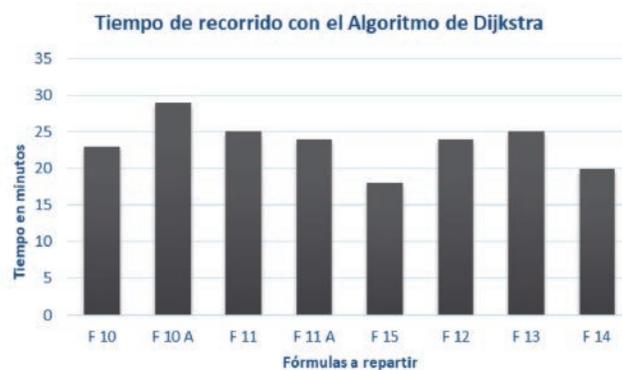


Figura 14. Gráfica de los tiempos de recorrido con el algoritmo

3) *Ahorro en los tiempos*

Tabla 5. Tiempos de carga

Tiempo de carga	Actual	Propuesto	Mejora	
Promedio (horas)	1.47	1.37	0.10	7%

Tabla 6. Tiempos de recorrido

Tiempo de recorrido	Actual	Propuesto	Mejora	
Promedio (horas)	27.5	23.5	4	15%

Tabla 7. Tiempos de demora

Tiempo de demora	Actual	Propuesto	Mejora	
Promedio (horas)	10.81	8.85	1.96	18%

IV. CONCLUSIONES

Con el desarrollo del estudio presentado se pudo mostrar la mejora en los tiempos de distribución del alimento para ganado bovino, considerando la magnitud de la empresa en la que se llevó a cabo el proyecto el problema principal recaía en la cantidad de corrales de ganado bovino con el que se cuenta y también su cantidad de dietas que lleva el ganado durante su estancia en ellos, que correspondiente al tiempo y peso que llevan en los corrales su dieta va cambiando, lo que hace que la transición de cada corral sea única y pueda causar un desacomodo en las dietas, obteniendo como

resultado cada vez rutas diferentes, por lo que contar con una aplicación que facilite la distribución se convirtió en una aportación de gran beneficio para la empresa.

La aplicación de los algoritmos y programas obtenidos determinó una mejora en el proceso de distribución ya que es basado totalmente en algoritmos de búsqueda de ruta, aplicando la optimización de las rutas logísticas que disminuyen el costo, distancia y tiempo, de esta manera se plantea el problema de distribución del alimento bovino. Se probó la efectividad del algoritmo de Dijkstra al tener que seleccionar entre las 34,596 variables binarias posibles.

RECONOCIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México por el apoyo financiero otorgado para la realización de este Proyecto, a través de la autorización de la convocatoria 2018-2 “Apoyo a la investigación científica y tecnológica en los programas educativos de los institutos tecnológicos federales, descentralizados y centros” vinculado con el Instituto Tecnológico Superior de Guasave (ITSG) y la empresa Ganadera Rubio’s S.P. de R.L.

Reconocimiento al equipo de trabajo que formó parte de esta investigación, docentes, alumnos, personal operativo del Instituto Tecnológico Superior de Guasave y de la empresa beneficiada.

REFERENCIAS

[1] A. Alshamrani, K. Mathur, and R. H. Ballou, “Reverse logistics: simultaneous design of delivery routes and returns strategies,” vol. 34, pp. 595–619, 2007.

[2] N. El Hachemi, M. Gendreau, and L. Rousseau, “A heuristic to solve the synchronized log-truck scheduling problem,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 40, no. 3, pp. 666–673, 2013.

[3] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Introducción a la Investigación de Operaciones*, Novena. Mexico: Mc Graw Hill, 2010.

[4] H. A. Taha, *Investigación de operaciones*, Novena edi. México: Pearson Educación, 2012.

[5] A. Sedeño-noda and M. Colebrook, “Discrete Optimization A biobjective Dijkstra algorithm,” vol. 276, pp. 106–118, 2019.

[6] J. M. Anton-Bernal, “Desarrollo de un planificador de rutas para recojo de desechos sólidos en el distrito de Chiclayo utilizando algortimo de Dijkstra.,” Universidad Señor de Sipán, 2018.

[7] D. J. Bach. Marchena-Pejerrey, “Desarrollo de un sistema para la optimización de rutas de trabajo utilizando el algoritmo de Dijkstra y diagramas de voronoi,” Universidad Señor de Sipán, 2015.

[8] J. C. Dela Cruz, G. V Magwili, J. P. E. Mundo, G. P. B. Gregorio, M. L. L. Lamoca, and J. A. Villaseñor, “Items-mapping and Route Optimization in a Grocery Store using Dijkstra’s, Bellman-Ford and Floyd- Warshall Algorithms,” pp. 243–246, 2016.

[9] X. Zhang, Y. Chen, and T. Li, “Optimization of Logistics Route Based on Dijkstra,” in 6th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS), 2015, no. 1, pp. 313–316.

[10] Y. Chen, S. Shen, T. Chen, and R. Yang, “Path Optimization Study for Vehicles Evacuation Based on Dijkstra algorithm,” *Procedia Eng.*, vol. 71, pp. 159–165, 2014.

[11] and Y. L. Yu Jiang, Xinxing Xu, Honghai Zhang, “Taxiing Route Scheduling between Taxiway and Runway in Hub Airport,” vol. 2015, 2015.

[12] M. Wei, “Research On The Optimal Route Choice Based On Improved Dijkstra,” pp. 303–306, 2014.

[13] J. L. Galán Garcia, G. Aguilera Venegas, M. Á. Galán García, and P. Rodríguez Cielos, “A new Probabilistic Extension of Dijkstra’s Algorithm to simulate more realistic traffic flow in a smart city,” *Appl. Math. Comput.*, vol. 267, pp. 780–789, 2015.

[14] E. Galbrun, K. Pelechrinis, and E. Terzi, “Urban navigation beyond shortest route: The case of safe paths,” *Inf. Syst.*, vol. 57, pp. 160–171, 2016.

[15] J. Nolasco and W. Atoche, “Obtención del tiempo más corto para el problema de transporte en el sistema local de transporte público peruano ‘ El Metropolitano ,’” in Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, 2014, pp. 1–10.

[16] J. E. Rocha González, C. F. Gómez Triana, and P. J. Sánchez Caimán, “Ruta más corta: soluciones algorítmicas para movilidad eficiente en la malla vial de Cundinamarca . Programación dinámica,” *Épsilon*, vol. 23, no. 2014, pp. 63–84, 2014.

Protected agriculture before climatic vulnerability in the agricultural supply chain: Review of the literature.

Alina Evelyn Badillo Márquez^a, Alberto Alfonso Aguilar Lasserre^b, Rubén Posada Gómez^c, Magno Angel González Huerta^d, Jesús Sánchez Juárez^e
Division of Graduate Studies and Research
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, TNM/ITO Orizaba, Veracruz, México
evelyn0712@gmail.com^a, albertoaal@hotmail.com^b, pgruben@yahoo.com^c, magnogh@yahoo.com.mx^d, jesussanz0712@gmail.com^e.

Marco Augusto Miranda Ackerman
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California, UABC
Baja California, México
miranda.marco@uabc.edu.mx

Abstract—The study of vulnerability in farming systems caused by the effects of climate change it has its origin in the need to link climate vulnerability and food security. In recent years, there have been significant changes in the weather patterns caused mainly by increasing drastic temperature, accumulation of carbon dioxide and variation in precipitation levels; causing negative impacts on agricultural production on a global scale because of the current agricultural supply chains are vulnerable due to factors such as the loss of biodiversity, increase in deforestation, pollution and land degradation, as well as the impact generated by the use of fossil fuels. Faced with this problem, protected agriculture represents an efficient alternative to reduce the risks caused by limiting economic and climatic productive resources in crops; allowing the reduction of uncertainty in agricultural supply chains and logistic operations in the field. In Mexico the value of the production of protected agriculture has increased by 47.9 percent in recent years, counting with more than 42 thousand hectares of crops with protected surface. The literature review tackles an analysis of the current landscape of protected agriculture to face impacts generated before climatic vulnerability by obtaining a lower risk of production and greater resource efficiency in the agricultural supply chain.

Keywords—protected agriculture; agricultural supply chain; climatic vulnerability.

I. INTRODUCTION

In Mexico, agricultural activities are very important in rural and industrial areas since it is the main source of income and in turn food supplier. The agricultural supply chain develops its activities in a large part of the rural localities and takes advantage of natural resources, becoming one of the main means of employment for the population residing in rural areas [1]. The current importance of agriculture in the face of climate change is linked to the quality and quantity of natural resources and variations in variables such as temperature, precipitation, wind and availability of water for the growth and reproduction of crops; that is why the performance of the agricultural supply chain depends directly on the positive or negative effects of the weather.

The climate crisis on a global scale represents a series of threats to life on this planet; one of the most serious, critical and worrying is the threat to agricultural production. Changes in climate patterns are already causing crop losses globally and reducing food security; therefore, decision makers must develop measures in the agricultural supply chain to adapt to climate change [2].

Faced with this problem, alternatives emerge as the Climate Smart Agriculture (CSA) which reflects the desire to improve the integration of agricultural development and the capacity to respond to climate change, which aims to ensure food security against the growing demand for food. The advantages of the CSA within the agricultural supply chain are the increase in productivity [3], improve resilience and reduce greenhouse gas in a sustainable manner [4]. Currently, the practices that make up the CSA already exist and are used in agricultural supply chains around the world to address production risks [5]. Within the practices of climate-smart agriculture is the Protected Agriculture (PA) which is a production system made under various structures, to protect crops, by minimizing restrictions and effects imposed by climatic phenomena [6] in order to obtain productions with high added value [7].

The purpose of this document is to build a systematic literary review and contribute to the state of knowledge, from an integrative perspective, recognizing various studies in the periods 2008-2018, analyzing 212 documents within the context of climatic vulnerability in the agricultural supply chain and the role played by protected agriculture before this problem. The research questions (RQ's) are classified in table 1.

Table 1. Research questions

ID	Question
RQ1	What is the impact of climatic vulnerability in the agricultural supply chain?
RQ2	What adaptation measures have emerged to mitigate the impact?
RQ3	What is the role of agriculture protected against this problem?

II. METHODOLOGY: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW (SLR)

The objective of this study is to develop a systematic review of the literature, based on the synthesis of what is already known and what is not [8] through a qualitative analysis of high impact contributions in relation to previous investigations of the study of vulnerability caused by climate change within the agricultural supply chain; as well as the adaptation measures that have emerged to mitigate the impact and agriculture protected against this problem. The methodology used is divided into three phases: planning, conducting and documented [9].

Sections A and B describe the stages of the methodology.

A. Selection of information

For the selection of information, the search criteria were applied through the combination of boolean operators "AND" & "OR" using the keywords: protected agriculture; agricultural supply chain; climatic vulnerability. Three databases with high impact were included related to scientific and technological research, ScienceDirect, SCOPUS and Web of Science, which are available to the analyst. The first database is Science Direct from

Elsevier group, chosen for its relevance at the academic level by having a wide catalog of multidisciplinary bibliographic information of articles from more than 2,500 quality scientific journals and more than 11,000 books.

The second SCOPUS database, being the largest database of citations and reviewed abstracts on scientific articles, books and for have a record of recent high impact contributions. The third database is Web of Science, which has relevance at the academic level and is one of the largest databases of multidisciplinary scientific articles, exploring in more than 1 billion references. The systematic search includes a compilation of academic articles and reviews: (i) with status published in review; (ii) in English; (iii) comprising the key terms in the title, abstract and keywords. Conference proceedings, book chapters, unpublished manuscripts and dissertations which were not included. Applying the search criteria resulted in 235 articles; discriminating articles based on little or no correlation with the topic of interest and duplicates.

Finally, based on the research questions, the most relevant contributions were determined and what meets the objectives of the RQs; obtaining a total of 76 documents for the extraction of data.

Figure 1 summarizes the results of the participation of the RQs for the analysis of agriculture protected against climatic vulnerability in the agricultural supply chain. As can be seen, the articles related to RQ1 have a greater participation with 52.1% because studies described the impact of climate vulnerability on the agricultural supply chain are more important in this literature review. The participation of the RQ2 had a 26.8% where the adaptation measures that have arisen to mitigate the impact were analyzed, while RQ3 has a 21.1% participation in studies related to the role that protected agriculture performs in the face of this problem.

As shown in Figure 1, in this review of systematic literature, a greater number of investigations related to impacts generated before climate vulnerability in the agricultural supply chain (RQ1).

ANALYSIS OF RQ S IN REVIEWD PAPER

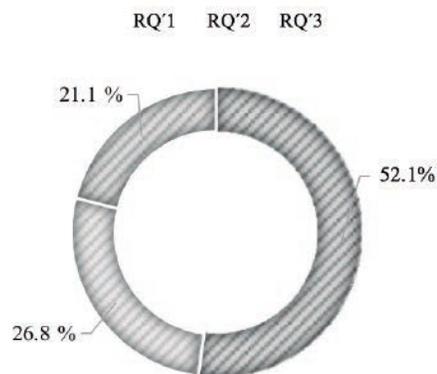


Figure 1. Analysis of RQ's in protected agriculture before climatic vulnerability in the agricultural supply chain

Figure 2, shows the distribution per year of the investigations that integrates the document, being the 2016 the year with the most participation. As can be observed, the subject of the study presents exponential growth due to protected agriculture reduces the impact of climate change on global production. In Mexico, protected agriculture contributes 5.1% of the value of agricultural production, showing yield per hectare exceeding 2.9 times saladette tomato compared to open-pit agriculture [10].

DISTRIBUTION OF THE REVIEWD PAPER PER YEAR ACROSS THE PERIOD OF THE STUDY

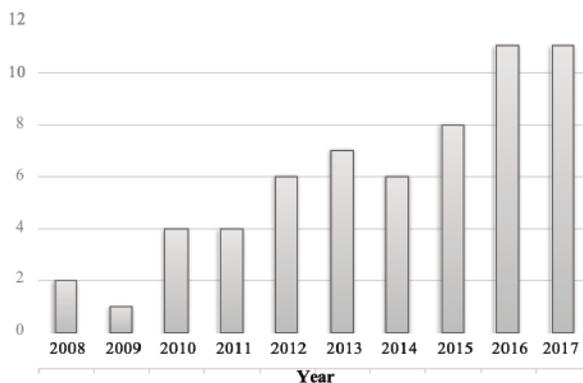


Figure 2. Distribution of the reviewed paper per year across the period of the study

In accordance with the methodology proposed by Tranfield [9], an MS Excel ® spreadsheet was used as a tool for data extraction, which contains general information of the selected researches such as: title, author, year of publishing and information of the publication in relation to the RQ's. Classification of

information obtained consisted of a qualitative perspective analysis following the guidelines suggested by Mayring [11].

The RQ1 analyzes the impact of climatic vulnerability within the agricultural supply chain. The Inter-Institutional Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction defines the term vulnerability as a condition determined by factors or physical, social, economic and environmental process, which increase the susceptibility of a community to the impact of threats [12]; in this context, the agricultural supply chain is subject to inter annual climate variability and other fluctuations [13] causing socioeconomic changes in the demand for agricultural production due to fluctuations in the demand for food and net imports decreasing the efficiency of agricultural production [14]; therefore, the vulnerability must be analyzed as a dynamic and systemic condition. The impacts generated by climate change bring with it long-term alterations that will lead to a reduction of arable land, decreasing the profitability of the supply chain [15] putting food security at risk [16].

Quantifying vulnerability to climate change within the agricultural supply chain allows prioritizing adaptation actions and monitoring them in a way that demonstrates that they fulfill their role of reducing risk when the danger increases, it is necessary to carry out quantitative assessments at a regional level that are systematic and verifiable through multiple climatic threats [17].

Determining why is vulnerable is the key in the diagnosis of vulnerability, since it involves the analysis of the factors that make the systems affected, recognizing their adaptation capacities. Adaptation to climate change can be established as the actions that have the best results to reduce vulnerability [18].

The RQ2 analyzes developed research evaluating vulnerability to propose the magnitude of adaptation that maintains risk at tolerable levels, even under climate change [19] [20]. In recent years, interest in the development of policies and strategies to reduce the vulnerability of farmers has increased through the

identification of the main indicators of vulnerability from a sustainability perspective, including the social, economic and environmental dimensions [21] to assist in the decision-making process and determine appropriate strategies to cope with the adverse effects of climate and unwanted socioeconomic changes in the supply chain. At present, there have developed growth models of cultivation proposed by the United Nations Organization for the Agriculture and the Feeding (FAO), Analysis of Life cycle (LCA) [22] and economic models that allow to carry out a sensitivity analysis in the expected variations by the increase in world cereal prices and energy costs within the agricultural supply chain to evaluate crop yields [23].

The RQ3 analyzes the role of protected agriculture in the agricultural supply chain to minimize climatic vulnerability. As already mentioned, climate change has important implications within the agricultural supply chain, therefore the growing concern to maintain food security has led agricultural producers to develop new strategies to protect crops by controlling critical variables such as temperature [24], rainfall, winds, humidity, pests and environmental phenomena; with the objective of preventing the loss of crops and generating an increase in production [25]. Among the benefits of implementing agriculture protected within the supply chain is the saving of water, reduction of emissions of greenhouse gases [26] [27], increase in the availability of food, increase the quality of products, production of crops outside their seasons, increase in profits for producers, among others. For the production of cereals and legumes, the use of protected agriculture for the control of edaphic and climatological factors favor these crops, providing a competitive advantage [28].

III. RESULTS AND DISCUSSION

This section presents the results obtained from the analysis of the systematic literature review about the contributions that have emerged in relation to agriculture protected against climatic vulnerability in the agricultural supply chain.

A. Impact of climatic vulnerability on the agricultural supply chain (RQ1)

Land use is considered an environmental problem, which is turning into global importance. Global changes in forests, farmland, waterways and air, they are being driven by the need to provide food. [29] [30]. Agricultural production is sensitive to climate, and, therefore, it is directly affected by climate change. The impact of climate change within agricultural supply chains has intensified by the growing food demand and increasing population density in the last 15 to 20 years. The expansion of farmland, pastures, plantations and urban areas, as well as the increase in the consumption of energy, water and fertilizers in agricultural supply chains have caused changes in the land cover (deforestation, loss of biodiversity, increased weeds, decreased soil fertility and accelerated soil erosion) [31] given by the development of uncontrolled agriculture, and the use of biofuels causing numerous environmental and socioeconomic impacts, such as greenhouse gas emissions, water availability and pollution, deforestation, loss of biodiversity, loss of access to land [32].

This has forced farmers to develop strategies to adapt to current ecological, economic and political circumstances. Erosion has been the result of the intensification of land use and has destroyed large areas of farmland and grazing land, therefore, as a consequence, they have caused a reduction in agricultural and livestock production, a decrease in income, increased conflicts in resource availability for farmers. To mitigate these problems, they have proposed to improve the management of land use through a continuous inventory of land, generate an environmental database, develop plans for land use and control erosion through appropriate soil conservation measures [33].

Climate change implies monumental challenges for agriculture, causing alterations in behavior patterns in variables such as temperature and rainfall. The increase in temperature accelerates the development of the crop, affecting the reproductive phase and consequently decreases its yield, among

the crops most affected by temperature increases are corn, wheat, sorghum, beans, rice, cotton and peanuts. On the other hand, in different regions, the rains are increasingly unpredictable both in variability and in distribution, bringing with its repercussions in the agricultural supply chain [34], decreasing crop yield [35]. Some important aspects of vulnerability in food insecurity are stability of access and use of food, as well as variations through spatial and temporal scales. Understanding the impacts of climate change on the components and the links between food security and the agricultural supply chain requires knowledge about climatic conditions, their trends and the modeling of future scenarios of crop behavior [36] [37].

In Central America they are experiencing extreme weather events that are severely affecting agriculture and livelihoods in rural areas [38]; therefore, that government agencies are taking measures to deal with climate threats such as the implementation of environmental policies to reduce uncertainty [39] through the management of agricultural resources [40]. Likewise, the degradation of soils [41] significantly affects the supply chain, making it impossible to reproduce crops, which has led to the need to develop soil management practices to reverse this problem [42]. To determine the factors that increase the level of risk within the agricultural supply chain [43], a global analysis of the physical state of the region, land use, biodiversity and spatio-temporal relationships is included for optimal crop management [44] through the implementation of agroclimatic models that allow to quantify impacts and optimize the management of agricultural practices [45].

In recent years, models based on geographic information systems [46] have been developed to estimate the impacts caused by climate change, which include economic variables, variety of crops and climate. The results throw that agricultural production, the area under cultivation, trade and prices show the highest degree of variability in response to climate change [47]. Therefore, climate change adds a certain degree of complexity to the food industry, because many climate impacts are not directly related to food processing, but with certain

links in the agricultural supply chain [48] among regulatory related to climate change. To minimize these impacts on the links, it has proposed a combination of diagnostic traces, reduced- scale climate projection and analysis of agricultural value chains as a set of tools to develop climate adaptation strategies, where the main risks in agricultural productivity are considered from an integral perspective (that goes from the link of the producer up to the link of the consumer) [49] and consumer perceptions about climate adaptation strategies within agricultural supply chains.

At the present time there are platforms powered by models based on information systems through artificial intelligence techniques to characterize and analyze climatic vulnerability [50]. These models are capable of estimating production or yield, as well as environmental variables (water and nitrogen balances, organic matter, greenhouse gas emissions, etc.) which are supported by information systems based on agroclimatic indicators and indexes of vulnerability; the agroclimatic indicators are implemented to detect the risks related to the climate during the management of agricultural activity [51].

The agroclimatic indicators used in the models include variables such as: length of heat waves,

through number of days of frost, precipitation and temperature. Vulnerability indices are generated through simulations of weather conditions and represent the impact variables that characterize the system. The results obtained allow us to detect areas of opportunity that minimize the risks and impact on agriculture in the face of climate changes.

In the year 2014, was named "United Nations' International Year of Family Farming", agricultural census data show that family farms worldwide constitute more than 98% of the total farms that work on 53% of agricultural land [52], therefore, family farming plays an important role for world food production within the agricultural supply chain.

Table 2, shows the relationship of the main problems due to the impact of climate vulnerability on the agricultural supply chain with respect to the research analyzed in RQ´1; where 5 items were assigned, which mainly encompass socioeconomic changes in the demand for agricultural production, reduced availability of arable land for agricultural development, decrease in the profitability of the supply chain due to crop yield losses, risk in food security and loss of biodiversity causing a decrease in natural resources for the development of agricultural activities.

Table 2. Relation of investigations and responses to RQ´1

References according to the unit of analysis.	Socio-economic changes in agricultural production	Reduction of arable land	Reduction of profitability of the agricultural supply chain	Food Security Risk	Decrease of resources for agricultural activities
<i>Naciones Unidas, 2004</i>	•				
<i>F. J. Dieguez Cameroni et al. 2014</i>	•				
<i>I.P. Holman et al. 2017</i>	•				
<i>G. Bussi et al. 2017</i>		•			
<i>P. K. Krishnamurthy et al. 2014</i>				•	
<i>T. Lung et al. 2013</i>		•		•	
<i>V.D. Ministerio del Ambiente, 2012</i>			•		
<i>E. Wood et al. 2005</i>		•		•	
<i>J. Alder et al. 2015</i>		•		•	
<i>E. Wood et al. 2012</i>		•		•	
<i>E. Wood et al. 2015</i>	•	•			•
<i>A. Palovviita et al. 2016</i>			•		•
<i>J. L. Araus et al. 2008</i>			•		
<i>M. Semenov & N. Halford, 2009</i>				•	
<i>D. Conway & E. Schipper, 2011</i>				•	
<i>G. Sain et al. 2017</i>				•	•
<i>J.F. Mercure et al. 2016</i>	•			•	
<i>D.R. Lee et al. 2014</i>				•	•
<i>L. Salvati et al. 2011</i>		•			•
<i>C. Salomé et al. 2016</i>		•			•
<i>M. E. Hofmann et al. 2011</i>			•		
<i>H. Belhouchette et al. 2011</i>					•
<i>H. Mitter et al. 2015</i>					•
<i>E. Wood et al. 2007</i>	•				
<i>J. Alder et al. 2014</i>	•		•		
<i>J. Alder et al. 2016</i>	•			•	
<i>J. Alder et al. 2017</i>	•				
<i>U. Eza et al. 2015</i>	•		•		•
<i>A. Monterroso et al. 2013</i>			•		•
<i>J. Alder et al. 2015</i>	•				•

B. Adaptation measures in the agricultural supply chain in the face of climatic vulnerability (RQ2)

The growing concern to reduce impacts produced by climate change in the agricultural supply chain has led to the development of adaptation and resilience strategies [53], including the use of new agricultural technologies [54] [55] [56]. The use of agricultural technologies within the supply chain ensures agricultural production by providing livelihood opportunities for many farmers despite the disruption caused by climate stress [57]. Given the need to find options for problems related to low production and land degradation, we have opted for the implementation of agroforestry systems within the supply chain [58]. Agroforestry systems are a form of land use where perennial woody plants interact biologically in an area with crops and / or animals; the main purpose is to diversify and optimize production, control migratory agriculture, increase the level of organic matter in the soil, fix atmospheric nitrogen, recycle nutrients, modify the microclimate, respecting the principle of sustained system.

Research on the adaptation of crops to climate change at a regional scale is generally based on the comparison of scenarios on the state of current climate and future climate, simulation of agricultural practices implemented by farmers in farming systems [59] [60] with climatically intelligent adaptations to climate change in the medium term; this with the objective of measuring results in terms of production, profitability and environmental consequences.

In general, these scenarios model adaptation and mitigation strategies under uncertainty, therefore, increases in temperature cannot be ruled out [61]. It is important to highlight that, in most cases, adaptation and mitigation [62] are complements that allow risks to be maintained at manageable levels within the supply chain. The selection of adaptation measures to be implemented, it is determined by the resources of the area of cultivation, its performance and the objectives of the farmer, studies show that among the most relevant objectives for the farmer are: maximize the

economic result of the farm (gross margin) and the quality of the soil (balance of soil organic matter) [63].

Studies carried out in the Central America, Caribbean and Mexico region [64], point out that among the possible adaptation measures are the integral management of soil and water resources, the training of farmers on issues of climate change, the promotion of good agro-ecological practices, the diversification of crops, including resistant variables and the rescue of creole seeds, the monitoring and use of climate information systems to support decision-making and the support of research for the development of new technologies. Figure 3 shows a method to establish adaptation policies in the agricultural supply chain where key players (decision makers, affected groups or sectors) are involved to assess current and future adaptive capacity [65].

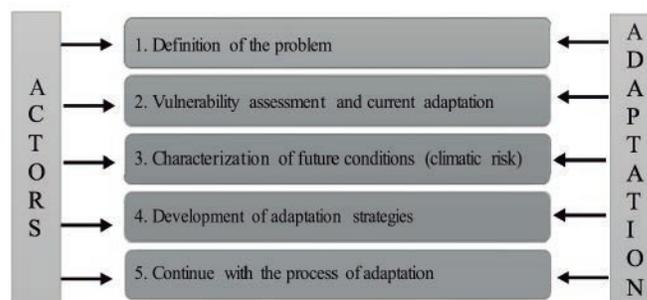


Figure 3. Method to establish a framework for adaptation policies, Lim & Spanger-Siegfried [66]

Within the main adaptation measures that respond to RQ'2, they were found the vulnerability evaluation (which consider the development and use of environmental, social and economic vulnerability indicators), the development of environmental policies and strategies to reduce climate stress and the implementation of agricultural technologies based on the development of multicriteria agroforestry models and / or systems that optimize agricultural production and minimize land degradation. Table 3 shows the relationship of the main adaptation measures to mitigate the impact of climate change on the agricultural supply chain with respect to the research analyzed in RQ'2.

Table 3. Relation of investigations and responses to RQ'2

References according to the unit of analysis.	Vulnerability Assessment	Development of environmental policies and strategies	Agricultural Technologies
<i>. Schroth et al. 2016</i>	•		
<i>Y. Xu et al. 2016</i>	•		
<i>S. Nazari et al. 2015</i>		•	
<i>M.T. Knudsen et al. 2017</i>			•
<i>D. el Chami & A. Deccache, 2015</i>	•	•	
<i>N.L. Engle et al. 2011</i>		•	
<i>J. Popke et al. 2016</i>	•	•	
<i>T. B. Below et al. 2012</i>	•	•	
<i>F.A. Carvalho-Pinto et al. 2007</i>	•	•	
<i>H.C. Eakin et al. 2014</i>	•		
<i>J.Y. Coulibaly et al. 2017</i>			•
<i>Z. Hochman et al. 2017</i>			•
<i>M. Fumagalli et al. 2012</i>			•
<i>D.P. van Vuuren et al. 2011</i>	•	•	
<i>C. Bunn et al. 2015</i>	•		
<i>M. Mandryk et al. 2017</i>		•	
<i>A.C. Conde-Álvarez et al. 2016</i>	•	•	•
<i>A.C. Conde-Álvarez et al. 2003</i>	•		
<i>Programa de las Naciones Unidas, 2005</i>	•	•	

C.Agriculture protected against climatic vulnerability in the agricultural supply chain (RQ3)
In the next four decades an increase of 70% of food production will be needed to meet the demands of demographic and socioeconomic supply chain; however, the decline and stagnation of agrarian agricultural land and water resources is problematic; so the desired increases will be achieved mainly through the improvement of crop productivity under eco-efficient crop production systems [67].

The climate crisis affects not only the productivity of crops, but also the prices of food and the infrastructure of the supply chain [68] [69], which affects food security [70]. Climate crises further destabilize food security by deepening poverty among poor communities around the world, so we are looking for an optimization multi-criteria: maximize crop productivity while minimizing losses, waste and the overall impact on the environment. Among the solutions to increase productivity, profitability and human nutrition,

there is the expansion and mechanization of protected agriculture, better production and management of environmentally sensitive technologies, investment in research to support cropping systems, the improvement of all the elements along the links of the agricultural supply chain from a greater participation of the private sector, better management and information flow, distributors and marketers [71] [72].

Nowadays, protected agriculture is an appreciated alternative because of its economic, social and environmental importance, which controls the primary production factors, increasing levels of productivity and product quality and promote agro-industrial development. Studies conducted in the horticultural industry where protected agriculture was implemented showed a drastic reduction in greenhouse gas emissions [73]; while in crops such as cocoa [74], tomato, cabbage, cauliflower, onion, potato [75] and wheat [76] showed an increase in their performance.

a) *Current panorama of the agriculture protected in the chain of agricultural supply in Mexico*

In Mexico, protected agriculture allows the development of crops under a controlled habitat of environmental conditions as humidity, temperature and light through the efficient use of water, allowing to reach yields up to ten times higher in relation to open-pit agriculture. In protected agriculture crops are sheltered by different kinds of structures with plastic covers, shade cloth or another type of material to minimize the impacts produced by climate change such as frost, torrential rains, droughts or pests.

Among the main advantages of the implementation of protected agriculture within the agricultural supply chain are production of constant crops (off-season), lower risk of production, greater efficiency of water use, generation of jobs, availability of food, increase in product quality. However, there are disadvantages such as: high investment cost structures, operating expenses and the purchase of some inputs needed to develop this agricultural activity. In 2016, the Agri-Food and Fisheries Information Service (SIAP) reported that between the years 2000-2015 protected agriculture in Mexico has had an exponential growth going from 700 hectares to 23 thousand 251 hectares having an increase of 15 thousand hectares for the year 2016; being Sinaloa and Jalisco the states with the highest participation with 9 thousand and 7 thousand 713 hectares, respectively. Figure 4 shows the crops with the highest production in protected agriculture in Mexico [77].

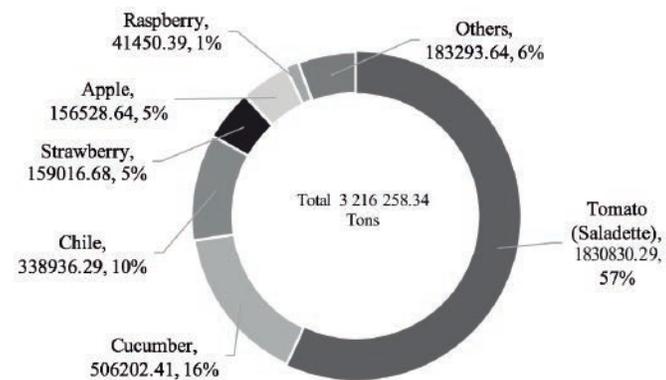


Figure 4. Production of protected agriculture in México (Tons) according to type of protection structures, ENA 2017

For the year 2017, the ENA reported a total of 17 388 agricultural production units (UPA) that perform protected agriculture. Figure 5 shows the percentage of distribution according to the type of structure used.

Protected agriculture is a highly efficient alternative to minimize the impact caused by climate change, since it is based on strategic development by controlling environmental variables to obtain an increase in agricultural production; on the other hand, the use of protected agriculture allows the reduction of greenhouse gas emissions into the atmosphere. Furthermore, through the optimization of resources, protected agriculture increases the productivity and yield of crops through environmentally sensitive management technologies.

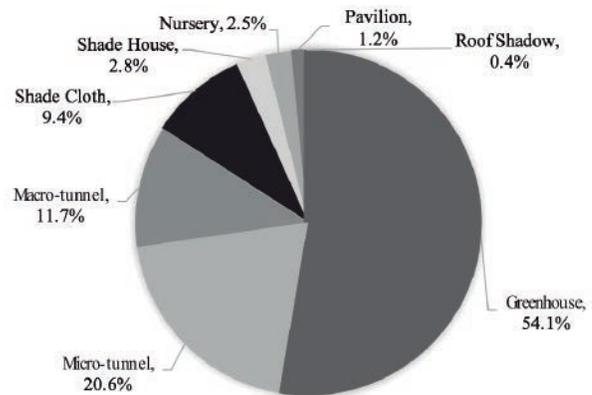


Figure 5. Percentage of production units with protected agriculture according to type of protection structures, ENA 2017

Table 4 shows the relationship of the researchers analyzed in RQ´3.

IV. CONCLUSION

Food security is intrinsically linked to climate impacts affecting agricultural supply chain. Meteorological phenomena have a direct impact on agriculture, as well as on the logistics distribution of food, causing interruptions in the food supply chain, especially in urban areas. Currently agricultural production has been growing to satisfy the demands of exponential population growth, however, several factors limit

Table 4. Relation of investigations and responses to RQ'3

References according to the unit of analysis.	Increase in agricultural production	Greenhouse gas reduction	Optimization of agricultural resources
<i>A. Anandhi & C.E. Blocksome, 2017</i>	•		
<i>C. Gay et al. 2004</i>	•		
<i>P. Llorach-Massana et al. 2017</i>		•	•
<i>J. Arias et al. 2008</i>		•	•
<i>F.A. Armah et al. 2011</i>	•		
<i>C. Mba et al. 2012</i>			•
<i>M.I. Anya et al. 2012</i>			•
<i>P. Bari, 2011</i>			•
<i>T. Beer, 2017</i>	•		•
<i>J. Molnar, 2017</i>	•		•
<i>J.D. Hughes et al. 2015</i>	•		•
<i>G.K. Ntinias et al. 2017</i>		•	
<i>W. A. Asante et al. 2017</i>		•	•
<i>H.P. Singh, 2013</i>		•	•
<i>S.H. Chattha et al. 2015</i>		•	•
<i>INEGI, 2017</i>	•		•

agricultural production, so The Commission on Sustainable Agriculture and Climate Change states that world food security is limited by three factors: the amount of food that can be produced in a given climate; the amount of food that a growing world population needs; and the effect of the food production on the climate, being the latter the one with greatest impact.

Climate change has induced certain countries to review their supply chains and prioritize the introduction of concrete adaptations [78] to determine products that are highly vulnerable to the impacts of climate change by evaluating the global supply chain to support planning adaptation strategy of a country. In this sense, the evolution of protected agriculture has gone from being a highly consuming system of resources and generating pollution, to become a viable option in the production of crops, therefore, it is necessary to promote protected agriculture within the agricultural supply chain as an alternative, competitive and sustainable production system.

Protected agriculture in Mexico has been increasing in recent years, this is due to export a certain percentage of vegetables, fruit and flowers to the United States and Canada [79]. Currently, the

total agricultural production units in Mexico, 17 388 are engaged in protected agriculture, of which, protective structures that continues to be the most important are the greenhouse (ENA, 2017), of which the highest percentage of greenhouses and other protective structures are located in the northeast of the country for export to North America. For agriculture, only a scenario based on a combination of adaptation and mitigation can avoid serious impacts of climate change.

REFERENCES

- [1] SAGARPA, "México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático," Sagarpa, vol. I, p. 439, 2012.
- [2] R. Barr, S. Fankhauser, and K. Hamilton, "Adaptation investments: A resource allocation framework," *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, 2010.
- [3] A. Notenbaert, C. Pfeifer, S. Silvestri, and M. Herrero, "Targeting, out-scaling and prioritising climate-smart interventions in agricultural systems: Lessons from applying a generic framework to the livestock sector in sub-Saharan Africa," *Agric. Syst.*, 2017.

- [4] S. Hörtenhuber, G. Piringer, W. Zollitsch, T. Lindenthal, and W. Winiwarter, "Land use and land use change in agricultural life cycle assessments and carbon footprints - The case for regionally specific land use change versus other methods," *J. Clean. Prod.*, 2014.
- [5] World Bank, CIAT, and CATIE, "Agricultura climáticamente inteligente en Chiapas, México. Serie de perfiles nacionales de agricultura climáticamente inteligente para América Latina," 2014.
- [6] M. Reséndez, A. Durón, and L. González, "Redalyc Characteristics of protected agriculture and their environment in Mexico," pp. 763– 774, 2011.
- [7] Et al. Santos, "Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida," UF/IFAS Ext. Univ. Florida, 2010.
- [8] B. Van Wee and D. Banister, "How to Write a Literature Review Paper?" *Transp. Rev.*, 2016.
- [9] D. Tranfield, D. Denyer, and P. Smart, "Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review," *British Journal of Management*. 2003.
- [10] SIAP, "Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera," 2016. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/siap>.
- [11] P. Mayring, "Qualitative Content Analysis: Theoretical Background and Procedures," in *Approaches to Qualitative Research in Mathematics Education*, 2015.
- [12] Naciones Unidas, *Vivir con el Riesgo*. 2004.
- [13] F. J. Dieguez Cameroni et al., "Virtual experiments using a participatory model to explore interactions between climatic variability and management decisions in extensive grazing systems in the basaltic region of Uruguay," *Agric. Syst.*, 2014.
- [14] I. P. Holman, C. Brown, V. Janes, and D. Sandars, "Can we be certain about future land use change in Europe? A multi-scenario, integrated-assessment analysis," *Agric. Syst.*, 2017.
- [15] G. Bussi, V. Janes, P. G. Whitehead, S. J. Dadson, and I. P. Holman, "Dynamic response of land use and river nutrient concentration to long-term climatic changes," *Sci. Total Environ.*, 2017.
- [16] P. K. Krishnamurthy, K. Lewis, and R. J. Choularton, "A methodological framework for rapidly assessing the impacts of climate risk on national-level food security through a vulnerability index," *Glob. Environ. Chang.*, 2014.
- [17] T. Lung, C. Lavalley, R. Hiederer, A. Dosio, and L. M. Bouwer, "A multi-hazard regional level impact assessment for Europe combining indicators of climatic and non-climatic change," *Glob. Environ. Chang.*, 2013.
- [18] V. y D. territorial Ministerio de Ambiente, "Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático elaborado por Instituto Nacional de Ecología," p. 60, 2012.
- [19] G. Schroth, P. Läderach, A. I. Martinez-Valle, C. Bunn, and L. Jassogne, "Vulnerability to climate change of cocoa in West Africa: Patterns, opportunities and limits to adaptation," *Sci. Total Environ.*, 2016.
- [20] Y. Xu et al., "The exposure, sensitivity and vulnerability of natural vegetation in China to climate thermal variability (1901-2013): An indicator-based approach," *Ecol. Indic.*, 2016.
- [21] S. Nazari, G. P. Rad, H. Sedighi, and H. Azadi, "Vulnerability of wheat farmers: Toward a conceptual framework," *Ecological Indicators*. 2015.
- [22] M. T. Knudsen et al., "Characterization factors for land use impacts on biodiversity in life cycle assessment based on direct measures of plant species richness in European farmland in the 'Temperate Broadleaf and Mixed Forest' biome," *Sci. Total Environ.*, 2017.
- [23] D. El Chami and A. Daccache, "Assessing sustainability of winter wheat production under climate change scenarios in a humid climate - An integrated modelling framework," *Agric. Syst.*, 2015.
- [24] A. Anandhi and C. E. Blocksome, "Developing adaptation strategies using an agroecosystem indicator: Variability in crop failure temperatures," *Ecol. Indic.*, 2017.
- [25] C. Gay, F. Estrada, and C. Conde, "Impactos Potenciales del Cambio Climático en la Agricultura: Escenarios de Producción de Café para el 2050 en Veracruz (México)," *El clima entre el Mar y la Montaña*, 2004.
- [26] P. Llorach-Massana et al., "N₂O emissions from protected soilless crops for more precise food and urban agriculture life cycle assessments," *J. Clean. Prod.*, 2017.
- [27] J. Arias, E. Malpartida, G. Carrion, P. Zorogastua, and F. Passoni, "Agriculture and greenhouse gas emission concerns in Peru," *Aust. J. Exp. Agric.*, vol. 48, no. 1–2, 2008.
- [28] F. A. Armah, J. O. Odoi, G. T. Yengoh, S. Obiri, D. O. Yawson, and E. K. A. Afrifa, "Food security and climate change in drought-sensitive savanna zones of Ghana," *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, 2011.

- [29] Wood, E., Tappan, G., Hadj, A., 2004. Understanding the drivers of agricultural land use change in south-central Senegal. *J. Arid Environ.* 59 et al., "Global consequences of land use," *Science* (80-), 2005.
- [30] Alder, J., Benin, S., Cassman, K. G., Cooper, H. D., Johns, T., Gaskell, J., ... Devendra, C. (2005). Food. In A. M. Balisacan & P. Gardine (Eds.) et al., "Spatial patterns of agricultural expansion determine impacts on biodiversity and carbon storage," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2015.
- [31] Wood, E., Tappan, G., Hadj, A., 2004. Understanding the drivers of agricultural land use change in south-central Senegal. *J. Arid Environ.* 59 et al., "Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: A global assessment," *Glob. Environ. Chang.*, 2012.
- [32] Wood, E., Tappan, G., Hadj, A., 2004. Understanding the drivers of agricultural land use change in south-central Senegal. *J. Arid Environ.* 59 et al., "Biofuels in sub-Saharan Africa: Drivers, impacts and priority policy areas," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2015.
- [33] Wood, E., Tappan, G., Hadj, A., 2004. Understanding the drivers of agricultural land use change in south-central Senegal. *J. Arid Environ.* 59 et al., "Use of remote sensing and GIS for improved natural resources management: case study from different agroecological zones of West Africa," *Int. J. Remote Sens.*, 2010.
- [34] A. Paloviita, T. Kortetmäki, A. Puupponen, and T. Silvasti, "Vulnerability matrix of the food system: Operationalizing vulnerability and addressing food security," *J. Clean. Prod.*, 2016.
- [35] J. L. Araus, G. A. Slafer, C. Royo, and M. D. Serret, "Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals," *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2008.
- [36] M. A. Semenov and N. G. Halford, "Identifying target traits and molecular mechanisms for wheat breeding under a changing climate," in *Journal of Experimental Botany*, 2009.
- [37] D. Conway and E. L. F. Schipper, "Adaptation to climate change in Africa: Challenges and opportunities identified from Ethiopia," *Glob. Environ. Chang.*, 2011.
- [38] G. Sain et al., "Costs and benefits of climate-smart agriculture: The case of the Dry Corridor in Guatemala," *Agric. Syst.*, 2017.
- [39] J. F. Mercure, H. Pollitt, A. M. Bassi, J. E. Viñuales, and N. R. Edwards, "Modelling complex systems of heterogeneous agents to better design sustainability transitions policy," *Glob. Environ. Chang.*, 2016.
- [40] D. R. Lee, S. Edmeades, E. De Nys, A. McDonald, and W. Janssen, "Developing local adaptation strategies for climate change in agriculture: A priority-setting approach with application to Latin America," *Glob. Environ. Chang.*, 2014.
- [41] L. Salvati, S. Bajocco, T. Ceccarelli, M. Zitti and L. Perini, "Towards a process-based evaluation of land vulnerability to soil degradation in Italy," *Ecol. Indic.*, 2011.
- [42] C. Salomé et al., "The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards," *Ecol. Indic.*, 2016.
- [43] M. E. Hofmann, J. Hinkel, and M. Wrobel, "Classifying knowledge on climate change impacts, adaptation, and vulnerability in Europe for informing adaptation research and decision-making: A conceptual meta-analysis," *Glob. Environ. Chang.*, 2011.
- [44] H. Belhouchette et al., "Assessing the impact of the Nitrate Directive on farming systems using a bio-economic modelling Chain," *Agric. Syst.*, 2011.
- [45] H. Mitter, C. Heumesser, and E. Schmid, "Spatial modeling of robust crop production portfolios to assess agricultural vulnerability and adaptation to climate change," *Land use policy*, 2015.
- [46] Wood, E., Tappan, G., Hadj, A., 2004. Understanding the drivers of agricultural land use change in south-central Senegal. *J. Arid Environ.* 59 et al., "Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2007.
- [47] Alder, J., Benin, S., Cassman, K. G., Cooper, H. D., Johns, T., Gaskell, J., ... Devendra, C. (2005). Food. In A. M. Balisacan & P. Gardine (Eds.) et al., "Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2014.
- [48] Alder, J., Benin, S., Cassman, K. G., Cooper, H. D., Johns, T., Gaskell, J., ... Devendra, C. (2005). Food. In A. M. Balisacan & P. Gardine (Eds.) et al., "Climate Change Adaptation Strategy in the Food Industry—Insights from Product Carbon and Water Footprints," *Climate*. 2016.
- [49] Alder, J., Benin, S., Cassman, K. G., Cooper, H. D., Johns, T., Gaskell, J., ... Devendra, C. (2005). Food. In A. M. Balisacan & P. Gardine (Eds.) et al., "Climate adaptation of food value chains: the implications of varying consumer acceptance," *Reg. Environ. Chang.*, 2017.
- [50] U. Eza, A. Shtiliyanova, D. Borrás, G. Bellocchi, P. Carrère, and R. Martin, "An open platform to assess vulnerabilities to climate change: An application to agricultural systems," *Ecol. Inform.*, 2015.

- [51] A. Monterroso, C. Conde, C. Gay, J. Gómez, and J. López, "INDICADORES DE VULNERABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA DE MÉXICO," *Cent. Ciencias la Atmósfera e Inst. Geogr. - UNAM*, 2013.
- [52] Alder, J., Benin, S., Cassman, K. G., Cooper, H. D., Johns, T., Gaskell, J., Devendra, C. (2005). Food. In A. M. Balisacan & P. Gardine (Eds.) et al., "The State of Family Farms in the World," *World Dev.*, 2015.
- [53] N. L. Engle, "Adaptive capacity and its assessment," *Glob. Environ.Chang.*, 2011.
- [54] J. Popke, S. Curtis, and D. W. Gamble, "A social justice framing of climate change discourse and policy: Adaptation, resilience and vulnerability in a Jamaican agricultural landscape," *Geoforum, International Congress on Logistics & Supply Chain (CiLOG)* 2016.
- [55] T. B. Below et al., "Can farmers' adaptation to climate change be explained by socio-economic household-level variables?," *Glob. Environ. Chang.*, 2012.
- [56] F. de A. de Carvalho-Pinto, D. M. de Queiroz, E. Chartuni, and E. Ruz, "Agricultura de precisión: nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria," *Rev. Palmas*, 2007.
- [57] H. C. Eakin, M. C. Lemos, and D. R. Nelson, "Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation," *Glob. Environ. Chang.*, 2014.
- [58] J. Y. Coulibaly, B. Chiputwa, T. Nakelse, and G. Kundhlande, "Adoption of agroforestry and the impact on household food security among farmers in Malawi," *Agricultural Systems*. 2017.
- [59] Z. Hochman et al., "Smallholder farmers managing climate risk in India: 2. Is it climate-smart?," *Agric. Syst.*, 2017.
- [60] M. Fumagalli, M. Acutis, F. Mazzetto, F. Vidotto, G. Sali, and L. Bechini, "A methodology for designing and evaluating alternative cropping systems: Application on dairy and arable farms," *Ecol. Indic.*, 2012.
- [61] D. P. van Vuuren et al., "The use of scenarios as the basis for combined assessment of climate change mitigation and adaptation," *Glob. Environ. Chang.*, 2011.
- [62] C. Bunn, P. Läderach, O. Ovalle Rivera, and D. Kirschke, "A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee," *Clim. Change*, 2015.
- [63] M. Mandryk, P. Reidsma, and M. K. van Ittersum, "Crop and farm level adaptation under future climate challenges: An exploratory study considering multiple objectives for Flevoland, the Netherlands," *Agric. Syst.*, 2017.
- [64] A. C. Conde-Álvarez et al., "Variabilidad climática y escenarios de cambio climático. Herramientas para los estudios de impactos potenciales y vulnerabilidad actual y futura. Ejemplos para México, Centroamérica y El Caribe," *Var. y Cambio climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adapt. al Cambio Climático en América Lat. y el Caribe Propues. para Métodos Evaluación.*, pp. 25–72, 2016.
- [65] A. C. Conde-Álvarez, "Cambio y variabilidad climáticos, dos estudios de caso en México," *Posgrado en Ciencias de la Tierra UNAM*, 2003.
- [66] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, "Marco de políticas de adaptación al cambio climático: desarrollo de estrategias, políticas y medidas," p. 274, 2005.
- [67] C. Mba, E. P. Guimaraes, and K. Ghosh, "Re-orienting crop improvement for the changing climatic conditions of the 21st century," *Agriculture and Food Security*. 2012.
- [68] M. I. Anya, N. I. Ofem, W. B. Binang, and E. P. Umoren, "Climate change and food security in africa," *Asian J. Agric. Res.*, 2012.
- [69] P. Bari, "ARTICLE ON BASMATI RICE: PRODUCTION, PROCUREMENT," *Res. J. Soc. Sci. Manag.*, 2011.
- [70] T. Beer, "The Impact of Extreme Weather Events on Food Security," 2017.
- [71] J. Molnar, "Supply Chains and Rural Communities: Applying Terroir to American Rural Development," *Int. J. Hortic. Agric.*, 2017.
- [72] J. D. Hughes, R. J. Holmer, and J. D. H. Keatinge, "Southeast Asian vegetable production - a vision for the future.," *AVRDC - World Veg. Center, Publ. No. 15-785*, 2015.
- [73] G. K. Ntinias, M. Neumair, C. D. Tsadilas, and J. Meyer, "Carbon footprint and cumulative energy demand of greenhouse and open- field tomato cultivation systems under Southern and Central European climatic conditions," *J. Clean. Prod.*, 2017.
- [74] W. A. Asante, E. Acheampong, E. Kyereh, and B. Kyereh, "Farmers' perspectives on climate change manifestations in smallholder cocoa farms and shifts in cropping systems in the forest-savannah transitional zone of Ghana," *Land use policy*, 2017.
- [75] H. P. Singh S K, *Trend of horticultural research particularly vegetables in India and its regional prospects*. 2013.
- [76] S. H. Chattha, C. M. Hasfalina, M. R. Mahadi, B. N. Mirani, and T.S. Lee, "Quality change of wheat grain during storage in a ferrocement bin," *ARNP J. Agric. Biol. Sci.*, 2015.

[77] INEGI, "Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2017 Conociendo el campo de México Resultados Conferencia de prensa 25 de julio de 2018," p. 41, 2017.

[78] K. Nakano, "Screening of climatic impacts on a country's international supply chains: Japan as a case study," *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, 2017.

[79] A. Bastida Tapia, "Evolución y Situación Actual de la Agricultura Protegida en México," *Memorias, sexto Congr. Int. Investig. ciencias básicas y agronómicas*, pp. 281–294, 2017.

Implementación de herramientas Lean Manufacturing en los procesos de preparación y distribución de alimento para ganado bovino

Viridiana Humarán Sarmiento, D. Amayrani Bórquez Beltrán,
Emilia E. Saucedo López, Grace E. Báez Hernández
División de Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico Superior de Guasave
Sinaloa, México
viridianahumaranitsg@gmail.com

Resumen— El propósito planteado en esta investigación fue realizar un análisis de la cadena de valor en el proceso de mezclado y distribución de alimento balanceado para ganado bovino. Considerando herramientas Lean Manufacturing para la mejora de los procesos de manufactura, con la finalidad de aprovechar al máximo los recursos, obtener los volúmenes demandados en los tiempos pronosticados, y reducir los desperdicios generados. El enfoque SIPOC (Supplier-Inputs-Process-Outputs-Customers) se utilizó para identificar específicamente las entradas de materia prima, el procesamiento, los proveedores y clientes principales del producto, también se diseñó un mapeo de flujo de valor, implementando la metodología Value Stream Mapping (VSM), diseñando un ruteo con base a una familia de productos analizados por los 5 tipos distintos de fórmulas de alimento que se manejan para las diferentes etapas de crecimiento del ganado bovino, con ese contexto se analizaron los proveedores, cantidades y tiempos de llegada de materias primas, el proceso a detalle de operaciones y maquinaria base, los clientes internos, entre otros factores. Además se diagnosticaron los desperdicios que se presentan en el sistema productivo para buscar eliminarlos o reducirlos, usando la metodología de las 8D (8 Disciplinas). Con estas aplicaciones se logró un aumento significativo en la productividad así como la mejora continua, incentivando a la compañía a cultivar un pensamiento sistémico en la cultura organizacional, contemplando todos los procesos como una cadena de valor y no como partes aisladas.

Palabras Clave— Lean Manufacturing, SIPOC, VSM, 8D, Cadena de Valor.

I. INTRODUCCIÓN

La herramienta VSM es mucho más que un instrumento de visualización de una cadena de valor, es un proceso de creación de valor que identifica acciones de mejora, alineadas con los objetivos de la empresa, sirve para ver y entender el proceso e identificar sus desperdicios, permitiendo detectar nuevas fuentes de ventaja competitiva. Pérez (2006).

Se hizo una revisión del estado del arte a nivel internacional, contemplando los siguientes autores:

M. Braglia (2011), en su artículo “A new value stream mapping approach for complex production systems” presenta un marco innovador para aplicar Value Stream Mapping a productos con listas de materiales complejas, se basó en siete pasos iterativos e integró Value Stream Mapping con otras herramientas típicas de la ingeniería industrial. Ejecutando un análisis preliminar para identificar la “ruta de producción crítica” utilizando la lista de materiales temporizada. Además consideró todas las posibles acciones compartidas con otras rutas secundarias como posibles restricciones. Una vez que optimizó la ruta crítica, retomó una nueva ruta crítica. Generando el análisis continuo de manera iterativa hasta que se alcanzó el nivel óptimo y el nivel de trabajo en proceso disminuyó por debajo del valor deseado.

Rahani (2012), en su publicación “Production Flow Analysis through Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process Case Study” describió un caso de Lean Production (LP) en un producto de la industria automotriz (disco frontal, D45T), utilizando la herramienta Value Stream Mapping (VSM), contrastando el antes y después de las iniciativas de LP para determinar los beneficios a los gerentes, considerando los indicadores de tiempo de producción, desperdicios ocultos e inventario en progreso.

González Torres (2012), en el artículo “Mapa de cadena de valor implementado en la empresa Agronopal ubicada en el D.F”, menciona que el

estudio está basado en una empresa que procesa, envasa y, además, distribuye nopal en distintas presentaciones, hace mención que la metodología ayudó a diagnosticar la situación actual de la empresa y a detectar los problemas y desperdicios vinculados a los procesos para finalmente seleccionar las técnicas de producción esbelta para eliminar dichos desperdicios, logrando obtener como resultados, la identificación de los procesos así como el tenerlos definidos para funcionar de forma eficaz, y tener un balanceo de línea siendo este una disminución en los costos de producción.

Villadiego (2012), en la tesis “Diseño metodológico para la implementación del Value Stream Mapping (VSM) en una empresa manufacturera colombiana dedicada al mercado de ascensores”. El estudio tiene como objetivo principal diseñar un modelo que facilite la visualización de la cadena de valor de una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de ascensores, la utilización de esta herramienta fue debido a que las empresas colombianas no realizan un mapeo del flujo de logística interna como herramienta de análisis, lo que no les permite conocer la realidad en que se encuentra cada uno de sus procesos.

Esto, les permitió encontrar los problemas en el proceso y de ahí partir para solucionarlos tomando en cuenta los eventos de Kaizen, dando como resultado como la disminución de rotación del inventario, al igual que la reducción de desperdicios, mejorando la eficiencia en las operaciones internas mediante la adecuada asignación y utilización de los recursos que intervienen dentro del proceso.

Fernández Calderón (2013), en la tesis “Value Stream Mapping aplicado a empresas de servicio: un caso de aplicación a un hospital”, menciona que se pretende mejorar la productividad y el financiamiento de los servicios lo que lleva a explorar nuevas formas de administración que permitan no sólo reducir costos sino también mejorar la calidad con la que se ofrecen sus servicios, a través de la aplicación de la metodología Value Stream Mapping, surge la

necesidad de mejorar sus servicios debido a que el hospital no cuenta con metodologías de mejora continua dentro de sus procesos, por lo que también existe la rotación constante de personal lo que hace que no tengan conocimiento del proceso y no quede nada documentado. Logró una mejoría en el planteamiento del proceso y el flujo de información a lo largo del mismo para funcionar de una manera más eficiente.

Morey (2013), en el artículo “Incremento de la productividad a través del Mapeo de Flujo de Valor (VSM) en una empresa metalmecánica”, menciona que las empresas manufactureras son objeto de cambios y transformaciones, resultado de la competencia por mantener o mejorar su posición en el mercado. Optimizó el proceso de elaboración de sillas de la empresa y eliminó desperdicios desde la perspectiva de la producción esbelta, utilizando técnicas de balanceo de línea lo cual permitió equilibrarla y el almacenamiento en el punto de uso. Como resultados de la aplicación de la herramienta VSM muestra un análisis integral del proceso productivo, permitiendo proponer mejoras necesarias y un plan de acción para tal efecto, algunos de ellos fue la eliminación de los desperdicios que contribuye a reducir los tiempos haciendo más eficiente el proceso de producción.

Hontoria (2013), en su artículo “Mejora del sistema productivo mediante Value Stream Mapping. Aplicación a una empresa de diseño”, menciona que su principal objetivo es la de descubrir los desperdicios y proponer mejoras en la organización de los procesos, analizando el estado productivo actual y presentando unas propuestas de rediseño de sus procesos mediante la aplicación de la metodología Value Stream Mapping en una fabricación de logos.

El uso de la herramienta VSM en la empresa bajo estudio ha logrado la reorganización del proceso productivo, reduciendo los tiempos de proceso (25%) y de servicio al cliente (46%).

Martínez Vera (2015), en la tesis “Implementación de Value Stream Mapping para optimizar el

manejo de inventarios dentro de una planta de fundición de partes automotrices”, menciona reducir la variación de los procesos debido que se desconoce cuánto material se encuentra en los puntos de almacenaje o consumo, así mismo el sistema de primeras entradas y primeras salidas no es respetado, una vez que el material ingresa a la planta éste es depositado en los puntos de consumo sin existir separación por lotes, lo cual genera el riesgo de que los procesos de producción se puedan contaminar. Con la implementación de la herramienta se propone la optimización del manejo de materiales con el fin de evitar impactos financieros en los procesos de producción dando como resultado una mejora significativa de manejo de inventarios y obteniendo una reducción de materia prima.

Dinesh (2017), en su publicación “Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study”, sigue el método de estudio de caso y guía sistemáticamente sobre la segregación y el tratamiento de las actividades sin valor agregado (NVA) y valor agregado (VA) del proceso de fabricación de transformadores de potencia industriales de servicio pesado. La compañía focal opera en entornos de ingeniería a pedido (ETO) y alta mezcla de bajo volumen (HMLV). Con un equipo de investigación que utiliza caminatas gemba y técnicas de cuestionamiento sistemático, se recopilaron datos relevantes para el mapeo. El método Taguchi también se aplicó para uno de los pasos críticos, que influía en el tiempo del ciclo y los requisitos de energía.

Paredes Rodríguez (2017) en su artículo “Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio”, se pretende identificar y eliminar aquellas actividades que no agregan valor al proceso y a su vez mejorar el desempeño del área logística de la compañía, disminuyendo la sensación de un bajo nivel de servicio, implementando la metodología Value Stream Mapping (VSM) en diferentes áreas que conforman al proceso de producción. Se logró reconocer el comportamiento y las relaciones que

existe dentro del proceso actual, proponiendo mejoras que conlleven a un funcionamiento ideal del sistema, donde las actividades que generen desperdicio dentro del proceso sean mínimas y solo queden aquellas tareas que le den un valor agregado al producto por el cual el cliente sí esté dispuesto a pagar.

Rothenbach Gavilanes (2017), en la tesis "Optimización de los procesos de la línea de enlatados en la empresa SIPIA S.A por medio de la metodología VSM", menciona que el principal uso de la metodología Value Stream Mapping es el proveer un esquema más definido y específico de los procesos de la cadena de valor. Obtuvo como resultado la disminución de tiempos de ciclos en la línea analizada, se redujeron el número de actividades y hubo una reducción de tiempo esterilizado.

A través del siguiente documento se presenta el proyecto realizado en la empresa Ganadera Rubio's S.P.R de R.L de C.V, el cual tiene como finalidad realizar un mapeo de procesos de valor (Value Stream Mapping) para la distribución de planta de alimento balanceado para ganado bovino.

En la actualidad es importante buscar la mejora de los procesos de manufactura que permita un aprovechamiento máximo de todos y cada uno de los recursos, y con ello buscar mejorarlos, así como obtener los volúmenes demandados en los tiempos pronosticados, para esto se realizó un SIPOC en donde se identificaron específicamente las entradas de materia prima, sus proveedores y clientes principales del producto, también se diseñó un mapeo de flujo de valor (VSM) en donde se analizaron los proveedores, cantidades y tiempos de llegada de materia prima, el proceso con operaciones base, los clientes, entre otros factores; además se realizó un análisis de aquellos desperdicios que se presentan en el sistema productivo para buscar eliminarlos o reducirlos, de igual manera se aplicó la metodología de las 8D en busca de eliminar aquel problema que cause más conflicto en el proceso de producción, buscando con estas aplicaciones la mejora continua.

Así mismo se da a conocer los resultados que se obtuvieron a través de la metodología VSM en el cual se muestra las propuestas de mejora para la distribución del alimento balanceado para ganado bovino, ya que este también se representa en un croquis de los diferentes corrales para ver su distribución actual de las distintas dietas.

II. METODOLOGÍA

A. Identificación de actividades del proceso

En esta actividad se determinó iniciar con los recorridos por las áreas que comprende a la empresa Ganadera, para conocer e identificar cada área, en estas se detectaron cinco áreas como se describen a continuación:

1. Reciba: En esta área el encargado de compras recibe y pesa al ganado, se introducen los datos de acuerdo al arete de SINNIGA (Sistema Nacional de Identificación Individual de Ganado), herramienta que coadyuva en el control sanitario, mejoramiento genético, manejo reproductivo, y control zoonosológico.
2. Trampa: Una vez recibido el ganado, después se procede a mandar con el encargado de trampa, ahí se cuentan por sexo y tamaño para asignar el corral en donde se le proporciona agua con electrolitos y alfalfa, se alimenta con fórmula de recepción y se trabaja de acuerdo al protocolo de reciba y recepción de crías de praderas (ganado en estado gestación).
3. Recuperación de merma: En esta área se envía el ganado que no cuenta con el peso mínimo para asignarse a un corral de crecimiento, se le dan medicamentos y alimentos conforme al diagnóstico del médico veterinario.
4. Crecimiento: El ganado que si cumple con el peso mínimo para iniciar las dietas de engorda se distribuye en área de crecimiento se distribuye en diferentes corrales, dependiendo el peso en kg del ganado, en la

alimentación con las dietas proporcionadas para el ganado que se encuentran ahí mismo, el área de praderas consiste en recibir el ganado si es manejo de inicio se coloca un arete electrónico, se coloca un arete de arpón con número de corral, se vacuna, se vitamina, desparasita, se implanta, se palpa, se lotifica y manda a corral, cuando es reimplante se vacuna, se desparasita, se reimplanta, se palpa, en caso de cambiar de corral se cambia arete con el número del nuevo corral.

El encargado de manejo separa al ganado por raza, sexo y por condición corporal en los corrales de trampa (30 kg máximo de diferencia), el área de engorda abarca todas las áreas por lo que es el mismo procedimiento que se utiliza en praderas en el cual el procedimiento consiste en supervisar al ganado recién llegado, se palpan las hembras, se envían a praderas, elaboran un formato donde se recaba la información como peso, número de arete y días de gestación del animal, validan el envío, reciben al ganado, lotifica, alimenta y trata el ganado, así mismo en praderas se supervisa a diario por la mañana y tarde en todos los corrales para ver si hubo nacimientos, el encargado coloca el arete a la cría en un período no más de 1 hora, se registran los datos en una entrada física y se captura en el sistema y se supervisa la engorda para validar que no hayan quedado crías sin arete.

5. Elaboración y distribución de alimento: En el área de planta de alimento los trabajadores laboran en dos turnos para la preparación y distribución del alimento mediante el cual se distribuye en la mañana y por la tarde, esta área se encarga de preparar el alimento para el ganado este consiste en 8 fórmulas distintas. Dentro de la planta de alimento se utiliza diferente maquinaria para preparar las diferentes fórmulas, una de ellas es la KUHN la cual es una mezcladora en donde se le va agregando la materia prima hasta obtener el alimento adecuado, caldera, roladora, tolva de reposo, molino, silos, así mismo como transporte a utilizar es un mini cargador, plataforma, Payloader y Telehandler.

El analista de distribución se encarga de realizar las dietas asignadas para los corrales ya sea para las dietas que les toca en la mañana y en la tarde con una distribución de alimento del 30 y 70%, así como llevar un control de los animales que encuentran en cada corral, para poder realizar las listas con las fórmulas que se deben de preparar para dar la alimentación indicada a cada corral y así mismo hacer las rutas más óptimas para los repartidores.

B. Análisis de áreas del proceso de distribución

Para iniciar con la actividad se tomó la decisión de utilizar la técnica de kaizen gemba, para analizar las áreas que comprenden el proceso de distribución realizando recorridos por las áreas comenzando desde la elaboración del alimento en la planta de mezclado hasta entregar el alimento al ganado, haciendo uso de transporte y personal para distribuir las dietas, lo cual fue necesario para observar las distancias de distribución y las actividades que realizan, así como los tiempos en los que se tardan en entregar el alimento. Se elaboró un formato para recabar la información necesaria en cuanto a los tiempos que tardan en realizar cada operación, la técnica de muestreo que se utilizó fue por conglomerados, las muestras se realizaron durante dos semanas en los dos turnos que tiene la empresa y fueron aplicados en las áreas de preparación de las dietas para el ganado, carga de alimento en los transportes, el tiempo de recorrido que se hace para llegar al primer corral, descarga de alimento, tiempo muerto que se hace durante el recorrido y por último el tiempo de regreso. Se tomaron en cuenta estos factores para poder detectar los desperdicios que surgen durante la entrega de las diferentes dietas.

Cabe destacar que existen actividades que no agregan valor al proceso de recorrido ya que los repartidores en ocasiones tienen que bajarse del transporte para abrir y cerrar la puerta, para destapar la compuerta por donde sale el alimento debido a que algunos ya están golpeados y no sale el alimento con fluidez, sino que esta tira demasiado alimento y no cae en los comederos de los corrales.

En la empresa Ganadera Rubio la distribución del alimento no se encuentra bien distribuido debido a que el sistema Beef Tracker con el que la empresa cuenta no arroja en orden los corrales, por ello se observó que los repartidores llegan a pasar por la misma línea más de 2 veces ya que siguen el orden de las listas que arroja el sistema y no se dan cuenta que hay corrales por esa misma ruta. Al igual que algunos repartidores distribuyen el alimento como a ellos según les facilite. Durante el recorrido se observó que uno de los corrales tenía hongo por falta de limpieza adecuada y por ese motivo no se les dejó alimento, ya que es importante que se encuentre en buen estado para poder servirles y así no enfermar al ganado, el repartidor tiene la obligación de avisar al encargado para que puedan limpiar ese corral y poder darles la dieta correspondiente. Por otro lado, en la planta de mezclado el tiempo en que se prepara el alimento tarda mucho debido a que solo hay un operario encargado para preparar las dietas estas son diferentes las cuales son: fórmula 10, fórmula 10 con antibiótico, fórmula 11, fórmula 11 con antibiótico, fórmula 12, fórmula 13, fórmula 14 y fórmula 15. Ahí se observó que el preparador es el que realizar todas las actividades y sólo en la fórmula 15 requiere de otro trabajador para agregarle a la dieta ZIPAMIX, si el trabajador no se encuentra en la planta retrasa el proceso de elaboración ya que él sólo puede realizar esa actividad.

Algunas de las observaciones dentro de la planta de mezclado son:

- Fallos en la mezcladora (KUNN).
- Sobreproducción de maíz.
- Paros de producción por falta de insumos.

C. Desarrollo de un diagrama de flujo

Se analizaron las distintas actividades que comprenden el proceso de producción en la planta de alimentos, desarrollando un diagrama de flujo para conocer las distintas actividades del proceso, así como para determinar los tiempos de elaboración para cada una de ellas, ya que la planta de alimentos se encarga de elaborar las dietas

correspondientes para el ganado, estas tienden a ser un total de 8 fórmulas, por lo que esta herramienta permitió conocer detalladamente su proceso desde la elaboración del alimento hasta su distribución a los corrales.

D. Desarrollo de un diagrama SIPOC

Para llevar a cabo esta actividad fue necesario acudir con el encargado de compras ya que su función dentro de la empresa Ganadera Rubio's es el comprar los insumos para la elaboración del alimento en planta y pedir las cantidades necesarias para cubrir la demanda para cada semana. Para elaborar el diagrama fue recomendable conocer el proceso de elaboración de las distintas dietas mediante el diagrama de flujo, para poder conocer las salidas y por último los clientes a quienes se les distribuye el alimento el cual es necesaria la presencia del jefe de engorda ya que se encarga de la distribución de las fórmulas para los corrales por lo que es importante conocer quienes consumen el alimento para poder obtener el resultado deseado con la herramienta a utilizar.

E. Diseño de VSM (Value Stream Mapping) actual

Utilizando las actividades realizadas anteriormente como lo son el diagrama de flujo el cual representa el proceso de elaboración de las distintas fórmulas, el diagrama SIPOC que representa los proveedores de los insumos y los clientes que consumen el alimento. Para ello también fue necesario identificar los parámetros clave cómo son:

- Tiempo ciclo (TC). Tiempo que tarda una persona en realizar su operación.
- Tiempo del valor agregado (VA). El tiempo que agrega realmente valor en la operación, ejemplo soldar una pieza.
- El número de personas (NP). El número de personas requeridas para completar el producto o proceso.

- El plazo de espera o Lead Time (LT). Tiempo que toma al proceso entregar el producto a su cliente. Las medidas del tiempo siempre deben estar en segundos.

Para recabar la información necesaria se hizo el uso de formatos en el software Excel, así mismo se hicieron los recorridos junto con los distribuidores de alimento hacia los corrales para ver el proceso de recorrido y poder observar si existían demoras en su recorrido ya que es importante para la elaboración del diseño del estado futuro que se planteará.

Los tiempos de elaboración y distribución fueron tomados en el turno de la mañana y por la tarde, debido a que se distribuyen en diferentes cantidades que son un 30% por la mañana y el 70% en la tarde.

F. Implementación de la metodología 8, Desperdicios

Para llevar a cabo la identificación de los 8 desperdicios de la filosofía Lean Manufacturing que “son varias herramientas que ayudan a eliminar todas las operaciones que no le agregan valor al producto, servicio y a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere. Reducir desperdicios y mejorar las operaciones”. Díaz (2009).

Así mismo un desperdicio es todo aquel que no agrega valor a un proceso o producto, adicionando únicamente en costos y/o tiempo. Cabe mencionar que algunos desperdicios no aplicaban dentro de la planta de alimento y en la distribución de alimento para el ganado, los desperdicios identificados fueron los siguientes:

1. Esperas
2. Fallos en la maquinaria
3. Movimientos
4. Transporte
5. Inventario
6. Sobreproducción

la producción es generado por los fallos en la maquinaria, por esa razón la metodología de las 8 disciplinas se enfoca esta problemática.

D1: Formación de un equipo de expertos que cubran todas las funciones

Tabla 1. Equipo 8D

Nombre del integrante	Rol desempeñado
M.C. Viridiana Humarán Sarmiento	Líder del proyecto
Ing. César Luis Portillo Valenzuela	Gerente de planta de alimento
Bórquez Beltrán Dolores Amayrani	Analista
Félix Zavala Carlos Alexis	Analista

D2: Definición del problema.

Los fallos en la maquinaria es uno de los problemas que afecta al buen funcionamiento de cada una de ellas afectando a la producción, por lo que al ocurrir estos fallos se obtiene como resultado tiempos de demora y paros de producción, debido a que no se les da un mantenimiento en tiempo y forma, así como el exceder la capacidad que tiene la maquinaria hace que ocurran fallos en estas mismas. Se sabe que es importante dar un contar con un buen funcionamiento de la maquinaria, de no ser así afecta a toda la producción haciendo que las distintas dietas no se preparen ni distribuyan en el tiempo necesario.

D3: Implementar y verificar una acción de contención provisional

Diseñar un plan de mantenimiento con la finalidad de que se realicen mantenimientos preventivos y correctivos en tiempo y forma, con el fin de evitar fallos en la maquinaria.

D4: Identificar y verificar la causa raíz

Se elaboró un diagrama de Ishikawa, como se muestra en la Figura 1.

G. Implementación de la metodología 8, disciplinas

Con el desarrollo de la técnica gemba y el análisis Ishikawa (Figura 1) la causa principal del retraso en

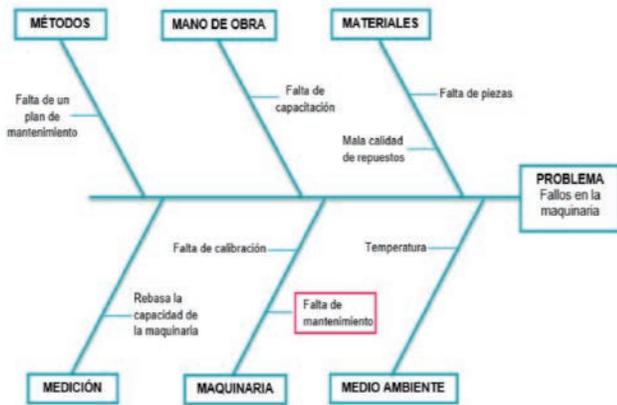


Figura 1. Diagrama de Ishikawa

D5. Determinar y verificar acciones correctivas permanentes

- Diseñar un plan de mantenimiento.
- Capacitar a los operarios para realizar el mantenimiento.
- Contar con un stock de repuestos con las especificaciones necesarias.

D6: Implementar y verificar las acciones correctivas permanentes

Para la verificación de las acciones correctivas se propuso un diseño de bitácoras para ver el funcionamiento de la maquinaria que se utiliza dentro de la planta de alimento y poder verificar el cumplimiento que se tiene de acuerdo al formato requerido.

D7: Prevenir la re-ocurrencia del problema y/o su causa raíz.

- Administrar el plan de mantenimiento.
- Verificar el funcionamiento de la maquinaria.

D8: Reconocer los esfuerzos del equipo.

Se agradece a todo el personal su colaboración en la implementación de esta metodología para eliminar el problema de fallos en la maquinaria de la planta de alimento balanceado para ganado bovino.

mejora para el proceso mediante el uso de tarjetas Kanban como mejoramiento de la producción y que este logre ser más eficiente para la empresa y los trabajadores que laboran en el área de planta de alimentos.

Para poder llevar a cabo el diseño propuesto fue recomendable analizar el diseño actual y ver en donde se puede mejorar reduciendo los desperdicios que se presenten, por lo que es importante la aplicación de la herramienta 8 Desperdicios y metodología 8D las cuales se enfocan en presentar los problemas que se encuentran en dicha área y como darles una solución. Para la elaboración del VSM futuro, la implementación de Kanban indica el plan de acción para el mejoramiento continuo de la empresa. Así mismo mejorando la distribución del alimento mediante el VSM actual.

III. RESULTADOS

A. Identificar las distintas actividades del proceso de distribución de la planta para el alimento de ganado bovino, a través de un ruteo

En el área fue necesario analizar el proceso de preparación de las distintas fórmulas para conocer los tiempos y desperdicios, así mismo preparan alrededor de 8 fórmulas, que son:

- Fórmula 10: Maíz rolado, pacas de maíz, Agromix, soya, DDG, melaza y manteca.
- Fórmula 10A (con antibiótico): Maíz rolado, pacas de maíz, Agromix SP, soya, DDG, melaza y manteca.
- Fórmula 11: Maíz rolado, pacas de maíz, Agromix SP, soya, DDG, melaza y manteca.
- Fórmula 11A (con antibiótico): Maíz rolado, pacas de maíz, Agromix SP, soya, DDG, melaza y manteca.
- Fórmula 12: Maíz rolado, pacas de maíz, Agromix SP, soya, DDG, melaza y manteca.
- Fórmula 13: Maíz rolado, pacas de maíz, Agromix SP, UREA, soya, DDG, melaza y manteca.

H. Diseño de VSM (Value Stream Mapping) propuesto

Esta actividad surgió de analizar el VSM actual, se enfoca en mostrar las nuevas propuestas de

- Fórmula 14: Maíz rolado, pacas de maíz, Agromix SP, soya, DDG, melaza y manteca
- Fórmula 15: Maíz rolado, pacas de maíz, Agromix SP, ZIPAMIX, soya, DDG, melaza y manteca.

E. VSM (Value Stream Mapping) actual.

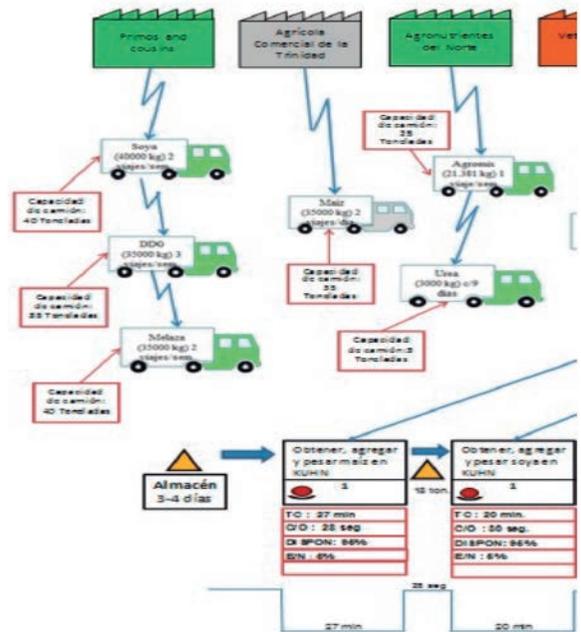


Figura 4. Sección del VSM (Value Stream Mapping) Actua (proveedores)

B. Analizar las distintas áreas del proceso de distribución de alimento para el ganado bovino

Tabla 2. Tiempos de distribución AM 26/06/18

TIEMPOS DE DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTO											
# VIAJE	VEHÍCULO	FÓRMULA	Tiempo en minutos					TURNO	AM		Fecha
			TP	TM	TC	HS	TRI		TD	TRF	
1	Inter.6	F10	4.22	5.2	1.29		7.92	0.6	4.14		22.08
2	Inter.6	F10A	5.15	7.11	2.01		6.04	9.41	6.25		36.06
3	Tormex 8	F11	6.11	3.98	0.57		25.2	1.83	4.5		42.17
4	Kubota 5	F11A	5.49	4.02	2.2		1.6	4.07	2.43		
5	Inter.6	F12	6.16	5.45			NA	6.2	1.37		
6	Tormex 7	F13	5.39	6.36			No se pudo muestrear				
7	Kubota 5	F14	14.08	10.46	1.38	10	3.4	4.21	2.43	10.33	35.96
8	Tormex 8	F14	14.08	10.46	0.57		21.7	2.64	5.55		54.91
9	Inter.6	F14	14.08	10.46	0.53		4.42	2.55	3.52		
10	Inter.6	F15	12.49	5.94	2.06		0.15	10.51	1.32		

C. Diagrama de flujo

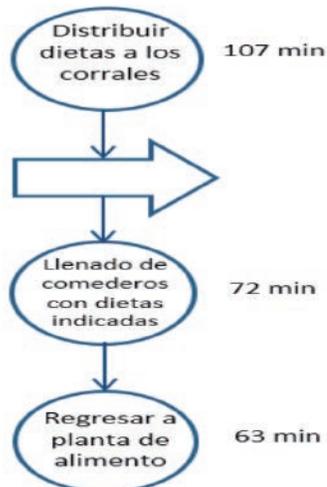


Figura 2. Parte del Diagrama de flujo del proceso

D. SIPOC (Supplier-Inputs-Process-Outputs-Customers)

ANÁLISIS SIPOC						
NOMBRE DEL PROCESO: ELABORACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTO						
PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESO	SALIDAS	CLIENTES		
Agrícola Trinidad	Maíz	Elaboración y distribución de alimento	Alimento para ganado bovino (F10, F10A, F11, F11A, F12, F13, F14, F15)	INTERNOS	EXTERNOS	
Javier Vázquez Paz	Pacas de maíz			Ganado Bovino		SuKarne
Agroalimentarios	Agromix					
Primos and cousins	Soya					
Primos and cousins	DDG					
Agroalimentarios	AUROFA					
Agroalimentarios	UREA					
Veterinaria del rodeo	ZPMIX					
Primos and cousins	Melaza					
Juan José Beltrán	Manteca					

Figura 3. SIPOC (Supplier-Inputs-Process-Outputs-Customers)

F. Aplicar la metodología 8D para eliminar desperdicios en el proceso

Se obtuvo como acciones correctivas las siguientes con base a la metodología 8 desperdicios para poder cumplir con un funcionamiento adecuado.

1. Esperas:

- 1.1. Falta de insumos Acciones correctivas: Proponer un cambio en la cultura organizacional, en los niveles más altos de la empresa para asegurar la trazabilidad del surtimiento de insumos.
- 1.2 Fallos en la maquinaria (Mezcladora KUHN)

Acciones correctivas:

Diseñar un plan de mantenimiento con la finalidad de que se realicen mantenimientos preventivos y correctivos en tiempo y forma.

2. Movimientos

2.1 Requerimiento de operario

Acciones correctivas

Capacitación al operario encargado de preparar las diferentes fórmulas para realizar esa operación faltante en esa fórmula.

2.2 Búsqueda de los insumos.

En caso de que sea un nuevo operario será necesario dar una inducción del área de trabajo con el objetivo de que conozca la ubicación de cada una de las partes que conforman al proceso.

3. Transporte

3.1 Mala distribución de alimento (rutas)

Acciones correctivas

Generar la ruta más corta alcanzando todos los corrales al igual que repartir la formula correspondiente para cada uno de estos, con el objetivo de disminuir los tiempos y optimizar recursos.

3.2 Corrales mal distribuidos.

Acciones correctivas

Distribuir los corrales conforme a cada una de las fórmulas, con el fin de eficientar el trabajo, disminuir tiempos y costos.

3.3 Falta de mantenimiento a compuertas de Tormex de los tractores.

Acciones correctivas

Diseñar un plan de mantenimiento para los transportes de alimentos se encuentren en buen estado y no afecte su funcionamiento a la hora de repartir las diferentes fórmulas, con el fin de evitar que los repartidores tengan que bajar de su transporte.

4. Inventario.

4.1 Falta de control de inventarios.

Acciones correctivas

Llevar un control a través del uso de un software que permita conocer las cantidades de cada uno de los insumos indicando las fechas en que estos se terminarán, de esta manera tener un mejor control y poder pedir en tiempo y forma los insumos necesarios.

5. Sobreproducción

5.1 Falta de capacidad de almacén

Acciones correctivas

Ampliar el almacén de maíz roado.

Así mismo como propuesta de la metodología 8D para verificar el funcionamiento de la maquinaria y que esta funcione adecuadamente para evitar paros en la producción se propone una bitácora para estar verificando que se cumpla el plan de mantenimiento preventivo, ya que es importante que la maquinaria siempre esté funcionando correctamente.

Es importante que la maquinaria funcione correctamente, ya que es la más importante de todo el proceso, la cual se encarga de mezclar las dietas correspondientes para el ganado, si esta deja de funcionar el proceso se retrasa y no se distribuye en tiempo y forma el alimento, es por ello que se propone este formato para poder evitar los fallos en la mezcladora KUHN para obtener mejores resultados.

Su función se basa en verificar su cumplimiento del mantenimiento preventivo dando resultados positivos en el proceso, algunos de ellos son:

- Reducción de costos
- Reducción de tiempo muerto invertido en reparaciones
- Disponibilidad de equipos al tenerlos en condiciones óptimas
- Revenir defectos en el producto final

		GANADERA RUBIO'S S.P.R. DE R.L.						
		BITACORA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
MAQUINA:	Volcadora Hidraulica	CÓDIGO:	VH-PL-01-01	RESPONSABLE:				
PROCESO:	Guardar maiz	FECHA:	Del _____ al _____					
INSTRUCCIONES: Marcar con una <input checked="" type="checkbox"/> en la casilla correspondiente el día que se realice la actividad o marcar con <input type="checkbox"/> cuando no se realice.								
ACTIVIDADES	L	M	M	J	V	S	D	OBSERVACIONES
DIARIAS								
Limpieza de la plataforma								
Revisar nivel de aceite del tanque								
Limpieza de la unidad hidraulica (tanque y bomba)								
Verificar presion								
Revisar funcionamiento de banda elevadora								
Revisar que no haya fugas en pistones								
Revisión visual de apoyos								

Figura 4. Sección del VSM (Value Stream Mapping) Actua (proveedores)

G. Diseñar y proponer un VSM (VALUE STREAM MAPPING) del proceso propuesto para mejorar el proceso de distribución del alimento

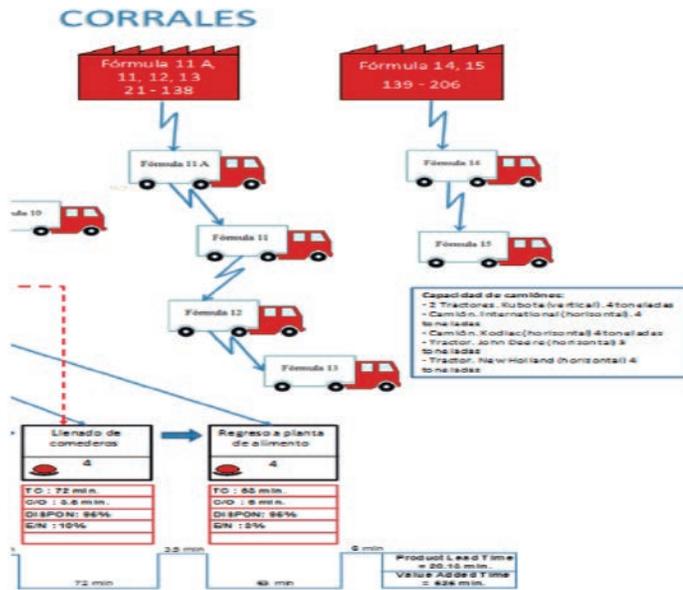


Figura 5. Sección del VSM (Value Stream Mapping) Futuro (distribución)

El siguiente croquis muestra la distribución propuesta de las distintas dietas para los corrales de la empresa Ganadera Rubio's, en el cual se tomó en cuenta la capacidad del corral, el peso y el tipo de ganado. Asimismo, se consideró esa opción con la ayuda del gerente de engorda José Antonio Aguilar Hernández, como necesidad para una mejor distribución, ya que el ganado debe de cumplir con el proceso establecido y no se debe de hacer un exceso de movimientos de corrales ya que no es adecuado para el animal, por lo que al llegar a la fórmula 14 y 15 se les hace un reimplante y pueden trasladarlos a los corrales propuestos los cuales serían del corral 139 al corral 206 con el fin de evitar afectar al ganado por la variedad de los cambios de corral.



Figura 6. Croquis propuesto con áreas de distribución de alimento

IV. CONCLUSIONES

La elaboración del proyecto de mapeo de procesos de valor (Value Stream Mapping) fue diseñado especialmente para el área de distribución de planta con la finalidad de identificar las actividades que no agregan valor al proceso y detectar los desperdicios en dicha área.

La aplicación de las distintas herramientas que proporcionó cada una de ellas fue de gran ayuda para llevarse a cabo la realización del proyecto, gracias a ellas se logró identificar y analizar el área correspondiente de la empresa ya que estas actividades eran importantes para iniciar con la herramienta VSM y poder detectar la problemática que en esta se presentaba.

Asimismo con el uso del diagrama de flujo se logró conocer el proceso de elaboración de las distintas fórmulas y su distribución de las mismas hacia los corrales de la empresa, ya que fue recomendable su uso para plantear el proceso y conocer detalladamente las actividades que se realizan, al igual que conocer los tiempos de preparación y distribución del alimento, para así encontrar los desperdicios y actividades que no añaden valor al proceso.

El diagrama SIPOC fue otra de las actividades importantes para iniciar con el diseño actual de la empresa, ya que en el se muestra el proceso de una manera más simple, en donde se conocen los proveedores de los distintos insumos utilizados en planta de alimento, las salidas que se obtienen mediante el proceso y los clientes quienes los consumen. Gracias a esta herramienta se llevó a cabo el diseño de la situación actual del área analizada, mostrando de manera representativa el resultado para lograr buscar mejoras en él y poder proponer mejoras, para lograr diseñar un mapeo futuro, la utilización de las herramientas 8D y 8 desperdicios fueron muy importantes, ya que se logró conocer los desperdicios en el proceso y las actividades que no tienen un valor significativo en el proceso, así como el conocer porque ocurrían demoras en el proceso. Mediante el uso de estas herramientas se logró diseñar el mapeo de

procesos de valor futuro con las mejoras y propuestas para obtener un proceso más eficiente y mejorando su distribución.

Fue muy importante el uso de la herramienta Value Stream Mapping, ya que se lograron obtener los resultados esperados, es una de las herramientas utilizadas en las empresas ya que esta nos proporciona detalladamente el proceso conociendo sus actividades y encontrando las que no tienen un valor significativo para eliminarlos o reducirlos.

V. RECONOCIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México por el apoyo financiero otorgado para la realización de este Proyecto, a través de la autorización de la convocatoria 2018-2 “Apoyo a la investigación científica y tecnológica en los programas educativos de los institutos tecnológicos federales, descentralizados y centros” vinculado con el Instituto Tecnológico Superior de Guasave (ITSG) y la empresa Ganadera Rubio’s S.P. de R.L. Reconocimiento al equipo de trabajo que formo parte de esta investigación, docentes, alumnos, personal operativo del Instituto Tecnológico Superior de Guasave y de la empresa beneficiada.

REFERENCIAS

- [1] Díaz, F. (2009). La manufactura esbelta. Recuperado el 10 de Noviembre de 2018, de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/manufactura%20esbelta.pdf
- [2] Fernández Calderón, F. (Julio de 2013). Value Stream Mapping aplicado a empresas de servicios: un caso de aplicación a un hospital. Recuperado el 14 de Noviembre de 2018, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6523/Tesis.pdf?sequence=1>
- [3] M. Braglia, G. Carmignani (06 de Octubre 2011). A new value stream mapping approach for complex production systems, pages 3929-3952, de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540600690545>
- [4] González Torres, A. (2012). Mapa de cadena de valor implementado en la empresa Agronopal ubicada en el D.F. Ingeniería Revista Académica, 51-57. Recuperado el 16 de Noviembre de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46724109005>
- [5] Hontoria, A. (2013). Mejora del sistema productivo mediante Value Stream Mapping. Aplicación a una empresa de diseño. Recuperado el 10 de Diciembre de 2018, de https://www.insisoc.org/CIO2013/papers/SP_03/Mejora%20del%20Sistema%20Productivo%20mediante%20Value%20Stream%20Mapping%20Aplicacion%20a%20una%20Empr esa%20de.pdf
- [6] Dinesh Seth, Nitin Seth (21 de Marzo 2017). Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study, pages 398-419, de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537287.2017.1300352>
- [7] Martínez Vera, F. (23 de Julio de 2015). Implementación de Value Stream Mapping para optimizar el manejo de inventarios dentro de una planta de fundición de partes automotrices. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018, de http://148.204.210.201/tesis/1443798717494_TESISFINAL.pdf
- [8] Morey, V. (Mayo de 2013). Incremento de la productividad a través del Mapeo de Flujo de Valor (VSM) en una empresa metalmecánica. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11048/1/Incremento%20de%20la%20productividad%20a%20traves%20del%20Mapeo%20de%20Flujo%20de%20Valor%20VSM%20en%20una%20empres a%20metalmecanica.pdf>
- [9] Paredes Rodríguez, A. M. (Enero-Junio de 2017). Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio. Redalyc, 262-267. Recuperado el 14 de Noviembre de 2018, de <http://www.redalyc.org/jatsRepo/2654/265452747020/265452747020.pdf>
- [10] Pérez, L. (Noviembre de 2006). Mapeo de flujo de valor. Recuperado el 21 de Junio de 2018, de Contabilidad y negocios: <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=281621766009>
- [11] Rahani AR, (2012). Production Flow Analysis through Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process Case Study. Procedia Engineering 41 (2012) 1727 -1734, de www.elsevier.com/locate/procedia.
- [12] Rothenbach Gavilanes, M. (2017). Optimización de los procesos de la línea de enlatados en la empresa SIPIA S.A por medio de la metodología VSM. Recuperado el 16 de Noviembre de 2018, de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8215/1/UDLA-EC-TIPI-2017-29.pdf>
- [13] Villadiego, M. (2012). Diseño metodológico para la implementación de Value Stream Mapping (VSM) en una empresa manufacturera Colombiana dedicada al mercado de ascensores. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018, de <https://core.ac.uk/download/pdf/11058211.pdf>



3. LOGÍSTICA AUTOMOTRIZ

- Selección de Proveedores en la Industria Automotriz para nuevas licitaciones de Activo usando el Método de Borda Count
- Evaluación de la pérdida económica de Taguchi de la política de inventario en una empresa automotriz.
- Análisis del efecto látigo en la cadena de suministro del sector automotriz: a partir de dinámica de sistemas

Selección de Proveedores en la Industria Automotriz para nuevas licitaciones de Activo usando el Método de Borda Count

Miriam Echegaray Tapia
Estudiante de Maestría en Ing. de la Cadena de Suministro
Universidad Autónoma del Estado de México, México
abide123@outlook.es

María Lourdes Nájera López
Docente en la Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma del Estado de México, México,
malourdesnl@yahoo.com

Resumen— Actualmente las empresas tienen la necesidad de ser más competitivas y de expandir sus productos y servicios a un mayor número de clientes en el mercado. A lo largo de los años han logrado expandir su cadena de suministro creando nuevas plantas en puntos estratégicos de diferentes países con bajos costos de operación. Cuando una Industria decide invertir en una nueva planta, define un presupuesto destinado para la compra de nueva maquinaria, equipos, y suministro e instalación de nuevos servicios. Para poder administrar la adquisición de gastos de capital el departamento de CAPEX debe de tomar la decisión para adquirir sus requerimientos con el mejor proveedor al menor costo y con la mejor calidad, para poder desarrollar la producción de un producto o servicio a sus clientes.

Palabras Clave—componentes; selección, proveedores, borda, licitaciones, activo

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolló en una planta manufacturera ubicada en la ciudad de Toluca, la cual fabrica sistemas automotrices para diversos clientes. La fábrica inició operaciones en 2016, actualmente se divide en dos plantas, la primera se dedica a generar sistemas de iluminación. Debido al éxito obtenido por parte de todo el equipo de trabajo, recientemente la empresa ganó cuatro licitaciones para nuevos proyectos de nuevos clientes importantes del sector automotriz, los cuales tienen marcas muy importantes a nivel global de origen alemán, italiano y americano. La segunda planta, se dedica a manufacturar sistemas de escape, a causa de la expansión de los nuevos proyectos, se está gestionando el desarrollo de una tercera planta la cual se encargará de dar mantenimiento y resguardar nuevos moldes de las líneas de ensamble.

Cabe señalar que la Entidad Económica se conforma por diversos departamentos como; Manufactura, Mantenimiento, Logística, Moldes, Calidad, Finanzas, WCM, Tecnologías de la Información, Seguridad Industrial y Medio Ambiente, Recursos Humanos y Compras. En este contexto, el departamento de compras se divide en material indirecto, material directo, nuevos proyectos, Operational Expenditures (OPEX) y Capital Expenditure (CAPEX).

CAPEX, se encarga de invertir en bienes y gastos de capital. Para considerar que la compra es una inversión de capital, la adquisición debe ser un activo recién comprado o una inversión que mejora la vida útil del activo existente. Generalmente por el crecimiento de la entidad económica, el comprador invierte en nuevos equipos, maquinarias, tecnología, construcción e instalaciones.

Para la compra de nuevos proyectos se selecciona el costo como mejor indicador para seleccionar al proveedor en las licitaciones, sin embargo, no es un método que garantiza la calidad del suministro e instalación de equipos en los tiempos establecidos,

con el tiempo esto ha ocasionado sobrecostos por la duplicación del pago de un producto o servicio y costos adicionales por el desfase de los proyectos.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es implementar una metodología cuantitativa que permita seleccionar al mejor proveedor de acuerdo a los criterios de costo, tiempo de entrega, distancia, condición de pago, calidad y servicio, para satisfacer la demanda de los usuarios.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En una empresa manufacturera ubicada en Toluca, se fabrican sistemas de iluminación y sistemas de escape para clientes muy importantes del sector automotriz. Esta empresa tiene un comprador de CAPEX, el cual se dedica a adquirir el activo fijo para nuevos proyectos. Cada vez que se necesita el suministro de un nuevo equipo, refacciones, maquinarias, e instalaciones, el comprador CAPEX y el usuario (cliente interno de algún departamento) convocan una reunión con diferentes proveedores especializados para la nueva licitación. En esta reunión el usuario le indica al proveedor los requerimientos necesarios para poder llevar a cabo su proyecto, el usuario toma en cuenta diversos factores como las dimensiones, tipo de material, diseño, calidad, etc.

Con base a los requerimientos del proyecto, los proveedores envían más de una cotización, para mejorar sus ofertas y reducir el costo, el comprador recibe todas las cotizaciones, una vez que finaliza la negociación y se obtienen los precios finales, el comprador realiza un cuadro comparativo de costos y selecciona la mejor oferta.

Por lo anterior y a raíz de la mala calidad de algunos suministros y servicios por parte de los proveedores, se ha generado retrabajos y duplicación en los costos por un nuevo servicio y desfase en la programación de los proyectos. Es por esto que ha surgido la necesidad de implementar una metodología que evalúe los parámetros o criterios más importantes, garantizando que el servicio o

suministro de equipo y maquinaria, cumpla con los requerimientos del usuario.

III. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Cuando una empresa decide invertir para crecer, amplía sus ingresos a través de adquisiciones, con el tiempo esto le permite aumentar su retorno de capital invertido. Para minimizar el riesgo de pérdida, la empresa invierte siempre y cuando el retorno de inversión sea suficiente para cubrir los costos iniciales de inversión obteniendo un beneficio en un tiempo razonable, al respecto, Hansen et al. (2009) afirman que para desarrollar un nuevo negocio y tener un crecimiento productivo con incremento a nivel macroeconómico y microeconómico es importante invertir en capital. También mencionan que el análisis macroeconómico tiene una correlación, entre el crecimiento económico y la inversión.

Asimismo, Kerkhoff et al. (2012) mencionan que la *adquisición de equipos de capital requiere un mayor conocimiento técnico debido a las altas inversiones de equipos e instalaciones a largo plazo, en donde el proceso debe ser planeado, dirigido y ejecutado, seleccionando a un proveedor altamente especializado*. De igual manera, consideran que la compra de equipos de capital no debe solo evaluar el costo, si no también deben revisarse las regulaciones legales para minimizar el riesgo económico en los proyectos de inversión pertinentes, por lo que consideran que hay criterios de conformidad con el cumplimiento de la evaluación que los proveedores deben cumplir como:

1. Referencias y experiencias con condiciones especiales técnicas;
2. Suministro completo para la instalación;
3. Implementación de la instalación de los servicios;
4. Capacidades disponibles para la entrega del pedido completo y seguimiento de pedidos.

Por lo que afirman que tener un contrato garantiza que el comprador hará una evaluación objetiva a los proveedores durante el proceso de una nueva licitación, comparando todas las ofertas para tomar la mejor decisión de selección.

Cabe señalar que la selección de proveedores se utiliza por varias situaciones:

- Una organización inicia operaciones y no cuenta con una cartera de proveedores.
- Una organización ya posee proveedores, pero no satisfacen las necesidades de los usuarios de la empresa y se requiere de mejor calidad.
- Una organización quiere ampliar su cartera de proveedores para que la organización tenga un parámetro de comparación y tome la decisión si quiere cambiar o desarrollar un nuevo proveedor.

En general las empresas buscan desarrollar proveedores eficientes que abastezcan su demanda con productos o servicios de alta calidad, en el tiempo establecido y al mejor costo.

Por su parte, Jaime (2016) hace referencia al Análisis Envolvente de Datos (DEA), la cual es una técnica que calcula la eficiencia relativa de múltiples unidades de toma de decisiones, en diversas entradas, salidas o resultados, considerando la suma promedio de los beneficios hasta los valores de los criterios de costos. El método permite clasificar a los proveedores como eficientes o ineficientes.

Del mismo modo, Ravindran et al. (2013) mencionan que la métrica L_p para la clasificación de proveedores, representa la distancia entre dos vectores x y y , donde x y $y \in \mathbb{R}^n$, la cual está dada por:

$$\|x - y\|_p = \left[\sum_{j=1}^n |x_j - y_j|^p \right]^{1/p}$$

Afirman que la métrica de L_p más utilizadas es la métrica L₂ (p = 2), que mide la distancia euclidiana entre dos vectores.

Para clasificar a los proveedores se calcula la métrica de L_p entre la solución ideal (H) y cada vector representa las calificaciones del proveedor para los criterios. La solución ideal otorga los mejores valores posibles para cada criterio de la lista inicial de proveedores. Dado que ningún proveedor tendrá los mejores valores para todos los criterios, la solución ideal es un objetivo artificial y no se puede lograr. El enfoque métrico de L_p calcula la distancia de los atributos de cada proveedor a partir de la solución ideal y clasifica al proveedor según esa distancia (cuanto más pequeña, mejor).

Ravindran et al. (2013) describe el método de Borda de la siguiente manera.

1. Los criterios n se clasifican del 1 a n, con 1 el más importante y n el menos importante.
 - a) los criterios establecidos como 1 consiguen n puntos, el segundo criterio establecido como 2 consigue (n-1) puntos y el último criterio consigue solo 1 punto.

- 2.- Los pesos para los criterios se calculan de la siguiente manera.
 - Clasificación del criterio 1: n/s
 - Clasificación del criterio 2: (n-1) /s
 - Último criterio: 1/s

IV. DATOS E INFORMACIÓN

Anteriormente el comprador CAPEX utilizaba el costo como único criterio de selección de proveedores para las licitaciones de activo fijo. Al proponer el nuevo método de selección de proveedores se organizó una reunión con el comprador para revisar los nuevos criterios de selección, de acuerdo a la naturaleza de las licitaciones e información disponible se establecieron los criterios que se pueden observar en la Tabla 1. En esta tabla se describen los criterios de selección que se evaluaron para los 3 proveedores que participaron en la

licitación del proyecto Adecuación Nodos de red y Re- Ubicación Moldeadora 12, en donde el usuario (Ing. de Tecnologías de la Información), dio a conocer los requerimientos necesarios para el proyecto.

La Tabla 1, muestra los resultados finales de los criterios de selección (costo, tiempo de entrega, distancia, condición de pago, calidad y servicio) de los 3 proveedores, en donde se puede apreciar que el mejor costo es el de JC con \$22,619.71, el mejor tiempo de entrega es el de JC y Ax con 7 días, la mejor distancia al ser un proveedor local es la de TP, el mejor plazo de pago es de JC y TP con 45 días, de acuerdo a los trabajos efectuados anteriormente quien siempre a cumplido con la calidad y un buen servicio es Ax.

A simple vista se puede observar que los tres proveedores tienen diferentes fortalezas, en donde la selección de forma empírica corresponde a JC por el costo, sin embargo, al aplicar el método de selección y evaluar la ponderación de los criterios, se conocerá el mejor resultado.

Tabla 1. Criterios de evaluación en un proyecto de sistemas para la sección de un nuevo proveedor

Adecuación Nodos de red y Reubicación Moldeadora 12			
Criterios de selección	JC	TP	Ax
Costo (MXN)	\$ 22,619.71	\$ 22,992.90	\$ 40,160.71
Tiempo de entrega (días)	7	14	7
Distancia (km)	65	9	53
Condición de Pago (días)	45	45	30
Calidad	7	9	10
Servicio	7	9	10

Fuente: Creación propia con base a la información de los criterios de selección de los proveedores.

En la Tabla 2, se describen los 3 proveedores que participaron en la licitación de un proyecto para la canalización y cableado de red en la planta de TS, donde el usuario (Ing. de Tecnologías de la Información), dio a conocer los requerimientos necesarios para el proyecto. Ver (Anexo 1).

Tabla 2. Criterios de evaluación en un proyecto de tecnologías de la información

Canalización y cableado de red			
Criterios de selección	Ax	Ne	TP
Costo	\$244,955.70	\$303,013.79	\$367,789.01
Tiempo de entrega	10	28	42
Distancia km	53	1809	9
Condición de Pago	30	40	45
Calidad	10	10	9
Servicio	10	9	9

Fuente: Creación propia con base a la información de los criterios de selección de los proveedores.

También muestra los resultados finales de los criterios de selección (mejor costo \$244955.7 MXN, tiempo de entrega 10 días, distancia 9 km, condición de pago 45 días y mejor calidad y servicio Ax).

V. METODOLOGÍA

Actualmente existen diversas metodologías que sirven para poder realizar la selección de proveedores, para este caso de estudio se revisaron 3 métodos de selección, los cuales se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Métodos para la selección de un proveedor

Método de Selección de Proveedores	Descripción
DEA DATA ENVELOPMENT ANALYSIS	Técnica que calcula la eficiencia relativa de múltiples unidades de toma de decisiones, en múltiples entradas, salidas o resultados, considerando la suma promedio de los beneficios hasta los valores de los criterios de costos.
LP METRIC	Representa la distancia entre dos vectores X y Y. Para clasificar a los proveedores se calcula la métrica de L_p entre la solución ideal (H) y cada vector que representa las calificaciones del proveedor para los criterios. Cuanta más pequeña sea la distancia entre la solución ideal y el proveedor es mejor.
BORDA COUNT	Los criterios n se clasifican del 1 n, más importante y n menos importante, respectivamente. a) los criterios establecidos como 1 consigue n puntos, el segundo criterio establecido como 2 consigue (n-1) puntos y el último criterio consigue solo 1 punto.

Fuente: Creación propia, de acuerdo a la información de diversos autores.

VI. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO Y SUS RESULTADOS

Para implementar el método de selección de proveedores se hicieron tres propuestas. Ver

Tabla 3. En la primera propuesta se aplicó el DEA, esta técnica evalúa los resultados de la salidas que alimentan las entradas, al exponer el método se llegó a la conclusión que es un método complejo, el cual requiere un análisis exhaustivo y un tiempo de ejecución prolongado por lo que se descartó y se realizaron 2 propuestas más, el Método L2 metric y el Método Borda Count, al aplicar los métodos la selección fue la misma para ambos métodos con resultados similares. Sin embargo, cuando se tomó la decisión de definir un método estándar, de acuerdo a la practicidad se eligió el Método Borda Count.

La Tabla 4, concentra los subcriterios en los criterios, por ejemplo, calidad, distancia y servicio, tiempo de entrega, condiciones de pago y precio, en donde la ponderación más alta es para el precio con 0.4%.

Tabla 4. Aplicación del Método Borda Count: Proyecto de adecuación nodos de red y reubicación de una moldeadora 12

Borda Count Method aplicado a la licitación de la adecuación Nodos de red y Reubicación Moldeadora 12			
Criterio	Rank	Valor Lineal	Ponderación
Calidad de servicio max	3	2	0.2
Tiempo de Entrega	2	3	0.3
Condiciones de Pago	4	1	0.1
Precio	1	4	0.4
		10	1

Fuente: Creación propia de acuerdo a los pesos ponderados de los criterios de selección.

De acuerdo a los criterios de selección se consideraron los siguientes subcriterios para mejorar la selección, tales como: calidad y servicio, tiempo de entrega y ubicación, condiciones de pago y precio, que se pueden observar en la Tabla 5 y Anexo 2.

Tabla 5. Subcriterios de evaluación para la licitación de adecuación nodos de red y reubicación de una moldeadora

Subcriterio	Rank	Valor Lineal	Ponderación
Calidad	2	5	0.24
Servicio	3	4	0.19
Tiempo de Entrega	4	3	0.14
Ubicación	5	2	0.10
Condición de Pago	6	1	0.05
Precio	1	6	0.29
		21	1

Fuente: Creación propia de acuerdo a los pesos ponderados de los subcriterios de selección.

Y, con respecto al valor lineal, la ponderación de los criterios quedó de la siguiente manera: precio 0.29%, calidad 0.24%, servicio 0.19%, tiempo de entrega 0.14%, ubicación 0.1% y condiciones de pago 0.05%, estas ponderaciones se determinaron de acuerdo al nivel de importancia de los criterios.

Para poder realizar la normalización de los datos se realizó una tabla con los datos de los subcriterios de cada proveedor, los cuales se muestran en la Tabla 6 y Anexo 3.

Tabla 6. Datos iniciales de los proveedores para la licitación de adecuación nodos de red y reubicación moldeadora 12

Datos iniciales de los proveedores						
Proveedor	Calidad*	Servicio*	Tiempo de Entrega**	Distancia en km**	Condición de pago*	Precio MXN**
JC	7	7	7	65	45	\$ 22,619.71
TP	9	9	14	9	45	\$ 22,517.50
Ax	10	10	7	53	30	\$ 40,160.71
						\$ 17,643.21

Fuente: Creación propia de acuerdo a los pesos ponderados de los criterios de selección.

Nota: (*) son los criterios que se quieren maximizar, (***) son los criterios que se deben minimizar.

La normalización de los datos y la ponderación final de cada proveedor se puede observar en la Tabla 7. La normalización ayuda a determinar la efectividad de cada proveedor en los diferentes criterios, la suma individual de cada elemento entre la suma individual de cada elemento entre el número total de criterios da la puntuación total ponderada por cada proveedor, para este proyecto la ponderación más alta es la de JP con 0.67% en calidad, 0.67% en servicio, 0% en tiempo de entrega y 1% en distancia, condiciones de pago y precio. Ver (Anexo 4).

Tabla 7. Normalización de datos y ponderación final para la licitación de adecuación nodos de red y reubicación moldeadora 12 a 12

Datos de los proveedores normalizados							
Proveedor	Calidad	Servicio	Tiempo de Entrega	Distancia en km	Condición de pago	Precio	Puntuación Ponderada
JC	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.99	0.47
TP	0.67	0.67	0.00	1.00	1.00	1.00	0.71*
Ax	1.00	1.00	1.00	0.21	0.00	0.00	0.59

Fuente: Creación propia de acuerdo a la normalización y ponderación final de los criterios.

Nota: (*) es el mejor proveedor.

En este caso, la ponderación más alta indica la selección del proveedor con base a los diferentes criterios y ponderaciones como: mejor calidad, tiempo de entrega mínimo requerido, ubicación cerca de la planta, mejor servicio y facilidades de pago que favorecen a la empresa.

En la Tabla 7, se observa que Jeri Comercial y Tech Pro no cumplieron con el mínimo requerido de los diferentes parámetros, en cambio Tech Pro tiene un nivel aceptable de calidad y servicio, su tiempo de entrega no es favorable, sin embargo, la empresa contempla un periodo estimado de tiempo aceptable para que realice el proyecto, está relativamente cerca de la planta, sus días de crédito y precio son competitivos. Con el resultado final de la ponderación, TP obtiene el 71%, en comparación con los otros 2 proveedores.

VII. RESULTADOS

Proyecto de Adecuación Nodos de red y Reubicación Moldeadora 12.

En esta licitación se aplicó el método con la intención de evaluar el nivel de competitividad del proveedor TP, de acuerdo a los resultados se concluyó que es un proveedor que puede realizar el servicio con calidad, en un periodo de tiempo corto y a un costo bajo, al exponer el método y los resultados a la gerente del área de compras, se pudo comprobar que es un proveedor que tiene potencial y por lo cual la gerente autorizó su alta en el sistema para ser un proveedor autorizado.

En la Tabla 8 se puede observar el resultado final y el mejor proveedor es TP con 0.71, seguido por Ax 0.59 y terminando con JC con 0.47. En el Anexo 4, se puede observar el resultado para la selección del mejor proveedor (*).

Tabla 8. Resultados del proyecto de adecuación nodos de red y reubicación Moldeadora 12

Proveedor	Puntaje	Rank
JC	0.47	#3
TP	0.71	#1
Ax	0.59	#2

Fuente: Resultado final de la selección de proveedor para la licitación del proyecto 1.

Nota: (*) es el mejor proveedor.

Al realizar una revisión de los diferentes métodos de selección de proveedores, y evaluar el alcance y complejidad de las metodologías, se determinó que el método más práctico para la aplicación en la empresa es Borda Count, el cual se implementó de manera exitosa en diferentes licitaciones.

En la primera licitación de acuerdo al nivel de competitividad que mostro, el ganador fue TP. Las aplicaciones de los diferentes métodos fueron de utilidad, dando la credibilidad a JC requerida para formar parte de la cartera proveedores autorizados de la empresa.

En la segunda licitación el mejor proveedor fue Ax con una ponderación final de 0.95. El método se aplicó a 26 proyectos subsecuentes.

Al aplicar el método en las diferentes órdenes de compra se logró reducir de manera directa \$ 349,338.28 MXN. La diferencia entre el precio más alto y el seleccionado fue de \$2,338,868.49 MXN.

Esto refleja que, si la empresa no realizara una negociación, y hiciera la compra de forma aleatoria sin analizar los costos en el mercado, tendría una pérdida aproximada de \$1,989,530.21 MXN, tomando en cuenta 28 proyectos y, de 2 a 3 ordenes diarias en 5 días hábiles de una semana.

Tabla 9. Tabla general de ahorros al aplicar el método y hacer la negociación

PURCHASE ORDER	SUPPLIER 1		SUPPLIER		BORDA COUNT METHODOLOGY	BENCHMARKING
	INITIAL	FINAL	SUPPLIER 2	SUPPLIER 3	DIFFERENCE	DIFFERENCE
P1	\$ 22,619.71	\$ 20,810.13	\$ 22,992.90	\$ 40,160.71	\$ 1,809.58	\$ 19,350.58
P2	\$ 244,955.70	\$ 232,707.92	\$ 303,013.79	\$ 367,789.01	\$ 12,247.79	\$ 135,081.10
P3	\$ 96,224.49	\$ 85,914.72	\$ 122,118.77	\$ 124,008.00	\$ 10,309.77	\$ 38,093.28
P4	\$ 96,755.60	\$ 83,410.00	\$ 92,598.38	\$ 121,641.00	\$ 13,345.60	\$ 45,259.30
P5	\$ 21,200.00	\$ 20,350.00	\$ 84,900.00		\$ 850.00	\$ 64,550.00
P6	\$ 38,200.00	\$ 37,436.00	\$ 37,730.00		\$ 764.00	\$ 294.00
P7	\$ 252,636.00	\$ 227,372.40	\$ 277,046.72		\$ 25,263.60	\$ 49,674.32
P8	\$ 264,020.82	\$ 258,740.40	\$ 385,516.00	\$ 295,305.19	\$ 126,775.60	\$ 5,280.42
P9	\$ 54,135.00	\$ 51,969.60	\$ 58,860.00		\$ 2,165.40	\$ 6,890.40
P10	\$ 29,927.29	\$ 26,934.56	\$ 28,409.85		\$ 2,992.73	\$ 1,475.29
P11	\$ 12,044.00	\$ 11,803.00	\$ 16,000.00		\$ 241.00	\$ 4,197.00
P12	\$ 17,600.00	\$ 16,896.00	\$ 21,919.00		\$ 704.00	\$ 5,023.00
P13	\$ 379,696.87	\$ 364,508.00	\$ 791,137.29		\$ 15,188.87	\$ 426,629.29
P14	\$ 322,009.38	\$ 309,129.01	\$ 791,137.29		\$ 12,880.38	\$ 482,008.29
P15	\$ 77,703.54	\$ 71,373.98	\$ 161,250.00		\$ 6,329.56	\$ 89,876.02
P16	\$ 19,561.80	\$ 18,192.47	\$ 29,101.46		\$ 1,369.33	\$ 10,908.99
P17	\$ 16,700.00	\$ 16,300.00	\$ 43,562.30		\$ 400.00	\$ 27,262.30
P18	\$ 184,188.10	\$ 174,978.70	\$ 201,391.98		\$ 9,209.40	\$ 26,413.28
P19	\$ 4,820.00	\$ 4,338.00	\$ 28,650.00		\$ 482.00	\$ 24,312.00
P20	\$ 3,254.28	\$ 3,091.15	\$ 7,860.00		\$ 163.13	\$ 4,768.85
P21	\$ 201,000.00	\$ 193,700.00	\$ 270,669.22		\$ 7,300.00	\$ 76,969.22
P22	\$ 398,938.00	\$ 378,263.00	\$ 1,044,840.00		\$ 20,675.00	\$ 666,577.00
P23	\$ 60,796.89	\$ 56,541.11	\$ 69,655.95		\$ 4,255.78	\$ 13,114.84
P24	\$ 315,780.00	\$ 303,150.00	\$ 276,356.90		\$ 12,630.00	\$ 26,793.10
P25	\$ 60,796.89	\$ 56,541.11	\$ 69,655.95		\$ 4,255.78	\$ 13,114.84
P26	\$ 127,090.00	\$ 105,484.00	\$ 107,490.00		\$ 21,606.00	\$ 2,006.00
P27	\$ 217,500.00	\$ 191,400.00	\$ 270,900.00		\$ 26,100.00	\$ 79,500.00
P28	\$ 128,914.00	\$ 119,890.00	\$ 166,922.00		\$ 9,024.00	\$ 47,032.00
					\$ 349,338.28	\$ 2,338,868.49

VIII. ANEXOS

Método Conteo Borda: Proyecto de Canalización y Cableado de Red.

Anexo 1. Criterios de evaluación para la licitación de Canalización y Cableado de Red

Borda Count Method aplicado a la licitación de Canalización y Cableado de Red			
Criterio	Rank	Valor Lineal	Ponderación
Calidad de servicio	3	2	0.2
Tiempo de Entrega	2	3	0.3
Condiciones de Pago	4	1	0.1
Precio	1	4	0.4

Anexo 2. Subcriterios de Evaluación para la licitación de Canalización y Cableado de Red

Subcriterio	Rank	Valor Lineal	Ponderación
Calidad	2	5	0.24
Servicio	3	4	0.19
Tiempo de Entrega	4	3	0.14
Ubicación	5	2	0.10
Condición de Pago	6	1	0.05
Precio	1	6	0.29
		21	1

Anexo 3. Datos iniciales de los proveedores para la licitación de Canalización y Cableado de Red

Proveedor	Calidad*	Servicio*	Tiempo de Entrega **	Distancia en km **	Condición de pago*	Precio**
Ax	10	10	10	53	30	\$ 244,955.70
Net	10	9	28	1809	45	\$ 303,013.79
TP	9	9	42	9	45	\$ 367,789.01
						\$ 122,833.31

Anexo 4. Normalización de datos y ponderación final para la licitación de Canalización y Cableado de Red

Datos de los proveedores normalizados							
Proveedor	Calidad	Servicio	Tiempo de Entrega	Distancia en km	Condición de pago	Precio	Puntuación Ponderada
	1.00	1.00	1.00	0.98	0.00	1.00	*0.95
	1.00	0.00	0.44	0.00	1.00	0.53	0.50
	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.14

REFERENCIAS

[1] Hansen H., Huhn W., Legrand O., Steiners D., Vahlenkamp. (2009), CAPEX Excellence: Optimizing Fixed Asset Investments, Wiley; 1 edition June 29.

[2] Jaime Alberto (2016), Formulación en el Análisis Envolvente de Datos (DEA). Resolución de casos prácticos.

[3] Gerd Kerkhoff, Erik Hofmann, Wolfgang Stölzle. (2012), Professional Supply Management, Springer

[4] Ravi Ravindran, A & D.P., Jr, Warsing,. (2013). Supply chain engineering: Models and applications.

Evaluación de la pérdida económica de Taguchi de la política de inventario en una empresa automotriz

Gloria Vianey Hernández Villagómez
Departamento de Estudios Multidisciplinarios,
Sede Yuriria. Universidad de Guanajuato
Yuriria, México
gv.hernandezvillagomez@ugto.mx

Dr. Baeza Serrato Roberto
Departamento de Estudios Multidisciplinarios,
Sede Yuriria. Universidad de Guanajuato
Yuriria, México
r.baeza@ugto.mx

Resumen— La investigación presenta la implementación de un sistema para evaluar la pérdida monetaria debido a las políticas implementadas por su sistema de gestión de inventarios de una empresa automotriz, con el objetivo de determinar la factibilidad de dichas políticas. El sistema integra la metodología de la función de pérdida de Taguchi, el punto de reorden y gráficos de control. En primera instancia, la demanda de diferentes productos es analizada como una característica de calidad del tipo nominal, el valor nominal utilizado para el cálculo de la pérdida económica individual es determinado mediante el punto de reorden, finalmente se presenta un gráfico de control de proceso integrando la pérdida individual de la demanda de los productos en estudio. Los resultados del sistema permiten evaluar las pérdidas monetarias de los productos sometidos a las políticas de gestión de inventarios de la empresa en estudio. El sistema puede ser replicado en otras empresas o casos de estudio para evaluar variables económicas.

Palabras Clave—Inventario; función de pérdida; gráficos de control; punto de reorden.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la Industria Automotriz en México es potencia mundial en su crecimiento y desarrollo económico, de 1993 al año 2017, el PIB de la industria automotriz ha crecido más del doble que el PIB manufacturero y el PIB nacional, en el año 2017 contribuyó con el 2.9% del PIB nacional y el 18.3% del manufacturero, generando impactos en 157 actividades económicas del país, 84 de estos generados por la industria manufacturera y 73 a comercio y servicios [1].

La competencia en el mercado y los cambios rápidos en la globalización han originado cambios en el personal implementado las grandes tecnologías necesarias para mejorar la productividad y la automatización en la fabricación inteligente [2].

La cadena de suministro es una parte importante para el manejo de los inventarios, por lo cual es uno de los puntos más críticos en el sector automotriz, siendo una de las fases más difíciles de implementar, ya que involucra a numerosos socios y procesos, no solo de manera interna si no también de sus proveedores.

Los concesionarios de automóviles son jugadores clave en la industria del automóvil, sus políticas de inventario son cruciales para la gestión de la cadena de suministro de automóviles, datos de los concesionarios de General Motors, propuso dos tipos de sistemas de modelado de ecuaciones simultáneas (SEM) para examinar los efectos interactivos y simultáneos de la demanda de ventas, la cantidad de pedidos y el nivel de inventario en los concesionarios, los resultados empíricos indicaron que la alta demanda conduce a altos niveles de inventario (efecto de ventas), mientras que los altos niveles de inventario estimulan la demanda (demanda solicitada) diariamente. Para esto se aplicó y desarrollo la gestión de inventarios de productos terminados en la cadena de suministro de automóviles [3].

Una herramienta empleada para evaluar las consecuencias económicas es: la función de pérdida de Taguchi, la cual fue desarrollada por el doctor Genichi Taguchi para mejorar el control de la calidad total, Taguchi define la calidad como “la pérdida que se imparte a la sociedad desde el momento en que se envía el producto al cliente”, perdiendo el costo de la insatisfacción del cliente [4].

El objetivo de la presente investigación es identificar la pérdida monetaria debido a la política de inventarios, establecida actualmente por una empresa automotriz X en su planta de transmisiones. Se utiliza un enfoque de la función de pérdida de Taguchi. Se analizan las demandas de cinco transmisiones durante el mes de agosto, determinando su punto de reorden, el cual es utilizado como el valor nominal para determinar la pérdida económica de acuerdo con sus cantidades en su inventario, con el objetivo de analizar si su política de inventarios es factible para la empresa.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: en la primera sección, se presenta la introducción del caso de estudio; la revisión de literatura es presentada en la segunda sección, en la tercera sección es presentado el desarrollo de la metodología y el enfoque propuesto; los resultados son presentados en la última sección.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

A continuación, se muestra una búsqueda de la literatura, para el sector automotriz donde se desarrollan modelos combinados con la función de pérdida de Taguchi, para evaluar la pérdida económica de diferentes características y mejorar la calidad de los productos y la toma de decisiones, además de reseñas del uso del punto de reorden, modelos de inventarios y gráficos de control.

La referencia [5] presenta una investigación de productos defectuosos y el costo de calidad de Taguchi deficiente del modelo de la cantidad económica de pedido (EOQ), en [6] se implementó

un modelo de diseño integrado basado en el modelo tradicional de Calidad de Producción Económica (EPQ) y el diseño económico del cuadro de control, en [7] se propuso un nuevo análisis de capacidad de proceso con respecto a la función de pérdida de Taguchi, evalúan las pérdidas del proceso ya que esta función no distingue la pérdida perjudicial real, el objetivo de este estudio es construir un método mejorado de función de pérdida de Taguchi mediante una nueva función.

En [8] señala la función de pérdida cuadrática de Taguchi que se incorpora en el diseño económico del gráfico de control con el objetivo de redefinir los costos de control y fuera de control utilizando la función de pérdida de Taguchi en el modelo general para el diseño económico de gráficos de control, la referencia [9] implementó un nuevo método de medición para los costos de calidad ocultos, que están integrados con un proveedor son los que podrían identificarse, pero difícil de ser cuantificado para esto se determinó el valor objetivo para un solo producto con el modelo experimentos.

Todos los modelos citados realizan una integración de herramientas con la función de pérdida de Taguchi, para monitorear los inventarios en las empresas automotrices, en todos ellos se permitió evaluar las consecuencias de malas tomas de decisiones, con la diferencia de que en el presente trabajo se emplearon otras herramientas como lo fueron el punto de reorden y los gráficos de control.

La integración de la metodología de modelos de inventarios para el correcto manejo de productos en una empresa automotriz también ha sido objeto de estudio, la referencia [10] analizó la calidad del inventario en una empresa automotriz, el maximizar la productividad total por año donde se obtuvieron resultados positivos de acuerdo al modelo económico de la cantidad económica de pedido (EOQ) que propuso extender dicho modelo clásico que se tiene en muchas empresas, para determinar el costo de la mala calidad en los productos con la metodología de Taguchi, [11] presentó un método integrado con la función de pérdida de calidad y la casa de la calidad, para resolver los problemas de

la toma de decisiones al seleccionar sus proveedores alineados a sus estrategias, [12] presentó un investigación de evaluación estadística en función de la variabilidad de la materia prima para la cadena de suministros, integrando el método del control estadístico y la función de pérdida de Taguchi para determinar la variabilidad de los costos de la materia prima y determinar la variación de los factores clave de la cadena de suministro, [13] presentaron una propuesta para evaluar el rendimiento de la agilidad en la cadena de suministro, mediante la metodología de Taguchi, con la cuál pudieron encontrar las áreas de oportunidad de las empresas, en [14] integraron tres herramientas, incluida la simulación de sistemas, el método Taguchi y el enfoque de análisis de envoltura de datos (DEA) para utilizar de manera eficiente las ventajas de ellos simultáneamente en la implementación de una cadena de suministros.

Las referencias anteriores evalúan la importancia de definir el modelo de la función de pérdida de Taguchi en las empresas automotrices para la mejora de sus procesos e inventarios. En ninguna de las investigaciones citadas se evalúa la factibilidad de las políticas de inventarios, por esa razón el objetivo de la presente investigación es analizar la política de inventario por medio de un nuevo enfoque para determinar económicamente la factibilidad de la ejecución de una política de inventarios.

III. METODOLOGÍA

La Figura 1, muestra la metodología para llevar a cabo el análisis de la pérdida económica del monitoreo de la política de inventario de la empresa, mediante el método de la función de pérdida de Taguchi, con el fin de determinar la factibilidad de dicho inventario, el trabajo está compuesto por un marco teórico y una revisión de la literatura de las metodologías y herramientas que se utilizan.

El enfoque propuesto consiste en la integración de la función de pérdida de Taguchi y el parámetro

del punto de reorden, para la mejora de administración de los inventarios evaluando la pérdida económica de la empresa. Se tomaron cinco muestras presentadas en la planeación de producción del mes de agosto, con una clasificación de variante tipo B, los datos de los inventarios fueron realizadas por ingenieros encargados de la planta de transmisiones con sus propias políticas de la empresa, donde se cuenta con un stock de seguridad, para cada variante y una demanda diaria durante el mes de agosto.

De acuerdo con el modelo que se implementó en esta investigación, se tiene un caso de una característica del tipo nominal es mejor. En enfoque propuesto fue desarrolla en una hoja de Excel. Se utilizaron las demandas de cinco transmisiones específicas. Se exportan los datos y se calcula el punto de reorden.

Finalmente, se determinan las pérdidas económicas y se analiza el comportamiento a través de una gráfica de control y se integra una gráfica de la función de pérdida individual.

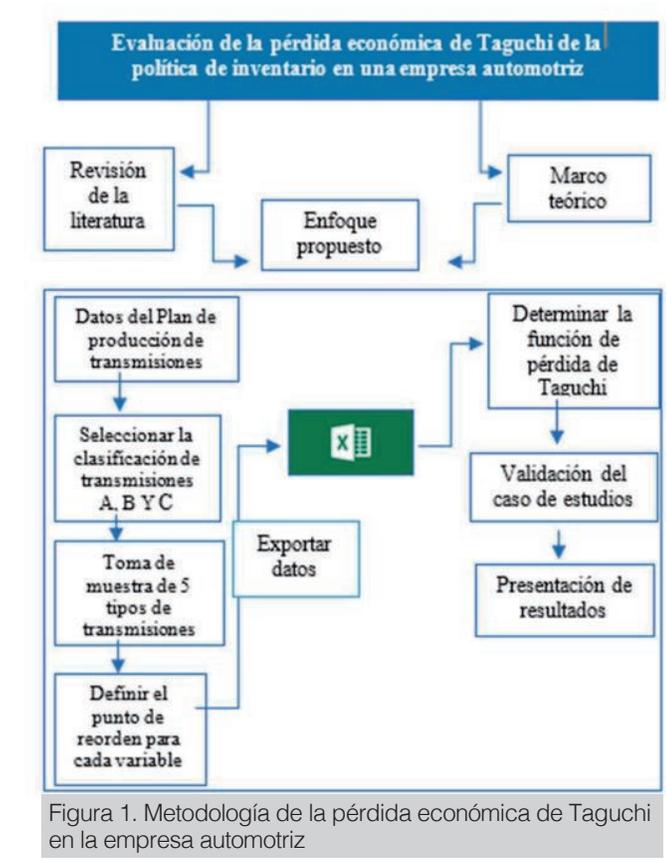


Figura 1. Metodología de la pérdida económica de Taguchi en la empresa automotriz

Tabla 1. Monitoreo de inventario del mes de agosto

Dia del mes	Clasificación de transmisiones variante A,B,C				
	Inventario de cada variante				
	4AEA	5BTA	5BSA	4CVA	4CPA
	Stock de seguridad	Stock de seguridad	Stock de seguridad	Stock de seguridad	Stock de seguridad
1	6	1	2	12	1
2	6	1	2	12	1
3	6	1	2	12	1
4	6	1	2	12	1
5	6	1	2	12	1
6	6	2	2	12	1
7	6	67	2	12	1
8	6	75	2	87	2
9	6	75	44	87	4
10	6	77	45	4	4
11	6	2	45	4	4
12	27	2	3	4	4
13	29	2	3	4	4
14	29	2	3	4	4
15	29	2	3	163	4
16	29	2	3	4	4
17	29	2	3	4	8
18	27	2	2	6	8
19	24	2	2	6	8
20	100	2	2	8	8
21	100	3	2	8	8
22	100	3	2	276	8
23	100	3	2	4	8
24	100	4	2	4	8
25	1	4	2	2	8
26	63	4	2	2	8
27	118	4	2	2	8
28	164	5	2	361	8
29	195	5	2	7	8
30	220	5	2	7	8
	51	12	7	38	5

Para determinar la función de pérdida de Taguchi de acuerdo con las características de calidad deseada se aplicó la siguiente formula del tipo nominal es mejor:

Donde:

$$L = \frac{1}{\Delta} \sigma^2$$

Donde:

A=Pérdida de la organización por producto con defecto

σ^2 = Varianza

Δ =Tolerancia

$$\sigma^2 = (x - m)^2$$

A continuación, se determinan los puntos de reorden para cada tipo de productos, obteniendo el valor nominal del sistema de inventarios actual, como se muestra en la tabla II. y con la siguiente formula:

$$PR = \mu_t \mu_d + \beta$$

Donde:

PR = punto de reorden, unidades

Mt= tiempo de entrega promedio, días

Md= demanda promedio, unidades/día

B1= stock de seguridad, unidades

Se determinó el punto de reorden para cada una de las transmisiones, los cuales serán utilizados como los valores nominales. Ver tabla 2. La ecuación 4 es utilizada para calcular la desviación cuadrática media.

Desviación cuadrática

$$\sigma^2 = (x - m)^2$$

Donde:

x= Variable

m= Valor nominal

En la tabla 3, se muestra el cálculo para determinar la función de pérdida de las 5 transmisiones; el costo de pérdida por cada espacio ineficiente en el inventario es A= 2967 pesos ya que de acuerdo con la política de la empresa es el costo por cada espacio en el almacén de la empresa.

Tabla 2. Monitoreo de inventario del mes de agosto

Punto de reorden									
4CPA		4CVA		5BTA		5BSA		4AEA	
PR	5	PR	48	PR	13	PR	9	PR	57
Mt	1	Mt	1	Mt	1	Mt	1	Mt	1
Md	5	Md	36	Md	12	Md	7	Md	51
B1	1	B1	12	B1	1	B1	2	B1	6

Tabla 2. Monitoreo de inventario del mes de agosto

Dia del mes	5BSA				5BTA				4AEA				4CVA				4CPA			
	X	m	σ ²	L	A	Δ	σ ²	L	A	Δ	σ ²	L	A	Δ	σ ²	L	A	Δ	σ ²	L
1	2	9	49	1424	1	13	144	1787	6	57	3136	2432	12	48	2116	2363	1	5	16	475.52
2	2	9	49	1424	1	13	144	1787	6	57	2601	2017	12	48	2116	2363	1	5	16	475.52
3	2	9	49	1424	1	13	144	1787	6	57	2601	2017	12	48	1936	2363	1	5	16	475.52
4	2	9	49	1424	1	13	144	1787	6	57	2601	2017	12	48	1936	2162	1	5	16	475.52
5	2	9	49	1424	1	13	144	1787	6	57	2601	2017	12	48	1936	2162	1	5	16	475.52
6	2	9	49	1424	2	13	121	1501	6	57	2601	2017	12	48	1936	2162	1	5	16	475.52
7	2	9	49	1424	67	13	2916	1501	6	57	2601	2017	12	48	1936	2162	1	5	16	475.52
8	2	9	49	1424	75	13	3844	1501	6	57	2601	2017	87	48	1936	2162	2	5	9	267.48
9	44	9	1225	1424	75	13	3844	1501	6	57	2601	2017	87	48	1936	2162	4	5	1	29.72
10	45	9	1296	1424	77	13	4096	1501	6	57	2601	2017	4	48	1936	2162	4	5	1	29.72
11	45	9	1296	1424	2	13	121	1501	6	57	2601	2017	4	48	1936	2162	4	5	1	29.72
12	3	9	36	1424	2	13	121	1501	27	57	2601	2017	4	48	1936	2162	4	5	1	29.72
13	3	9	36	1424	2	13	121	1501	29	57	1089	844.6	4	48	1764	1970	4	5	1	29.72
14	3	9	36	1424	2	13	121	1501	29	57	900	698	4	48	1764	1970	4	5	1	29.72
15	3	9	36	1424	2	13	121	1501	29	57	900	698	163	48	1681	1877	4	5	1	29.72
16	3	9	36	1424	2	13	121	1501	29	57	784	608	4	48	1681	1877	4	5	1	29.72
17	3	9	36	1424	2	13	121	1241	29	57	784	608	4	48	1600	1787	8	5	9	267.48
18	2	9	49	1424	2	13	121	1241	27	57	784	608	6	48	1600	1787	8	5	9	267.48
19	2	9	49	1424	2	13	121	1241	24	57	784	608	6	48	1296	1447	8	5	9	267.48
20	2	9	49	1424	2	13	121	1005	100	57	784	608	8	48	1296	1447	8	5	9	267.48
21	2	9	49	1424	3	13	100	1005	100	57	36	27.92	8	48	1296	1447	8	5	9	267.48
22	2	9	49	1154	3	13	100	1005	100	57	189	1434	276	48	1296	1447	8	5	9	267.48
23	2	9	49	1154	3	13	100	1005	100	57	1849	1434	4	48	1296	1447	8	5	9	267.48
24	2	9	49	1154	4	13	81	794.2	100	57	1849	1434	4	48	1296	1447	8	5	9	267.48
25	2	9	49	1154	4	13	81	794.2	1	57	1849	1434	2	48	1296	1447	8	5	9	267.48
26	2	9	49	1154	4	13	81	794.2	63	57	1849	1434	2	48	1521	1699	8	5	9	267.48
27	2	9	49	1154	4	13	81	36184	118	57	3721	2886	2	48	1521	1699	8	5	9	267.48
28	2	9	49	14587	5	13	64	47700	164	57	11449	8879	361	48	13225	14770	8	5	9	267.48
29	2	9	49	15513	5	13	64	47700	195	57	19044	14770	7	48	51984	58056	8	5	9	267.48
30	2	9	49	15513	5	13	64	50827	220	57	26569	20606	7	48	97969	58056	8	5	9	267.48
				2748				7266				2808				7786				252.62

IV. RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos con el monitoreo de los niveles de inventarios de la empresa automotriz, se calculó la función de pérdida del tipo nominal es mejor para analizar su comportamiento y se realizó el gráfico de la distribución de probabilidad normal. Ver Figura 2.

En la Figura 2, se observa el comportamiento de la variante 4AEA para la función de pérdida y para la distribución de probabilidad normal.

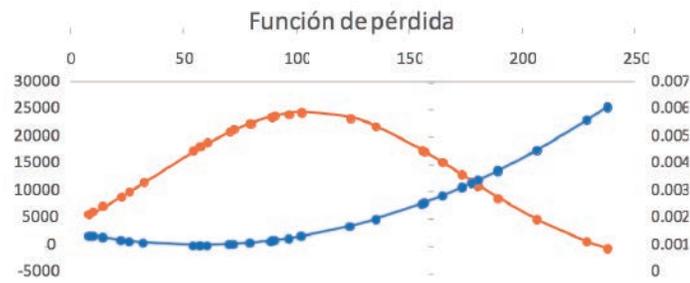


Figura 2. Función de pérdida 4AEA

Se muestra en la Figura 3, el comportamiento de la variante 4CVA de la distribución normal en la línea roja y mostrando el comportamiento de la característica del tipo nominal es mejor en la línea azul.



Figura 3. Función de pérdida 4CVA

En la Figura 4, se aprecia el comportamiento de la variante 4CPA de su distribución normal en la línea roja y de la característica del tipo nominal es mejor en la línea azul.

Se muestra en la Figura 5, el comportamiento de la variante 5BSA de la distribución normal en la

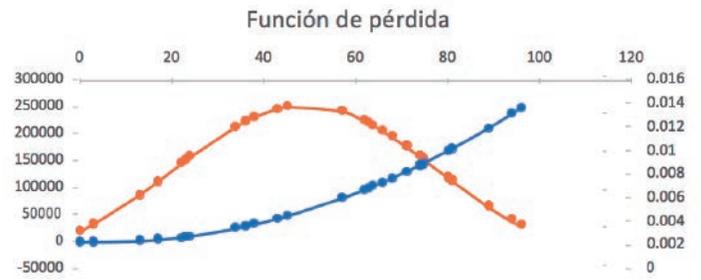


Figura 4. Función de pérdida 4CPA

línea roja y mostrando el comportamiento de la característica del tipo nominal es mejor en la línea azul.

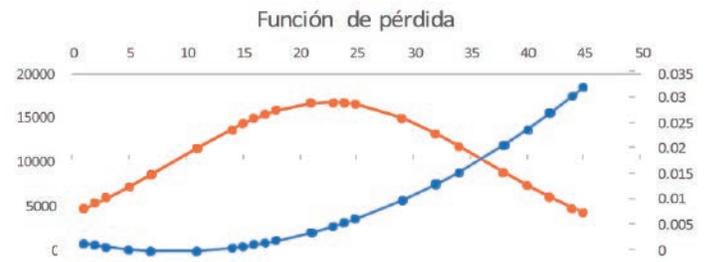


Figura 5. Función de pérdida 5BSA

En la Figura 6 se aprecia el comportamiento de la variante 5BTA de su distribución normal en la línea roja y de la característica del tipo nominal es mejor en la línea azul.

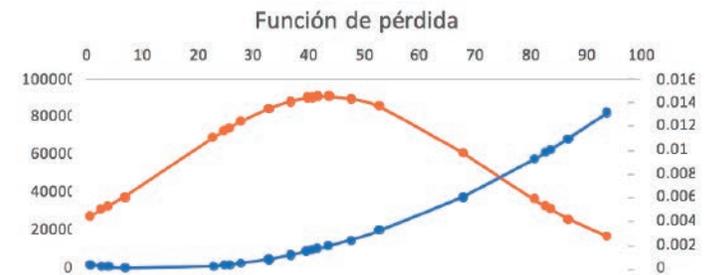


Figura 6. Función de pérdida 5BTA

A continuación, se muestran los gráficos resultados del control estadístico combinado con la función de pérdida de Taguchi.

Se muestra en la Figura 7, el comportamiento de la variante 4CPA del control estadístico integrado con la función de pérdida, donde se aprecia 12 medidas casi exactas al valor nominal, mientras que todas las

demás medidas tienen una función de pérdida monetaria alta.

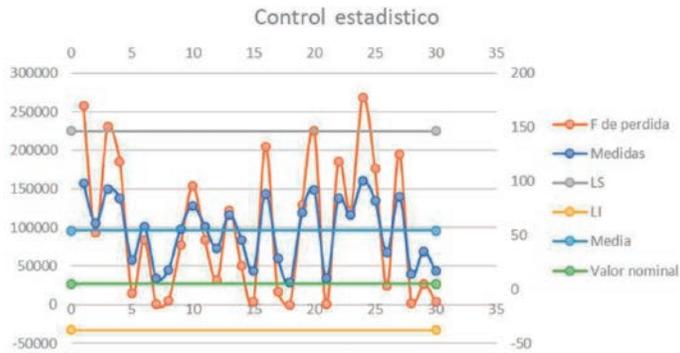


Figura 7. Control estadístico 4CPA

Se muestra en la Figura 8, el comportamiento de la variante 4CVA del control estadístico integrado con la función de pérdida, donde se aprecia 3 medidas exactas al valor nominal, mientras que todas las demás medidas tienen una función de pérdida monetaria alta.

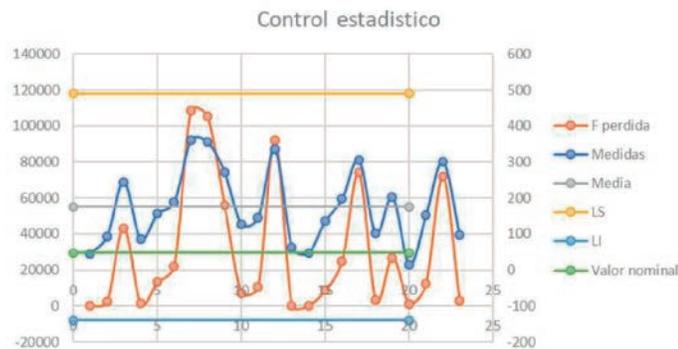


Figura 8. Control estadístico 4CVA

Se muestra en la Figura 9, el comportamiento de la variante 5BTA del control estadístico integrado con la función de pérdida, donde se aprecia solamente una medida exacta al valor nominal, mientras que todas las demás medidas tienen una función de pérdida monetaria alta.



Figura 9. Control estadístico 5BTA

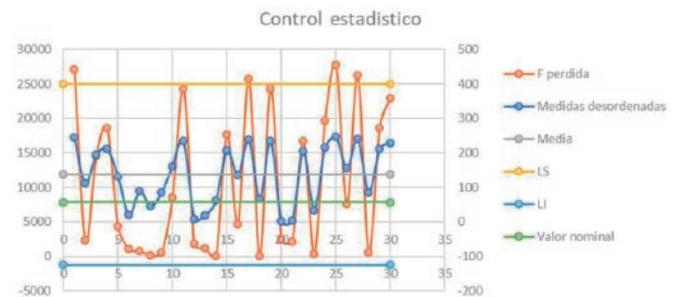


Figura 10. Control estadístico 5BSA

Se muestra en la Figura 11, el comportamiento de la variante AEA del control estadístico integrado con la función de pérdida, en la cual se aprecia que al valor nominal solamente se acercan 3 puntos cercanos a la función de pérdida donde existe baja pérdida mientras que se tienen 6 medidas demasiado desfasadas ocasionando grandes pérdidas a la empresa.

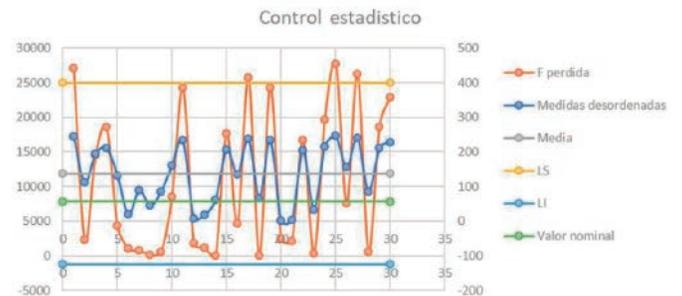


Figura 11. Control estadístico AEA

Se muestra en la Figura 10, el comportamiento de la variante 5BSA del control estadístico integrado con la función de pérdida, en la cual se aprecia que al valor nominal solamente se acercan 4 medidas, mientras que todas las demás medidas se alejan bastante del valor nominal por el cual existe una pérdida monetaria elevada.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación se identificó la función de pérdida de Taguchi monetaria de los inventarios establecidos de acuerdo con la política de la empresa automotriz, la pérdida monetaria que se generara por no tener un almacén adecuado. Ver figura 12.

Función de pérdida de Taguchi monetaria				
5BSA	5BTA	4AEA	4CVA	4CPA
\$82,449.21	\$217,986.81	\$84,240.79	\$182,227.03	\$7,578.60

Figura 10. Control estadístico 5BSA

V. CONCLUSIONES

Las políticas de inventario en una empresa automotriz es una de las partes más críticas en la toma de decisiones, eso fue una de las motivaciones para realizar la presente investigación, en la cual se desarrolló un modelo para identificar la pérdida monetaria debido a dichas políticas. Fueron 5 muestras de monitoreo, de los niveles de la política de inventario de una empresa automotriz, las empleadas para la realización del estudio. Una de las características principales de la investigación es la integración de la metodología de la función de pérdida de Taguchi, el punto de reorden y gráficos de control. Se determinó el nivel de inventario como la característica de calidad en estudio. El punto de reorden para cada producto analizado es tomado como el valor nominal, base para determinar la pérdida económica por tener un número específico de inventario. Finalmente se presenta un gráfico de control para analizar la variabilidad del nivel de inventario y en el mismo gráfico se integra el cálculo de la pérdida económica para cada nivel de inventario, permitiendo hacer un análisis más robusto del comportamiento de la demanda y del uso del espacio físico del inventario. Finalmente, el enfoque propuesto ayuda a reflexionar y tomar decisiones sobre las pérdidas económicas por tener exceso de inventario.

Los resultados que se obtuvieron permitieron evaluar que en algunos casos la política actual genera una pérdida económica considerable. Se propone realizar un ajuste en las políticas de inventario para el almacén de la empresa automotriz tomando en cuenta, el análisis del enfoque utilizado. El enfoque propuesto puede ser replicado para analizar la factibilidad de las políticas de inventarios para empresas de cualquier sector productivo. Para trabajos futuros se desarrollará una red neuronal difusa para estimar la predicción de los niveles de inventarios.

REFERENCIAS

- [1] M. Industria Automotriz SECRETARIA DE ECONOMÍA, "Industria Automotriz SECRETARIA DE ECONOMIA," 2012.
- [2] ANDA, AMPAC, and INEGI, Dialogo con la Industria automotriz, 2018-2024. 2018.
- [3] C. H. Chuang and Y. Zhao, "Demand stimulation in finished-goods inventory management: Empirical evidence from General Motors dealerships," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 208, no. August 2017, pp. 208–220, 2019.
- [4] A. Azadeh, S. Elahi, M. H. Farahani, and B. Nasirian, "A genetic algorithm-Taguchi based approach to inventory routing problem of a single perishable product with transshipment," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 104, pp. 124–133, 2017.
- [5] C. H. Ho and H. C. Chang, "A note on an economic order quantity model and Taguchi's cost of poor quality," *Appl. Math. Model.*, vol. 35, no. 2, pp. 981–983, 2011.
- [6] Y. Jin, T. Cang, E.-S. Pan, and Y. Wang, "Economic production quantity model based on taguchi's quality loss function and control charts design," *Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integr. Manuf. Syst. CIMS*, vol. 17, no. 10, p. 7386284, 2011.
- [7] M. Abdolshah, M. Y. B. Ismail, R. M. Yusuff, and T. S. Hong, "A new technique to measure process capability with Taguchi loss functions," *Proc. - 2009 Int. Conf. Inf. Manag. Eng. ICIME 2009*, pp. 186–190, 2009.
- [8] E. Yacuzzi, F. Martín, H. M. Quiñoes, and M. J. Popovsky, "El diseño experimental y los métodos de Taguchi: conceptos y aplicaciones en la industria farmacéutica," 2004.
- [9] K. Jenoui and A. Abouabdellah, "Estimating supplier's hidden quality costs with Taguchi quality loss function and Topsis method," 2017 *Int. Colloq. Logist. Supply Chain Manag. Compet. Innov. Automob. Aeronaut. Ind. LOGISTQUA 2017*, pp. 100–105, 2017.
- [10] S. Sinan Erzurumlu and Y. O. Erzurumlu, "Sustainable mining development with community using design thinking and multi- criteria decision analysis," *Resour. Policy*, vol. 46, pp. 6–14, 2015.
- [11] Z. D. Mohamadi, H. Z. Sarfaraz, and P. Olegas, "L . A . R . G . supplier selection based on integrating house of quality , Taguchi loss function and," *Econ. Res. Istra* 34ivanja, vol. 32, no. 1, pp. 1944–1964, 2019.

[12] A. Estimating, “com Accurately Estimating and Minimizing Costs for the Cellulosic Biomass Supply Chain with Statistical Process Control and the Taguchi Loss Function,” vol. 14, pp. 2961–2976, 2019.

[13] F. Authors, “Benchmarking: An International Journal,” 2017.

[14] R. Kumar, S. S. Padhi, and A. Sarkar, “Supplier selection of an Indian heavy locomotive manufacturer: An integrated approach using Taguchi loss function, TOPSIS, and AHP,” *IIMB Manag. Rev.*, pp. 1–13, 2019.

Análisis del efecto látigo en la cadena de suministro del sector automotriz: A partir de dinámica de sistemas

Víctor Hugo de la Cruz Madrigal
Departamento de Ingeniería en Logística y Transporte
Universidad Politécnica del Bicentenario, UPB
Silao de la Victoria, Guanajuato, México
vdelacruz@upbcentenario.edu.mx

Edgar Augusto Ruelas Santoyo
Departamento de Ingeniería Industrial Instituto Tecnológico
Superior de Irapuato, ITESI
Irapuato, Guanajuato, México edruelas@itesi.edu.mx

Marco Aurelio Silva Navarro
Departamento de Ingeniería en Logística y Transporte
Universidad Politécnica del Bicentenario, UPB
Silao de la Victoria, Guanajuato, México
nsilvan@upbcentenario.edu.mx

Resumen— En el presente artículo se analizará el efecto látigo cadena de suministro utilizando la simulación con dinámica de sistemas basada en los modelos de Frank Chen de un proceso autoregresivo y Fuxin Yang demuestra que combinar dinámica de sistemas con el modelo de Frank Chen puede analizar el efecto látigo en la cadena de suministro de manera confiable La aportación de la investigación es la aplicación de dinámica de sistemas al sector automotriz para analizar el efecto látigo en su cadena de suministro cuando las variables cambien en función del tiempo Esto ayuda a la industria automotriz a predecir el periodo donde la demanda del cliente y los pedidos colocadas tienden a incrementar su variación entre ambas por lo cual se produce el efecto látigo con la dinámica de sistemas se busca controlarlo, al reducir la variación entre ambas variables. Al cuantificar y mitigar el efecto látigo en la cadena de suministro, utilizando el software VENSIM para simular el impacto que tiene; el coeficiente de correlación de la demanda, lead time, demanda entre periodos.

Los resultados de la simulación muestran un coeficiente de correlación de la demanda de 0.8 por tanto, reduce la variación del efecto látigo de la cadena de suministro de 58.8 a 1.265 al contrastarlo con los valores de 2.5 a 0.90, al considerar un lead time de una semana disminuye el efecto látigo a 2.28 y se compara con el valor de 2.5 para determinar el impacto del efecto látigo en la cadena de suministro del sector automotriz.

Palabras Clave— Demanda del cliente; efecto látigo; cadena de suministro; dinámica de sistemas; lead time.

I. INTRODUCCIÓN

El efecto látigo (BWE) es uno de los principales problemas en la cadena de suministro originado por el flujo de información alineado a las políticas organizacionales por la excesiva variabilidad en la demanda, por lo cual, había cambios frecuentes en el plan de producción. En consecuencia, afirmó [1], la necesidad de tener tiempos extras, entrega de pedidos exprés y realizar compras adicionales de material, que incrementan los costos de manufactura teniéndose poca satisfacción del cliente y una reducción del nivel de servicio. así mismo consideran [2], que la variabilidad en la demanda del cliente y la incertidumbre en los tiempos de entrega favorecen a que se produzca el efecto látigo en la cadena de suministro. En tanto determinó [3], que el efecto látigo (BWE) es causado por la variabilidad de las órdenes recibidas por el fabricante eran mayores que la demanda real de los clientes, por consiguiente, las fluctuaciones de la demanda afectan el desempeño de la cadena de suministro al no compartir la información entre cada uno de sus miembros y utilizó la dinámica de sistemas para construir un modelo y ejecutar las simulaciones que le ayudaban a tomar decisiones. En este caso consideran [4], las cinco principales causas del efecto látigo en la cadena de suministro; pronósticos de la demanda, lead time diferente de cero, tamaños de lote, escasez de materiales y fluctuaciones en los precios.

Los pronósticos de la demanda son una de las principales causas del efecto látigo (BWE) de acuerdo al trabajo presentado por [5], que argumentan la necesidad de compartir los pronósticos demanda y la información de los inventarios es eficaz para reducir las fluctuaciones de las ordenes con respecto al stock de seguridad a fin de cuantificarlo a través del modelado con dinámica de sistemas, Por lo tanto, proponen [6], utilizar promedios móviles para pronosticar la demanda del lead time que es la principal causa del efecto látigo y el coeficiente de correlación de la demanda, al mismo tiempo agregan [7], el impacto del lead time en la cadena

de suministro con varios eslabones con una política de inventarios de revisión periódica. Por lo tanto, el stock de seguridad es calculado en función de la varianza del lead time, no obstante al incrementar el lead time aumentará la variabilidad de los pedidos del cliente al fabricante, justamente proponen [8], que la cadena de suministro sea de dos eslabones uno la empresa que recibe la demanda del cliente y envía las ordenes al proveedor para analizar efecto látigo que es observado frecuentemente en industrias de servicios; manufactureras donde incrementa la demanda de manera abrupta, es el caso de la industria automotriz presenta las causas del efecto látigo en la cadena de suministro; pronósticos de la demanda, ordenes de producción, fluctuación de precios, política de inventarios. impactan en la programación de producción, control de inventarios. Por lo tanto [9], asumen que cuantificar el BWE en la cadena de suministro con una demanda constante, un lead time aleatorio para predecir la demanda usando promedios móviles con n periodos.

Los resultados del modelo de simulación indican que existe un retraso en la demanda pronosticada en los tiempos de entrega que producen el efecto látigo de una cadena de suministro manufacturera, de acuerdo al trabajo presentado por [10], el juego de la cerveza como un ejemplo para medir el efecto látigo en la cadena de suministro que permite controlar las inestabilidades de la demanda a partir de dinámica de sistemas; con los parámetro de; retrasos, el procesamiento de órdenes y envíos al cliente para obtener la variabilidad de ordenes colocadas por el proveedor con respecto a la demanda del cliente, además agregan que las fluctuaciones de la demanda del cliente se miden utilizando el coeficiente de correlación, varianza o la desviación estándar utilizando promedios móviles para pronosticarla.

El trabajo presentado por [11], [12] proponen un modelo de optimización para mitigar el efecto látigo en dos eslabones de la cadena de suministro al minimizar la diferencia entre las

órdenes actuales y los pronósticos de la demanda de varios productos utilizando suavización exponencial. El modelo presentado por [13], analiza el comportamiento del efecto látigo en la cadena de suministro utilizando dinámica de sistemas de varias empresas.

Al realizar un modelo con dinámica de sistema permite presentar un análisis de escenarios diferentes que determinan el comportamiento del efecto látigo en la cadena de suministro del sector automotriz Tier 1. Dicha cadena de suministro es afectada por este fenómeno al incurrir en retrasos en los tiempos de entrega de una semana a las armadoras de automóviles, como lo argumentan [14], que General Motors penaliza a sus proveedores con una multa de 1500 dólares por minuto por paro de línea.

Asimismo es posible mitigar y cuantificar el efecto látigo a partir de las variables, demanda del cliente y tamaño del pedido bajo el enfoque de dinámica de sistemas.

La aportación de la investigación es la aplicación de dinámica de sistemas al sector automotriz para analizar y controlar el efecto látigo en su cadena de suministro cuando las variables cambien en función del tiempo. Por lo cual, ayuda a predecir en qué periodo la demanda del cliente y los pedidos colocados tienden a incrementar su variación. Con la dinámica de sistemas se busca controlar el efecto látigo, al reducir la variación entre ambas variables de interés para una mejor toma de decisiones en cuanto al abastecimiento de materiales a cada una de sus operaciones para cumplir con los requerimientos de sus clientes en tiempo y forma.

En el presente trabajo se analizará el efecto látigo de la cadena de suministro Tier 1 mediante el modelado con dinámica de sistemas combinada con el modelo de [15] y [16] para cuantificarlo y mitigarlo, mediante el software VENSIM para simular el impacto que tienen las variables de interés; coeficiente de correlación de la demanda, lead time, demanda entre periodos, presentado alternativas diferentes.

El presente artículo está estructurado en cuatro partes, en la sección 2 se plantea el modelo de una cadena de suministro [16] con dos eslabones a partir de dinámica de sistemas.

En la sección 3 se muestra la metodología empleada para la simulación del modelo con dinámica de sistemas. En la sección 4, se presentan los resultados de la investigación aplicadas en una empresa automotriz Tier 1, considerando el coeficiente de correlación de la demanda, el lead time y el número de periodos a pronosticar en el efecto látigo. En la sección 5 se exponen las conclusiones del impacto que tiene el efecto látigo en la cadena de suministro.

II. MODELO DE UNA CADENA DE SUMINISTRO BÁSICA

Es un modelo de una cadena de suministro básica que integra a la empresa y al cliente en cada periodo t , donde el cliente revisa su nivel de inventario a fin de realizar el pedido q_t a la empresa, después de realizar el pedido observa el comportamiento de la demanda durante ese periodo, denotado por D_t y determinar si existe una demanda insatisfecha es un pedido atrasado, además de considerar el lead time. Por lo tanto, la demanda del cliente se comporta de manera aleatoria, en "(1)" [15].

$$D_t = \mu + \rho D_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Donde μ es una constante no negativa del promedio de la demanda del cliente, ρ es el coeficiente de correlación con $|\rho| < 1$, el error ε_t es independiente e idénticamente distribuida, de una distribución normal con $\mu = 0$, σ^2 . Donde la empresa que sigue una orden simple con un nivel de inventario, que establece la cantidad de pedidos y_t es estimada de la demanda observada.

A. Política de inventarios y técnicas de pronósticos
El cliente sigue una orden hasta el punto de reorden en (2) [16].

$$y_t = D_t^I + Z \sigma_{et}^L \quad (2)$$

Donde D_t^I es el promedio de la demanda del lead time, σ_{et}^L es timar la desviación estándar de L considerando el periodo del error pronosticado. Z es la constante del nivel de servicio para tener una política de inventarios que permita ordenar la cantidad óptima. L es lead time, por lo tanto la empresa automotriz Tier 1 utiliza un promedio móvil simple con p periodos para estimar D_t^I y σ_{et}^L basados en la demanda de un periodo anterior D_{t-1} , la cantidad de órdenes a enviar qt en un periodo t , en (3) [16].

$$q_t = y_t - y_{t-1} + D_{t-1} \quad (3)$$

B. Cuantificar el efecto látigo en la cadena de suministro

La cadena de suministro de dos eslabones, es decir del proveedor cliente requiere cuantificar el efecto látigo en (4) [15].

$$\frac{Var(q)}{Var(D)} \geq 1 + \left(\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2} \right) (1 - \rho^p) \quad (4)$$

Donde $Var(q)$ es la varianza de los pedidos, plazo que la empresa manufactura el producto, $Var(D)$ es la varianza de la demanda del cliente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología fue desarrollada en una empresa automotriz Tier 1 para analizar y cuantificar el efecto látigo (BWE), de acuerdo al trabajo presentado por [16], se evaluarán tres variables 3; cantidad de órdenes enviadas del minorista, cuyo valor puede cambiar el inventario, cantidad entregada del proveedor al cliente, la cantidad entregada del minorista y variables auxiliares; lead time, tiempo entre periodo de la demanda, y tres funciones que son usadas, promedio de retraso que existe entre el proveedor al minorista, tiempo de retraso para simular la demanda del mercado mediante el modelado con dinámica de sistemas.

Por lo tanto el modelo fue construido de acuerdo a [15] y [16], que se enfocaron en reducir el impacto del efecto látigo en una cadena de suministro simple utilizando, promedios móviles para pronosticar la demanda del mercado, además cuantificar el incremento de la variabilidad en cada etapa de la cadena de suministro. por consiguiente proponen [17], un sistema dinámico para explorar el comportamiento de la cadena de suministro automotriz, a través del diagrama caudal para la interacción entre las variables de interés; ordenes entregadas, cantidad de envíos, inventarios de productos terminados, ajuste en los requerimientos de producción, cantidad de piezas terminadas, utilizando el software ESTELLA 9.1.3 para simular un periodo de 52 semanas. así mismo el trabajo presentado por [18].

Proponen la metodología que está integrada por tres módulos; 1) bibliografía para analizar procesos y desarrollar una cadena de suministro automotriz en base al modelado de dinámica de sistemas 2) validación empírica del proceso, 3) simulación y análisis de los resultados utilizando el software ESTELLA 9.1.3.

A continuación se muestra la Figura1 el diagrama de flujo de la metodología donde se llevó a cabo la investigación en un caso de estudio en una empresa automotriz que se dedica a la fabricación de arneses brindó las facilidades para entrevistar a seis responsables de área tales como; al encargado de embarques, coordinador de logística de materiales, compras, planeador de la producción, almacenista de materiales y de producto terminado que proporcionaron los indicadores de desempeños que tienen; Stock de seguridad de dos semanas, retraso del proveedor una semana, lead time de dos semanas, con una demanda mensual de 12000 arneses, además el cliente les envía un pronóstico de tres meses que le permite a la empresa planear los requerimientos de materiales para la fabricación de arneses.

El cliente necesita el envío de arneses cada semana. En tanto el trabajo presentado por [19], proponen un enfoque de dinámica de sistemas

que analiza la interacción entre los eslabones de la cadena de suministro del proceso del petróleo en China mediante un modelo de simulación que es útil para detectar las causas del efecto látigo, a su vez identificar una solución para reducirlo, 1) analizar la relación que existe entre los nodos y obtener el diagrama de flujo del sistema dinámico de la cadena de suministro del proceso del petróleo, 2) establecer las ecuaciones del sistema dinámico utilizando el software DINAMO y asumen que el tiempo de retraso proviene de la estación de gas, 3) identificar el efecto látigo y analizar las razones por la que existe al simular el modelo que muestra los cambios en el stock de seguridad con los tiempos de retraso. En consecuencia, el efecto látigo no puede ser eliminado en su totalidad, no obstante, puede reducirse cuando haya un decremento en los tiempos de retraso entre los miembros de la cadena de suministro. En este contexto argumenta [20], que la dinámica de sistemas es una metodología poderosa para resolver problemas complejos mediante la simulación de la capacidad de producción con el software VENSIM que ayuda a los gerentes a comprender el proceso y visualizar su comportamiento que cambia con el tiempo permitiéndoles tomar decisiones al garantizar un stock de seguridad a fin de responder a los cambios de la demanda que sus clientes les solicita, al incrementar la capacidad de producción ajustando el tiempo de ciclo de la máquina y considerar el tiempo de retraso del material, agregan [21], que al utilizar la dinámica de sistemas facilita la construcción del modelo de simulación al reducir el tiempo de ejecución para comprender el comportamiento de la cadena de suministro que analiza el efecto látigo como sistema complejo y reducirlo.

Por lo tanto, el trabajo presentado por [22], utiliza la dinámica de sistemas que le ayuda a identificar las relaciones de influencia que existen entre las variables del sistema complejo. Estas relaciones son utilizadas para establecer las ecuaciones matemáticas a fin de correr varias simulaciones del modelo y analizar comparación entre la realidad, el comportamiento dinámico del sistema, además

recomienda utilizarla para modelar sistemas que contienen múltiples relaciones no lineales que con un método analítico no es factible resolverlo. Por estas razones se analiza y controla el efecto látigo en la cadena de suministro del sector automotriz a partir de dinámica de sistemas.

El enfoque de dinámica de sistemas es utilizado para analizar interacciones complejas no lineales para obtener el comportamiento del sistema. En tanto el trabajo presentado [10], desarrollan un modelo de simulación con dinámica de sistemas para analizar el comportamiento dinámico en el tiempo del efecto látigo de la cadena de suministro. El modelo requiere de niveles y flujos y retroalimentación del proceso y es implementado utilizando el software VENSIM, adicionalmente proponen [11], utilizar la dinámica de sistemas para analizar el comportamiento de los inventarios en la cadena de suministro que muestran el efecto látigo y optimizar la estructura del sistema. al minimizar los tiempos de retraso entre los eslabones de la cadena de suministro.

Se realiza un análisis de sensibilidad del coeficiente de correlación, el lead time y el número de periodos a pronosticar a fin de identificar el comportamiento del efecto látigo de la cadena de suministro del sector automotriz que cambia a través del tiempo. A continuación, se muestra la Figura 1.

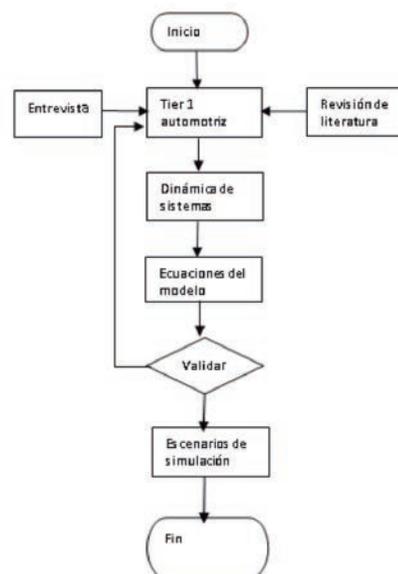


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología propuesta [18]

Para mostrar el funcionamiento del modelo propuesto, se implementó en la empresa automotriz, Tier 1 de General Motors, que le suministra arneses para cuantificar el efecto látigo que existe en la cadena de suministro, a partir de una dinámica de sistemas. El caso de estudio se limitó a una cadena de suministro con dos eslabones debido el cliente requiere de 12000 arneses mensuales. Por lo tanto, en la Figura 2, se muestra el diagrama causal de la cadena de suministro del sector automotriz que permite modelar el sistema.

Se muestra en la Figura 3, el modelado mediante dinámica de sistemas para cuantificar el efecto látigo en la cadena de suministro Tier 1 que está integrada por dos eslabones.

Dicho modelo consideró como variable de nivel los inventarios y variables de entrada de stock de componentes para el armado de los arneses, la variable de salida se consideró el stock de arneses manufacturados para ser entregados a la planta General Motors, así como variables auxiliares se consideraron la demanda del cliente, ordenar hasta que llegue al nivel de inventario mínimo y la cantidad de ordenes colocadas al proveedor. este modelo se desarrolló en VENSIM.

Las hipótesis dinámicas se muestran a continuación:

- H0= Al incrementar el coeficiente de correlación disminuye la variabilidad en la cadena de suministro.
- H1= al incrementar el Lead time se propaga la variabilidad en la cadena de suministro.

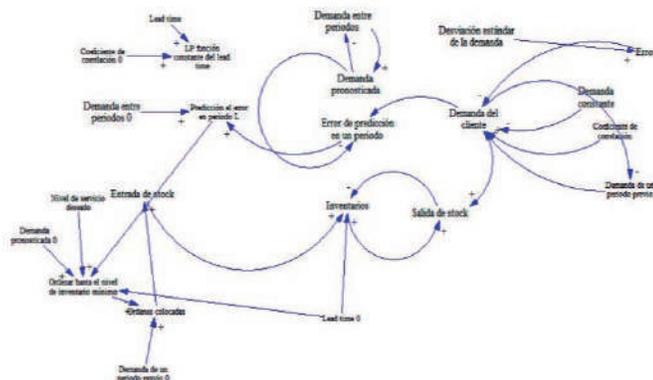


Figura 2. Diagrama causal de la cadena de suministro Tier 1

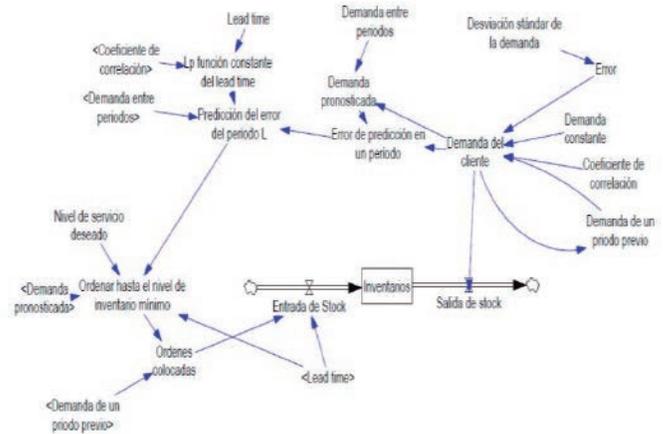


Figura 3. Modelo para analizar y cuantificar el efecto látigo en la cadena de suministro Tier 1 [16].

Tabla 1. Arquitectura para modelar la cadena de suministro.

Variable	Relación	Valor inicial
Coeficiente de correlación		0
Demanda constante		12000
Demanda de un periodo previo	DELAY1(Demanda del cliente,1)	1
Demanda del cliente	ACTIVE INITIAL(Demanda constante+ Coeficiente de correlación *Demanda de un periodo previo + Error	5000
Demanda entre periodos		2
Demanda pronosticada	SMOOTH(Demanda del cliente, Demanda entre periodos)	
Desviación estándar de la demanda		60
Entrada de Stock	DELAY3(Ordenes colocadas, lead time)	
Error	RANDOM NORMAL(-600, 600, 0 , Desviación estándar de la demanda , 60)	
Error de predicción en un periodo	Demanda del cliente-Demanda pronosticada	
FINAL TIME		60
INITIAL TIME		0
Inventarios	INTEG (Entrada de Stock-Salida de stock)	5000
Lead time		2
Lp función constante del lead time	lead time*(1-Coeficiente de correlación)	
Nivel de servicio deseado		2
Ordenar hasta el nivel de inventario mínimo	lead time*Demanda pronosticada-Nivel de servicio deseado*Predicción del error del periodo L	
Ordenes colocadas	IF THEN ELSE(Ordenar hasta el nivel de inventario mínimo-DELAY1(Ordenar hasta el nivel de inventario mínimo,0),+Demanda de un periodo previo>0, Ordenar hasta el nivel de inventario mínimo - DELAY1(Ordenar hasta el nivel de inventario mínimo, 1))+Demanda de un periodo previo)	0
Predicción del error del periodo L	Lp función constante del lead time* SQRT (SMOOTH(Error de predicción en un periodo ^2, Demanda entre periodos))*SIN(Error de predicción en un periodo)	

IV. RESULTADOS

El modelo con dinámica de sistemas se corre en VENSIM software con distintos parámetros para simulación. Los parámetros iniciales son; $\rho = 0$, $L = 2$ $P = 2$ lo que indica que existen fluctuaciones entre las ordenes colocadas al cliente con respecto a la

demanda que el cliente solicita. Se observa en las primeras 10 semanas las ordenes colocadas que son representadas por la línea roja muestran un incremento de 8000 arneses de los que el cliente les solicita a la empresa representada por la línea azul, en consecuencia, la empresa tiene una sobreproducción de arneses.

No obstante, en los meses subsecuentes la demanda del cliente se incrementa de manera considerada por lo cual las ordenes colocadas son insuficientes para cubrir con la demanda del cliente por lo que la empresa tendrá la necesidad de incrementar su capacidad de producción y pagar tiempo extra al personal operativo para cubrir con los requerimientos que les solicita el cliente y presionar a los proveedores en sus tiempos de entrega del material. Por lo tanto, los resultados de la simulación muestran directamente la existencia del efecto látigo en la cadena de suministro como se observa en la Figura 4.

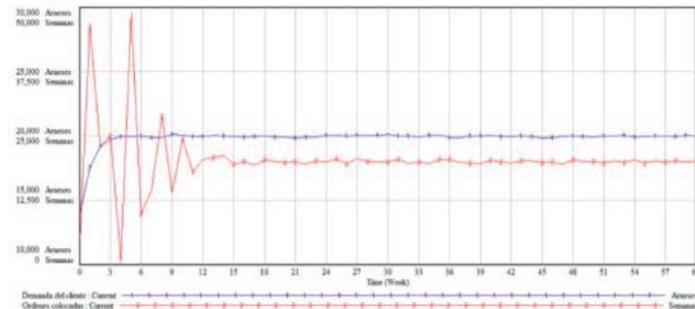


Figura 4. Simulación de parámetros

Se muestra el comportamiento de la demanda del cliente y las órdenes colocadas en la Figura 5, con un ajuste en el coeficiente de correlación entre ambas variables. Por lo tanto, al incrementar el coeficiente de correlación se observa un decremento del efecto látigo, debido a la reducción en la variación de las órdenes colocadas por la empresa al cliente con respecto a la demanda que el cliente les solicita.

Al correr el modelo de de dinámica de sistemas en VENSIM con distintos parámetros que permiten visualizar el comportamiento del sistema mediante la simulación. Posteriormente se recolectan los resultados que arrojan simulaciones de las variables; ordenes colocadas (Q) y de la demanda del cliente

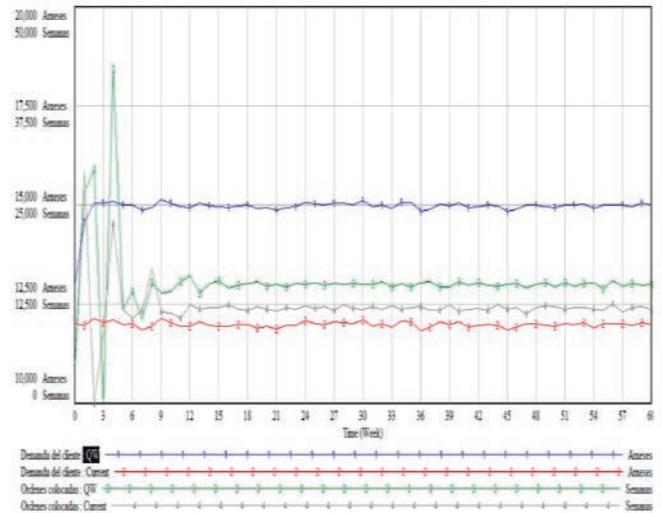


Figura 9. Control estadístico 5BTA

(D) a fin de calcular la varianza de ambas variables en EXCEL. Los valores de $Var(Q)/Var(D)$, se requieren para cuantificar el efecto látigo en la cadena de suministro utilizando la ecuación 4, al contrastarlo con la ecuación cinco.

Verificación del impacto de ρ, L, p en (5) propuesta por [16]:

$$f(\rho, L, p) = 1 + \left(\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2} \right) (1 - \rho^p) \quad (5)$$

$$(L > 0, p > 0)$$

La comparación de los escenarios de simulación ayuda a verificar y validar el modelo planteado en la investigación, además de que permite visualizar el comportamiento de las órdenes de compra de los componentes para el ensamble de arneses que son enviadas al cliente. Ver la Tabla (2) que indica cuando se incrementa el coeficiente de correlación disminuye el efecto látigo en la cadena de suministro Tier 1. Por consiguiente, muestran la relación que existe entre las variables $Var(Q)/Var(D)$. además, se observa que al incrementar el coeficiente de correlación de 0 hasta 0.8 indica que disminuye el efecto látigo debido a que $Var(Q)/Var(D)$ igual a 1.265 mayor que 0.9.

Tabla 2. Impacto cuando BWE L=1, P=2, P cambia.

Coefficiente de correlación	Var (Q)	Var(D)	Var(Q)/Var(D)	F(ρ□P)
0	40045292.35	680047.0409	58.88606221	2.5
0.2	40045292.35	70150.96906	570.8444643	2.4
0.5	14690394.15	1882731.642	7.802702108	1.88
0.8	95694493.75	75632914.84	1.265249316	0.9

La Tabla 3, muestra cuando el lead time se incrementa de 1 a 7 semanas favorece al efecto látigo afectando los tiempos de entrega de la empresa al cliente, por lo tanto se incrementa de manera abrupta la variación de las órdenes a 95516,841 arneses con respecto a la demanda de 4142 arneses que solicita el cliente a la empresa, en consecuencia el cliente no le permite a la empresa retrasos prolongados en la entrega de sus pedidos, debido a que le genera alto stock de seguridad, por lo cual no es factible considerar un lead time de 7 semanas.

Tabla 3. Impacto cuando BWE P=0, P=2, L cambia.

L	Var (Q)	Var(D)	Var(Q)/Var(D)	F(ρ,P)
1.00	11929.40	4142.34	2.88	2.50
3.00	17543882.97	4142.34	4235.26	8.50
5.00	48733072.88	4142.34	11764.62	18.50
7.00	95516841.52	4142.34	23058.65	32.50

Ver la Tabla 4, donde al considerar un promedio móvil simple de tres periodos se reduce la variabilidad que existe entre los ordenes colocadas y la demanda del cliente al dividir $Var(Q)$ entre $Var(D)$ dando un valor de 3424 arneses, indica que se cuenta con el stock de seguridad suficiente para cubrir con la demanda que solicita.

Tabla 4. Impacto cuando BWE P=0, L=2, P cambia.

P	Var (Q)	Var(D)	Var(Q)/Var(D)	F(ρ, L, P)
1.00	27011901.36	4142.34	6520.92	13.00
3.00	14184726.52	4142.34	3424.32	3.22
5.00	22190261.08	4142.34	5356.94	2.12
7.00	36547833.37	4142.34	8822.99	1.73

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se plantea un análisis del efecto látigo en la cadena de suministro, utilizando dinámica de sistemas combinando los modelos de [15],[16], para predecir su comportamiento con el objetivo de mitigarlo. Dichos modelos se llevaron a cabo en una empresa automotriz Tier 1 que se dedica a la fabricación de arneses, el cliente le envía un pronóstico de la demanda de seis meses y le pide a la empresa que tenga un stock de seguridad de dos semanas para enfrentar cualquier contingencia.

Los resultados obtenidos en la investigación arrojaron el entendimiento del impacto que tienen los pronósticos de la demanda el lead time y la información proporcionada, generándose el efecto látigo que afecta a la cadena de suministro. Por lo tanto, se reduce el efecto látigo al incrementar el coeficiente de correlación de la demanda a 0.8, disminuir el lead time de dos semanas a una semana, incrementar la demanda entre periodos, cada eslabón de la cadena de suministro tenga la información disponible de la demanda. Si se incrementa el coeficiente de correlación a uno no existe efecto látigo en la cadena de suministro al tener una demanda constante.

Al incrementar el lead time de 1 a 7 semanas las ordenes colocadas tienden a incrementarse de manera abrupta, por lo cual el cliente no está dispuesto a tener un alto stock de seguridad y a que la empresa le envíe pedidos cada 7 semanas, además se produce el efecto látigo al incrementar el lead time a 7 semanas. Este incremento no es factible porque el cliente quiere que la empresa le embarque cada semana.

Por lo tanto, es factible enviarle pedidos semanalmente debido a que se encuentran en la misma zona el cliente y la empresa, además al minimizar $Var(Q)$ entre $Var(D)$ a 2.87 el cual se contrasta con la ecuación 4 al cambiar los periodos del promedio móvil simple no son significativos en la investigación. Por consiguiente, es recomendable considerar un

promedio móvil de dos o tres periodos, a fin de minimizar el efecto látigo.

El trabajo futuro de la investigación es cuantificar el efecto látigo de la cadena de suministro del sector automotriz utilizando el lead time con una demanda estocástica aplicando promedio móvil simple para el pronóstico con enfoque de dinámica de sistemas.

RECONOCIMIENTOS

“V. H. D. M., agradece...” al director de Ingeniería en Logística y Transporte por las facilidades otorgadas en la publicación del presente artículo.

REFERENCIAS

- [1] Y. Feng, “System dynamics modeling for supply chain information sharing,” *Physics Procedia*, vol. 25, pp. 1463–1469, 2012.
- [2] R. Abbou, C. Moussaoui, and J. J. Loiseau, “Effects of inventory control on bullwhip in logistic systems under demand and lead time uncertainties,” *IFAC*, vol. 28, pp. 266–271, 2015
- [3] J. Forrester, “Industrial dynamic a major breakthrough for decision makers” vol 1. August 1958.
- [4] L. Lee, V. Padmanabhan, and S. Whang, “The bullwhip effect in supply chains,” *Sloan Management Review*, vol. 38, pp. 93–102, Spring 1997.
- [5] Y. Barlas and B. Gunduz, “Demand forecasting and sharing strategies to reduce fluctuations and the bullwhip effect in supply chains,” *Journal on the Operational Research Society*, vol. 62, pp. 458–473, 2011.
- [6] Z. Michna, S. M. Disney, and P. Nielsen, “The impact of stochastic lead times on the bullwhip effect under correlated demand and moving average forecasts,” *Cornel University*, vol. 44, pp. 1–20, 2017.
- [7] N. Do, P. Nielse, Z. Michina. “Quantifying the bullwhip effect of multi- echelon system with stochastic dependent lead time,” *IFIP International Federation for Information Proccesing*, vol. 1, pp. 419–426, 2014.
- [8] P. Nielsen, Z. Michna, and P. Nielsen, “The impact of stochastic lead times on the bullwhip effect an empirical insight,” *Management and Production and Engineering*, vol. 9, pp. 65–70, 2018.
- [9] Z. Michna, P. Nielsen, I. E. Nielsen, and P. Nielsen, “The impact of stochastic lead times on the bullwhip effect a theoretical insight,” *Production and Management.*, vol. 6, pp. 190–200, 2018.
- [10] W. Xiao-yan, W. Hui, “Research on beer game’s bullwhip effect based on system dynamics” *IEEE International Emergency Management and Management Sciences*, vol. 1, pp. 210–213, August 2010.
- [11] X. Li, L. Li, Q. Hu, and Y. Dai, “Systems thinking solving bullwhip effect in supply chain from the perspective of system dynamics,” *IEEE International Conference on Management and Service Science*, 2009.
- [12] A. Tanweer, Y.-Z. Li, G. Duan, and J.-Y. Song, “An optimization model for mitigating bullwhip effect in a two echelon supply chain,” *Procedia Social Behavioral. Sciences*, vol. 138, pp. 289–297, 2014W.
- [13] F. Villegas, O. Carranza, and J. Antún, “Supply chain dynamics, a case study on the structural causes of the bullwhip effect 1,” *Ingeniería Investigación y Tecnología VII*, vol. 1, pp. 29–44, 2006.
- [14] K. Malihi and H. Shee, “Strategic vehicle import supply chain: A paradigm shift in australian automoty industry,” *Asian Academy of Management journals*, vol. 22, pp. 103–130, 2017
- [15] F. Chen, Z. Drezner, J. K. Ryan, and D. Simchi-Levi, “Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information,” *Management. Scien*, vol. 46, pp. 436–443, March 2000.
- [16] F. Yang, B. Zhang, and Z. Su, “Analysis and verification of bullwhip effect based on system

- [17] C. Sánchez, P. Perez, M. Cedillo, and L. Martinez, "Global economic crisis and mexican automotive suppliers: impacts on the labor capital," *Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, vol. 87, no. 790, pp. 711–725, 2011.
- [18] M. Cedillo, C. Sánchez, S. Vadali, J. Villa, and M. Menezes, "Supply chain dynamics and the 'cross-border effect': The U.S.-mexican border's case," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 72, no. 1, pp. 261–273, 2014.
- [19] J. Zhang and Q. Zhang, "The system dynamics analyses of bullwhip effect in China processed oil supply chain," *Applied Mechanic Materials.*, vol. 295–298, pp. 3310–3317, 2013.
- [20] R. Špicar, "System dynamics archetypes in capacity planning," *24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation.*, vol. 69, pp. 1350–1355, 2014.
- [21] A. Tako and S. Robinson, "The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context," *Decisios Support Systems*, vol. 52, no. 4, pp. 802–815, 2012.
- [22] R. Poles, "System dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies," *International Journal of Production Economics*, vol. 144, no. 1, pp. 189– 199, 2013.



4. LOGÍSTICA EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

- A genetic algorithm to solve a three-echelon capacitated location problem for disaster relief in Mexico City
- Ubicación de albergues para eventos hidro-meteorológicos en México: caso de estudio
- Logística humanitaria: Elementos clave y propuesta del uso de herramientas lean para facilitar la gestión de almacenamiento de insumos.
- Evaluation of New Objective Functions to Simulate Supply Chain Performance Under Disruptions with Cellular Automata
- Revisión de los factores de decisión de la gente ante evacuaciones por eventos de desastres y su relación con las acciones de Logística Humanitaria.

A genetic algorithm to solve a three-echelon capacitated location problem for disaster relief in Mexico City

*Indra Castro-Vivar, María Del Rosario Pérez-Salazar, Alberto Alfonso Aguilar-Lasserre, Magno Angel Gonzales Huerta Luis Miguel Reyes-Barquet.
Tecnológico Nacional de México,
Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México*

*Miguel Gastón Cedillo Campos
Mexican Institute of Transportation Transportation Systems
and Logistics National Laboratory
Mexico City, Mexico*

Abstract— The aim of this paper is to contribute to the strand of research regarding the location of disaster relief facilities. To this end, three mathematical models of the three-echelon capacitated facility location problem are presented. The problem is described as follows: given a set of demand points corresponding to affected areas, a set of distribution points is obtained; this set of distribution points is then utilized as the main input to three different models. The objective functions of the models aim to minimize distance, minimize time, and maximize utility. The resulting locations for the distribution points serve as a basis to determine the location of the general warehouse. The solution approach comprises the optimization of the mathematical models by means of a genetic algorithm. Inputs in this research are taken from a case example of the earthquake in Mexico City on September 19, 2017. A Microsoft Excel® Add-in of the Palisade product RISKOptimizer within the Decision Tool Suite was used.

Keywords —Capacitated location problem; Disaster Relief; Genetic Algorithm

I. DECIDING THE LOCATION OF DISASTER RELIEF FACILITIES

After a disaster strikes, short-term recovery activities occur in chaotic and challenging circumstances in which the level of urgency is typically high and the available information is scarce. Under this scenario, decision making is carried out in an environment of high uncertainty, which is a great challenge for the design of the humanitarian supply chain (HSC) that will respond to the disaster.

The term 'Humanitarian Logistics' (HL) encompasses a wide range of operations including the distribution of medical supplies for routine disease prevention, food supplies to fight hunger, and critical supplies in the aftermath of a disaster [1], which helps to understand that: The objective of disaster response in the HSC is to rapidly provide relief (emergency food, water, medicine, shelter, and supplies) to areas affected by large-scale emergencies, so as to minimize human suffering and death [2].

The relief mission starts right after a disaster strikes when the demand for relief supplies appears. As seen in Figure 1, according to [2], four main phases of the relief mission are:

1. Assessment: minimal resources are required to identify what is needed
2. Deployment: resource requirements ramp up to meet the needs.
3. Sustainment: operations are sustained for a period of time.
4. Reconfiguration: operations are reduced, then terminated.

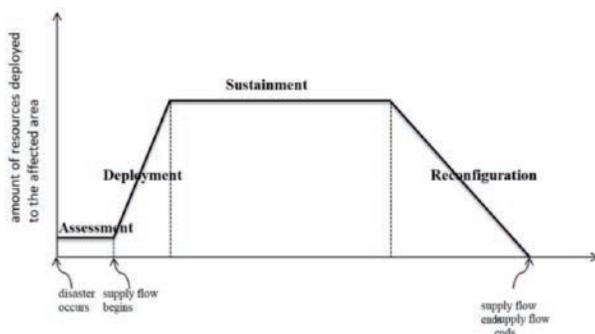


Figure 1. Relief mission life cycle taken from [2]

The location problem's decisions have a direct influence on the efficiency of the distribution tasks [3]. Moreover, since quantitative methods and principles that consider the unique characteristics of the relief environment are not widely developed and practiced, relief agencies may make facility location and stocking decisions using ad-hoc methods, which may lead to an inefficient (high costs, duplication of efforts, and waste of resources) and ineffective (slow response and unsatisfied demand) response [2]. From this, an urgent need to generate quantitative and optimized solutions arises in order to fully satisfy the main objective of the disaster response in the HSC.

An integrated logistics multi-objective model to locate- allocate relief centers is proposed by [4] utilizing a genetic algorithm as a solution approach accompanied by a Pareto optimal set to offer managers a set of solution to choose from; Two objective functions are presented, the first minimizes response time and the second minimizes the set up and transportation of the logistic network.

A two-echelon humanitarian logistics network, involving multiple central warehouses and local distribution centers, optimized by a differential evolution algorithm is presented by [5]; The first stage minimizes the total operating costs and gives the expected value for the second stage's objective function. The second stage minimizes the total distribution times.

Beneficiaries' choice is taken into account in a multi-objective location-routing model proposed by [6] and then the mathematical model is optimized via evolutionary algorithm; The first objective function minimizes the sum of travel costs and the second objective function minimizes the unserved demand.

A mathematical model that minimizes traveling time for people and aerial vehicles over a set of feasible scenarios is proposed by [7], the solving approach is via the development of some metaheuristic algorithms (genetic algorithm, memetic algorithm, simulated annealing, and parameter tuning).

A literature review on this topic was presented on International Congress on Logistics & Supply Chain (CiLOG) 2018; some of the main conclusions and opportunities for future research presented on the before mentioned paper are:

- Very few articles in Mexico address the problematic of facility location in humanitarian logistics and even less focus specifically in earthquake disaster type.
- Few papers utilized AI techniques.
- It is important to capitalize on the knowledge of experts who have faced FLP in previous disaster situations.

The aim of this paper is to contribute to this strand of research. To this end, a mixed integer linear programming model of the capacitated facility location problem is proposed, which includes the experience of the expert in mathematical modeling and then a genetic algorithm is used to optimize the model. The disaster situation of the earthquake in Mexico City on September 19, 2017, is used as a case study.

The problem is described as follows: given a set of demand points corresponding to affected areas, a set of Distribution Points (DP) is obtained; this set of DPs is then utilized as the main input to three different models, minimizing distance and time, and maximizing utility.

II. MODEL FORMULATION

Set	Description
i	Distribution point within each delegation, $i \in I = (1, \dots, o)$
j	Warehouse, $j \in J = (1, \dots, p)$
n	Demand point within each delegation, $n \in N = (1, \dots, r)$

Index	Description
D_i	Total demand for food supplies for distribution point i
C_j	Cost of transporting food supplies from the warehouse j to the distribution point i
dr_{ji}	Total distance traveled from warehouse j to distribution point i
V_{ji}	Number of trips to be made from warehouse j to distribution point i
d_{ji}	Distance from warehouse j to distribution point i
w_i	Weight to quantify demand share in distribution point i
t_i	Travel time between warehouse j and distribution point i
t_{in}	Travel time between distribution point i and demand point n
d_{in}	Distance between distribution point i and demand point n
a_n	Coordinates in "x" axis for demand point in delegation i
b_n	Coordinates in "y" axis for demand point in delegation i
R	Gas mileage per car
Ve	Speed
G	Maximum number of travels
C	Transport capacity
H	Upper limit for time response
U	Utility
T	Time

Index	Description
X	Coordinates in "x" axis for warehouse
Y	Coordinates in "y" axis for warehouse
x_i	Coordinates in "x" axis for delegation i
y_i	Coordinates in "y" axis for delegation i

The mathematical formulation is as follows:

$$(x_i, y_i) = \text{Minimize} \sum_{n=1}^r \sqrt{(x_i - a_n)^2 + (y_i - b_n)^2} \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{n=1}^r \sqrt{(x_i - a_n)^2 + (y_i - b_n)^2} \leq d_{max} \quad \forall i \quad (2)$$

The objective function (1) is, in fact, another function that minimizes the total distance from every demand point within each delegation to its corresponding distribution point. Restriction (2) states the maximum distance from the distribution point i to the demand point in accordance with the distance the beneficiary is willing to walk.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^o \sqrt{(X - x_i^*)^2 + (Y - y_i^*)^2} \quad (3)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^o \sqrt{(X - x_i^*)^2 + (Y - y_i^*)^2} \leq D_{max} \quad (4)$$

The objective function (3) aims to minimize the total distance from the warehouse to the distribution points located in each delegation. Restriction (4) states the maximum distance a relief vehicle can travel. In other words, this modeling approach is applied in two phases. In the first phase objective function (1) is used to find a point (distribution point) that minimizes the distance between the demand points within each delegation in Mexico City. In the second phase, the objective function (2) is used to find a point that minimizes the distance between the central points of each delegation and a general warehouse.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } U \\ & = \sum_{i=1}^o \left[D_i - R \right. \\ & \quad \left. * \left(V_{ji} \frac{2\sqrt{(X_j - x_i^*)^2 + (Y_j - y_i^*)^2}}{V_e} \right) \right] \quad \forall j \end{aligned} \quad (5)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^o V_{ji} \leq G \quad \forall j \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^o V_{ji} = \frac{D_i}{C} \quad \forall j \quad (7)$$

$$X_j, Y_j \geq 0 \quad (8)$$

The objective function (5) aims to maximize the utility generated by the distribution points. Parameter D_i is obtained via multiplication of demand weight for each delegation by total demand in order to acquire the specific demand for each distribution point with the following formula: $D_i = w_i * D$, where D stands for a total

demand of food supplies, w_i stands for weight to quantify demand share in DP i .

Constraint (6) limits the number of trips to be made from the warehouse to the distribution points. Constraint (7) is the number of trips needed to satisfy the demand for distribution point i . Constraint (8) is for non-negativity.

$$\text{Minimize } T \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & = \sum_{i=1}^o \frac{2\sqrt{(X_j - x_i^*)^2 + (Y_j - y_i^*)^2}}{V_e} \\ & + \sum_{n=1}^r \frac{2\sqrt{(x_i^* - a_n)^2 + (y_i^* - b_n)^2}}{V_e} \quad \forall j \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^o \frac{2\sqrt{(X_j - y_i^*)^2 + (Y_j - y_i^*)^2}}{V_e} \\ & + \sum_{n=1}^r \frac{2\sqrt{(x_i^* - a_n)^2 + (y_i^* - b_n)^2}}{V_e} \leq H \end{aligned} \quad (10)$$

$$X_j, Y_j \geq 0 \quad (11)$$

The objective function (9) minimizes the response time from the warehouse to the distribution points and from distribution points to demand points. Constraint (10) limits the response time. H stands for the maximum time for the goods to reach the demand points. Constraint (11) is for non-negativity.

III. SITUATION DESCRIPTION

On September 19, 2017, the National Seismological Service (SSN) reported an earthquake with magnitude 7.1 on the Richter scale, located on the boundary between the states of Puebla and Morelos. The earthquake occurred at 1:14 pm and was strongly felt in the center of the country, causing various damages to the infrastructure of Mexico City. The response efforts to the earthquake did not wait; the help came from all parts of the country and many other countries.

The efforts of distribution and administration of food and materials were carried out empirically, in good faith and without a defined support system.

During this disaster response, the civil association Ciudadanía19S excelled in the organization of delivery and distribution of food and materials. Their main source of information was community driven, namely a cell phone application that let people on the disaster zone register damaged and collapsed buildings, food and material needs, and missing people. This information was used to support decision making, as in where to place food, materials, volunteers, shelters, as well as where the collected aid was store.

Once the relief mission was completed, Ciudadania19S undertook the task of verifying the information coming from this cell phone application and different governmental and non- governmental organizations, to consolidate a database that reflects what happened during the relief efforts.

The above-mentioned database is the main source of information used in the case study for this paper. The starting point for the development of the solution approach to this problematic situation is to get the demand points from the Ciudadania19S database, from which the distribution points are generated by optimizing the equation (1); the resulting locations for the distribution points serve as a basis to determine the location of the general warehouse through the three objective functions, from which two minimize time and distance and one maximizes utility. In other words, based on the Ciudadadania19S database, the second echelon of the supply chain was constructed via equation (1); followed by the generation of the first echelon via the three objective functions, as represented in Figure 2.

It is important to mention that the cost of transporting food supplies from the warehouse j to the distribution point i is the result of the multiplication of the gasoline mileage by the number of trips (V_{ij}) from the warehouse to the distribution points, and by the distance (dr_{ij}) from the warehouse j to the distribution point i . The gasoline mileage is given with a normal probability distribution. The number of trips is related to transport capacity and supply demand.

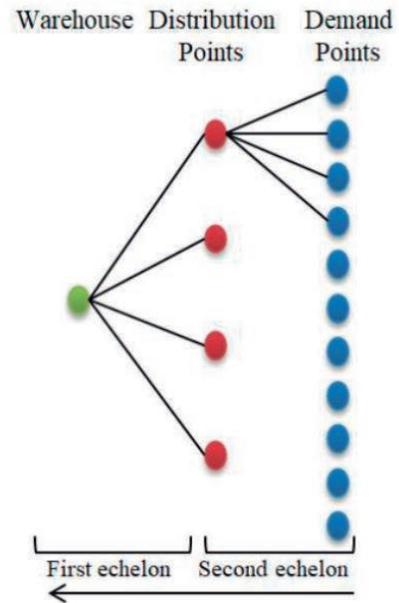


Figure 2. Solution approach

The transportation time is the result of dividing the distance between speed. In this case, the speed is given according to the expert with a normal probability distribution. The upper limit for time response is related to the number of cars available and the time each car is available since according to the expert cars were loaned by companies for a limited time per day.

IV.SOLUTION APPROACH:GENETIC ALGORITHM

Genetic algorithms (GAS) are numerical optimization algorithms inspired by both natural selection and natural genetics [8]. In other words, Genetic Algorithms are heuristic search approaches that are applicable to a wide range of optimization problems. This flexibility makes them attractive for many optimization problems in practice [9]. The foundation of GAS is evolution which is believed to be the reason for the actual accomplishment of the nowadays species on the planet.

Mating and getting offspring to evolve belong to the main principles of the success of evolution. These are good reasons for adapting evolutionary principles to solving optimization problems [9].

It can be said that most methods called “GAS” have at least the following elements in common: population of chromosomes, selection according to fitness, crossover to produce new offspring, and random mutation of new offspring [10]. The population of chromosomes refers to the initial set of feasible solutions which can be encoded as bit strings instead of real numbers.

The simplest form of the genetic algorithm involves three types of operators: selection, crossover (single point), and mutation [10]. With the selection operator the best chromosomes in the population are selected for reproduction, the fitter the chromosome the more likely it is to reproduce. The crossover operator randomly selects one point within one pair of encoded solutions and exchanges the subsequences before and after this point between the paired solutions to create two offspring. The mutation operator randomly changes some of the bits inside the encoded solution.

A Microsoft Excel® Add-in of the Palisade product RISKOptimizer within the Decision Tool Suite was utilized to optimize the mathematical model. The parameters used in the present work are:

- Mutation rate: 0.1
- Crossover rate: 0.5
- Initial population: 50
- Simulation runtime: convergence
- Tolerance: Automatic

According to the RiskOptimizer Reference Guide, the simulation runtime specifies how RiskOptimizer will determine when to stop each simulation it runs. On this case, the “convergence” option was selected, which means that RiskOptimizer will stop each simulation when the target cell of optimization and the cells for the simulation constraints are stable. Tolerance is the amount of chance allowed when the statistic of interest is said to be converged. Selecting automatic tolerance means that RiskOptimizer will set the convergence tolerance according to performance.

One of the many advantages of this Microsoft Excel® Add-in is that the user has the opportunity to easily introduce the mathematical model into the

spreadsheet and include probability distributions, for example in the utility maximization model, the cost calculation (on the spreadsheet) for each Delegation is as follows:

$$= [I9 * ROUNDUP(F9/I23)] * RiskNormal(Media, Standard deviation)$$

Where:

$I9$ = Distance from Distribution Point i to Warehouse j

$F9$ = Demand of delegation i

$I23$ = Vehicle capacity

$RiskNormal(Media, Standard deviation)$ = Gas mileage

V. RESULTS

For this study, the three mathematical models were optimized via the Microsoft Excel® Add-in of the Palisade product RISKOptimizer within the Decision Tool Suite, in order to obtain the optimal location of the main warehouse and the DPs in the Facility Location Problem applied to the Humanitarian Supply Chain. Different locations are proposed, Figure 3 shows the optimization results of the objective function (3). Demand points are blue; the optimized locations for each DP in a delegation are red, and the black star represents the general warehouse.

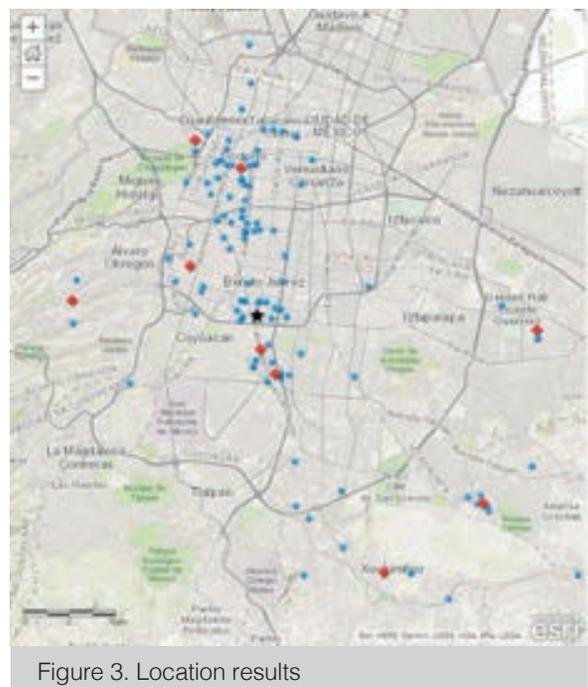


Figure 3. Location results

Table 4 shows the optimization results for every objective function as well as the performance of the resulting values for (Xj, Yj) from one objective function applied to the other two functions; for example, the optimal values for the coordinates gotten for the distance objective function give a final result of 71,012.14 meters, the same optimal coordinates but now applied to the utility objective function generate a final result of 38,416.52 which is slightly lower than the value obtained via this objective function optimization. On this way, it is possible to analyze the performance of one optimized objective function against the others.

in Mexico City with a case study of the earthquake of September 19, 2017 with the information gathered by Ciudadada19s. Data about damages can be found on their web page Verificado19s [11].

The overall model was optimized via the Microsoft Excel® Add-in of the Palisade product RISKOptimizer within the Decision Tool Suite. The results highlighted that it does not matter which objective function is optimized, similar results are achieved; even so, the distance objective function has the best performance.

To include fixed costs in the utility objective function is one of the recommendations for future work, alongside with the inclusion of the final decision making once the DPs are generated; for example, as seen in Figure 3, one pair of DPs are close enough to the general warehouse as to decide whether or not it is convenient to eliminate one or both of them and let the general warehouse supply aid to their demand areas.

Finally, it is important to optimize the overall model with different GAs in order to find better optimization results to ascertain a real optimal solution, different from a locally optimal solution.

Table 4. Optimization results

Optimized functions	Criteria					
	Distance	Vs. Best	Utility	Vs. Best	Time	Vs. Best
Distance	71012.15	-	38,416.52	0.00%	16.1685	-
Utility	71904.45	-1.26%	38,417.28	-	16.1960	-0.17%
Time	71036.05	-0.03%	38,416.48	0.00%	16.1692	0.00%
Best	71012.15		38,417.28		16.1685	

Distance objective function shows a slightly better performance than that of the other two objective functions. Within the nature of a genetic algorithm, it is the problem to find only locally optimal solutions and not the best solution, as well as the increase in complexity to solve this problem due to the inclusion of uncertainty in the form of probability distributions.

VI. CONCLUSIONS

This paper presented a mathematical approach to the solution of the Facility Location Problem consisting of two main parts. The first one uses the objective function (1) to determine the second echelon starting from the demand points; the second part consists on the generation of the first echelon of the humanitarian supply chain via optimization of the three objective functions (utility, distance and time).

The focus of this paper is to present this mathematical formulation and subsequent optimization as a decision support tool. In order to validate the model, it was tested on a Facility Location Problem in the Humanitarian Supply Chain

REFERENCES

[1] J. Holguín-Veras, M. Jaller, L. N. Van Wassenhove, N. Pérez, and T. Wachtendorf, "On the unique features of post-disaster humanitarian logistics," *J. Oper. Manag.*, vol. 30, no. 7–8, pp. 494–506, 2012.

[2] B. Balcik and B. M. Beamon, "Facility location in humanitarian relief," *Int. J. Logist. Res. Appl. A Lead. J. Supply Chain Manag.*, no. February 2013, pp. 37–41, 2008.

[3] A. M. Anaya-Arenas, J. Renaud, and A. Ruiz, "Relief distribution networks: a systematic review," *Ann. Oper. Res.*, vol. 223, no. 1, pp. 53–79, 2014.

[4] M. Najafi, R. Z. Farahani, M. P. De Brito, and W. Dullaert, "Location and Distribution Management of Relief Centers: A Genetic Algorithm Approach," *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.*, vol. 14, no. 04, pp. 769–803, 2015.

[5] S. Tofighi, S. A. Torabi, and S. A. Mansouri, "Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 250, no. 1, pp. 239–250, 2016.

[6] C. Burkart, P. C. Nolz, and W. J. Gutjahr, "Modelling beneficiaries' choice in disaster relief logistics," *Ann. Oper. Res.*, vol. 256, no. 1, pp. 41–61, 2017.

[7] M. Golabi, S. M. Shavarani, and G. Izbirak, "An edge-based stochastic facility location problem in UAV-supported humanitarian relief logistics: a case study of Tehran earthquake," *Nat. Hazards*, vol. 87, no. 3, pp. 1545–1565, 2017.

[8] D. A. Coley, "AN INTRODUCTION TO GENETIC ALGORITHMS FORM SCIENTISTS AND ENGINEERS," World Sci., 1999.

[9] O. Kramer, "Genetic Algorithm Essentials," vol. 679, pp. 11–20, 2017.

[10] M. Mitchell, "An Introduction to Genetic Algorithms (Complex Adaptive Systems)," MIT Press, p. 221, 1998.

[11] Verificado19s, "Verificado19s," 2019. [Online]. Available: <https://verificado19s.org/datos/>. [Accessed 23 Mayo 2019].

Ubicación de albergues para eventos hidrometeorológicos en México: caso de estudio

Santiago Apolonio Oro
Departamento de Posgrado, Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma del Estado de México,
U.A.E.M.Toluca, México.
santiago.apolonio@gmail.com

Lourdes Loza Hernández
Estancia Posdoctoral CONACyT, Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma del Estado de México,
U.A.E.M.Toluca, México.
llozahe@gmail.com

Resumen— En la última década las inundaciones costeras en México se han incrementado, por ello, es necesario buscar nuevas alternativas para atender las necesidades de evacuación y ayuda humanitaria a la población afectada. El Gobierno (G), las Organizaciones No Gubernamentales (ONG's), las Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC's) y las Empresas Privadas (EP's) son los actores principales que participan en estas acciones. La ayuda humanitaria en caso de desastres en México es proporcionada por instancias nacionales e internacionales. En este sentido el Gobierno Mexicano es el encargado de coordinar y realizar las operaciones necesarias para evacuar a las personas afectadas, desde los "puntos de encuentro" a los "albergues" destinados para proporcionar la ayuda social. De experiencias anteriores, la literatura señala que en muchos casos los albergues se encuentran ubicados a una distancia lejana a la población afectada, este trabajo propone el método cuantitativo de Centro de Gravedad, como herramienta para determinar la mejor ubicación de los albergues, considerando como elemento fundamental la satisfacción de evacuación de la población del lugar afectado. Los beneficios inherentes al uso de esta herramienta es reducir los tiempos de respuesta a la población y los costos de evacuación. La aplicación de la herramienta se muestra a un caso de estudio en México, con información obtenida de la base de datos del SINAPROC (Sistema Nacional de Protección Civil) y personal involucrado en actividades de la Marina Mercante en Altata, Navolato, Sinaloa.

Palabras Clave—Método Centro de Gravedad, logística humanitaria, locación de albergues, métodos cuantitativos

I. INTRODUCCIÓN

En México la Secretaría de Gobernación (SEGOB) es la entidad encargada de difundir las declaraciones de peligro para cualquier emergencia, por lo tanto, los eventos hidrometeorológicos, como parte de ellos los huracanes, son incluidos en estas declaraciones considerando las zonas costeras de la república como prioridad. Posteriormente a la declaratoria de emergencia, el gobierno en coordinación con el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) y las fuerzas armadas (Secretaría de Marina (SEMAR- Plan Marina) y la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA- Plan DN III- E)), realizan acciones inmediatas de alertamiento y evacuación hacia los albergues (en caso de ser necesario), según el nivel de riesgo e impacto de la zona en peligro.

Cuando un evento hidrometeorológico perturba la integridad de la población, el Gobierno Federal (G) es el principal responsable de realizar las actividades de ayuda humanitaria [1]. Sin embargo, si este se ve rebasado por las necesidades de la población, las Organizaciones No Gubernamentales (ONG's), las Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC's) y las Empresas Privadas (EP's) se integran al apoyo ante la emergencia [2], creando una red de ayuda humanitaria hacia la población afectada [3].

Desafortunadamente la ayuda no es coordinada entre los actores, generando que la utilización de los recursos disponibles no se maximice y en consecuencia se incremente el tiempo de respuesta y se eleven los costos en estas situaciones. Debido a lo anterior, según [4] referenciado por [5], para dar atención efectiva a las zonas afectadas por desastres la adecuada ubicación de albergues es una decisión coyuntural en estas condiciones.

Partiendo del contexto previo y de las limitaciones en cuanto a la disponibilidad de lugares seguros, la ubicación de instalaciones es un requerimiento indispensable, por ello la importancia de establecer los puntos más cercanos que permitan satisfacer en el menor tiempo posible la evacuación de las personas afectadas en la zona de riesgo.

Para este caso de estudio de la zona costera de Altata, Sinaloa, a través del entonces capitán de la Marina Mercante José Francisco Mendoza Saucedo, comentó que se le informa a la población la ubicación de los puntos de encuentro más cercanos a los albergues, dejando a la población la elección de ir directamente al albergue o al punto de encuentro para ser trasladados, estando a cargo de Marina la evacuación de personas a los albergues. La Figura 1 muestra los puntos en los que se localizan los albergues.

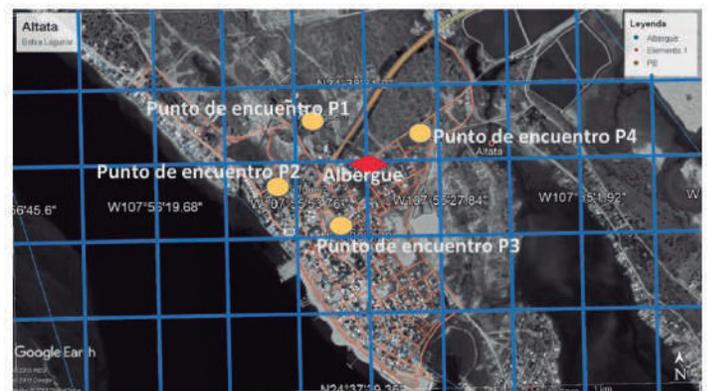


Figura 1: Mapa de ubicación de la entrega del suministro
Fuente: Elaboración propia

La cantidad de métodos cuantitativos para determinar la mejor ubicación de instalaciones en la cadena de suministro comercial, nos lleva a considerar estos métodos como herramientas para la mejor ubicación de albergues en logística humanitaria. Con base en las necesidades de la población, herramientas como Centro-P, Cobertura Máxima y Centro de Gravedad son algunos de los métodos mencionados. Para el desarrollo de este trabajo se aplica el método Centro de Gravedad para determinar la localización de los albergues, con base en la información proporcionada por el capitán de puerto para el evento sucedido en el año 2013 en Altata, Sinaloa.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A. Antecedentes

Alrededor del mundo el número de desastres naturales y las personas afectadas por estos ha aumentado en la última década [6], generando

problemas que perjudican directamente a la población, el medio ambiente y la economía de un país.

México no es la excepción ante este tipo de eventualidades, tomando en cuenta que el territorio nacional está expuesto a muchos de los desastres hidrometeorológicos que afectan sustancialmente las actividades socioeconómicas de las áreas afectadas y los huracanes son uno de estos eventos.

Debido a lo anterior, una de las acciones medulares en este tipo de situaciones como apoyo a la población asentada en zonas de riego, es la ubicación de las instalaciones que son utilizadas para realizar las operaciones humanitarias, considerando que su localización permita desplegar en el menor tiempo posible dicha ayuda [5], con el fin de salvaguardar la integridad de las personas afectadas en este tipo de eventos naturales.

El modelo de Centro de Gravedad ha sido utilizado en trabajos anteriores mediante una variedad de entradas, siendo una de estas entradas las ubicaciones viables, de las cuales se realiza una elección final [7]. Aunado a esto, los aspectos geográficos pueden afectar la ubicación de instalaciones [8] considerando así a la ubicación de un albergue como un elemento fundamental. Como se mencionó anteriormente, los aspectos geográficos son elementales y el método Centro de Gravedad se concentra en minimizar la distancia promedio ponderada por la demanda entre una instalación, la cual se puede ubicar en cualquier parte del plano y un conjunto de puntos discretos [7]. Por tal motivo, el método Centro de Gravedad cubre las expectativas para la determinación de la ubicación de los albergues en el caso de estudio, lo cual permitirá elegir un punto óptimo para la entrega de los suministros requeridos.

B. Método del Centro de Gravedad

El método del Centro de Gravedad tiene como objetivo minimizar la distancia promedio a través de una ponderación de la demanda entre distintas instalaciones que se puedan ubicar en cualquier

parte de un plano, a través de un conjunto de puntos discretos [7].

[9] describe al método desde un punto de vista del transporte como: “El método de centro de gravedad se basa en la idea de que, si interesa minimizar costos de transporte totales, cuanto más demanda tenga un punto, más interesante es ubicarse cerca de él; lo mismo ocurre para aquellos puntos en los que los costos unitarios de transporte son muy elevados”.

Lo anterior muestra que cada punto de demanda o producción atrae a centros de distribución hacia sí, con una fuerza directamente proporcional al producto del costo unitario de transporte y al flujo de materiales que sale o llega a ese punto.

Para este caso que se desarrolla, la oferta y demanda de los productos se relacionan con los puntos de encuentro y el Centro de Gravedad es el albergue que aloja a las personas que serán trasladadas al más cercano. La Figura 2 representa el caso de estudio.

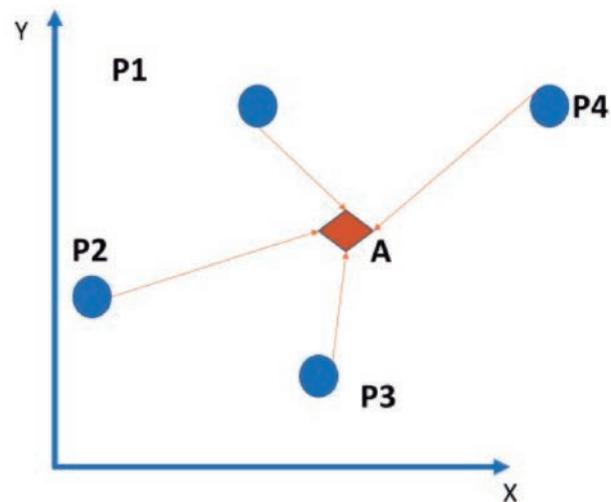


Figura 2: P - Punto de encuentro, A - Albergue
Fuente: Elaboración propia

La expresión analítica que determina las coordenadas del centro de gravedad una vez que se ha definido un sistema de referencia arbitraria, es el siguiente:

Para el caso de la coordenada X

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i * R_i * X_i / d_i}{\sum_i V_i * R_i / d_i} \quad (1)$$

Para el caso de la coordenada Y

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i * R_i * Y_i / d_i}{\sum_i V_i * R_i / d_i} \quad (2)$$

Para el caso de la distancia di:

$$d_i = K \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

$$\text{Min CT} = \sum_i^n V_i * R_i * d_i \quad (4)$$

Donde las variables de la ecuaciones son:

V_i = es el flujo de transporte desde el punto i hasta el punto A

R_i = Tarifa de transporte por enviar una persona desde el punto i hasta el punto A

X_i y Y_i = Coordenadas del punto i

d_i = Distancia al punto i desde la instalación que se ubicará.

K = Representa un factor de escala para convertir una unidad de un punto de coordenada a una medida de distancia más común.

CT = CostoTotal.

El proceso de solución se describe enseguida [10]:

Paso 1: Determine los puntos de coordenadas de las ecuaciones X y Y para cada punto de origen y de demanda, junto con los volúmenes de punto y las tarifas de transportación lineal.

Paso 2: Aproxime la ubicación inicial a partir de las fórmulas del centro de gravedad mediante la omisión del término de distancia d_i como sigue:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i * R_i * X_i}{\sum_i V_i * R_i} \quad (5)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i * R_i * Y_i}{\sum_i V_i * R_i} \quad (6)$$

Paso 3: Utilizando la solución para las ecuaciones 5 y 6 del paso 2, calcule d_i de acuerdo con la ecuación 3 (El factor de escala no requiere utilizarse en este punto).

Paso 4: Sustituya d_i en las ecuaciones 1 y 2, resuelva para las coordenadas de las ecuaciones 5 y 6 revisadas.

Paso 5: Recalcule d_i con base en las coordenadas de las ecuaciones 5 y 6 revisadas.

Paso 6: Repita los pasos 4 y 5 hasta que las coordenadas de las ecuaciones 5 y 6 no cambien para iteraciones sucesivas, o cambien tan poco que continuar con el cálculo no sea productivo.

Paso 7: Por último, calcule el costo total para la mejor ubicación, si se desea, utilizando la ecuación (4).

El método del centro de gravedad tiene una interfaz muy sencilla y crea una buena aproximación para minimizar los costos [10]. Cabe mencionar que este método no es muy exacto, porque el centro de gravedad no es el lugar que minimiza las distancias, sino las distancias al cuadrado, pero nos da una aproximación muy cercana a lo que deseamos calcular en el caso de estudio. Considerando las ventajas del método y debido a la gran cantidad de factores involucrados en el análisis y selección de la localización, además de añadir la posibilidad de plantear un gran número de posibles localizaciones a priori, el método permite plantear la utilización de puntos establecidos como albergues temporales indicados por Protección Civil.

III. CASO DE ESTUDIO

La República Mexicana al poseer una línea costera de alrededor de 11,521km, está sujeta a eventos hidrometeorológicos tales como los huracanes, que perturban la integridad de la vida y de las actividades normales de los pobladores de esas áreas. Esta línea costera forma parte de dos grandes océanos que tienen un alto índice de

ocurrencia ante eventos de este tipo, trayendo consigo la pérdida tanto de vidas humanas como de bienes materiales, así como la alteración de en las condiciones de vida y del medio ambiente. La línea costera esta delimitada por el Océano Atlántico en la parte este del país y al oeste delimitada por el Océano Pacífico y el Golfo de California [1]. Inherente a estas fronteras con los océanos, la presencia de huracanes es inevitable.

La porción de línea costera para el caso de estudio que se presenta, se encuentra ubicada en la localidad de Altata, que pertenece al municipio de Navolato, Sinaloa siendo esta de alrededor del 13.2 km. La Figura 3.2 muestra su ubicación del municipio dentro de la línea costera perteneciente a Sinaloa, la cual se muestra en la Figura 3.1.

directa o indirecta las actividades de los pobladores de las zonas afectadas y de la población de los lugares cercanos al área del desastre.

Como se mencionó en los párrafos anteriores, las inundaciones en zonas costeras son en muchos casos la consecuencia de los huracanes, por lo que es vital el reconocimiento de las características del huracán (nivel de riesgo, intensidad, velocidad, etc.) para estimar el impacto en las zonas cercanas al lugar en el que tocan tierra, y poner en marcha las actividades de prevención correspondiente para evitar al máximo sus efectos. Para ello, es importante mencionar que la información histórica sobre el comportamiento de la población en casos de desastre, los daños causados de eventos anteriores, la extensión de las zonas afectadas, pérdidas ocasionadas, etc. permite establecer los planes estratégicos para disminuir al máximo los daños y se tomen las medidas de ayuda necesarios, para asegurar al máximo la integridad de la población afectada por los eventos posteriores.

La actividad que se pretende apoyar en el desarrollo de este trabajo es la determinación del lugar más adecuado para la entrega de suministros de ayuda, tomando en cuenta las ubicaciones de albergues temporales proporcionadas por el SINAPROC; los lugares seleccionados como viables para la instalación de albergues son los que se muestran en la Tabla 1.

Los albergues de la Tabla 1, son inmuebles que en condiciones normales son utilizados para el uso que fueron construidos, todos se encuentran ubicados en el estado de Sinaloa en el municipio de Navolato, los cuales han sido ocupados anteriormente en caso de situaciones de desastres.

Para el caso de estudio, se seleccionaron solo aquellos albergues de los que se cuenta con los datos necesarios para la aplicación del método, estos albergues son mostrados en la Tabla 2.

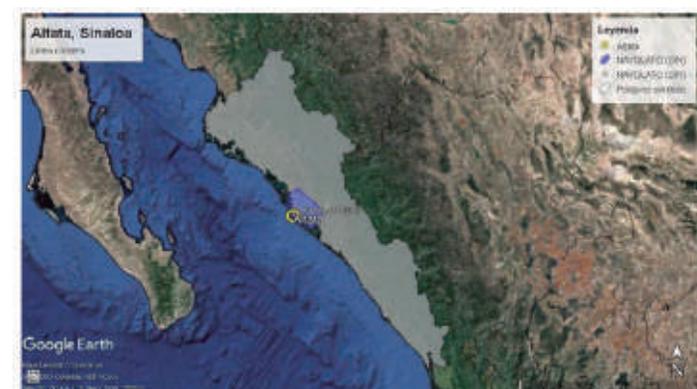


Figura 3.1. Ubicación de Altata, Navolato en el Estado de Sinaloa Fuente: Elaboración a partir de Google Earth



Figura 3.2. Línea costera de Altata, Navolato, Sinaloa Fuente: Elaboración a partir de Google Earth

Aquí los eventos de inundación juegan un papel importante como consecuencia de los huracanes, ya que la presencia de estas perjudica de manera

Tabla 1. Refugio temporales SINAPROC

No.	Refugio	Capacidad (personas)
1	Universidad Autónoma de Sinaloa.	1000
2	Aseguradora IMSS	900
3	Club de Leones	250
4	PAMAR	100
5	Escuela Primaria "Benito Juárez".	245
6	Escuela. Secundaria. Simón Bolívar	400
7	Casino Sinaloa	500
8	Escuela. Secundaria. Técnica. No. 58	200
10	Escuela. Primaria "General Antonio Rosales".	400
11	Escuela. Técnica. No. 51 V.B.J.	500
12	Escuela. Primaria. "Emiliano Zapata".	500
13	Escuela. Secundaria. Técnica No. 43.	120
14	Escuela Primaria "Prof. Carlos García Rivera"	400
15	Escuela Secundaria Técnica Pesquera No. 52	550

Fuente: Coordinación General de Protección Civil Sinaloa.

Tabla 2. Refugio temporales SINAPROC

No.	Refugio	Capacidad (personas)
1	Escuela Primaria "Prof. Carlos García Rivera"	400
2	Escuela Secundaria Técnica Pesquera No. 52	550

Fuente: Elaboración propia, información proporcionada por el Capitán de la Marina Mercante.

Para la ubicación de los puntos de encuentro en el mapa geográfico, se realizó una cuadrícula del plano del municipio de Navolato como se muestra en la Figura 1. Con base en esto y, tomando en cuenta la cuadrícula como escala de localización, las coordenadas de ubicación de los puntos de encuentro seleccionados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Coordenadas de los puntos de encuentro

Punto	Coordenada del plano		Coordenada Real (Google Earth)	
	X	Y	X	Y
P1	5	4	23.64	107.93
P2	4	3	24.64	107.93
P3	5	3	24.64	107.93
P4	6	4	24.63	107.93

Fuente: Elaboración propia, información proporcionada por el Capitán de la Marina Mercante.

Estas coordenadas son las entradas iniciales para la aplicación del método de Centro de Gravedad.

La Tabla 4, muestra las distancias que existen del punto de encuentro al Albergue 1, como una propuesta inicial.

Tabla 4. Distancia de los puntos de encuentro al Albergue

Punto	Punto de encuentro	Distancia
P1	Punto 1	0.79
P2	Punto 2	0.56
P3	Punto 3	0.47
P4	Punto 4	0.81

Los vehículos disponibles para el traslado de personas del punto de encuentro a los albergues tienen las siguientes características (ver Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8).

Tabla 5: Tipo de vehículos y cantidad disponible modelo R

Tipo de vehículo	1	2	3	4
Número de vehículos	3	1	2	1

Fuente: Elaboración propia, información proporcionada por el Capitán de la Marina Mercante. (R) Identificación del tipo camión por el personal de la marina [11].

Tabla 6: Capacidad del vehículo según su tipo de vehículo

Tipo de vehículo	1	2	3	4
Capacidad	35	15	20	12

Fuente: Elaboración propia, información proporcionada por el Capitán de la Marina Mercante [11].

Tabla 7: Número máximo de viajes por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	1	2	3	4
Número de viajes	5	5	5	5

Fuente: Elaboración propia, información proporcionada por el Capitán de la Marina Mercante [11].

Tabla 8: Costo del viaje por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	1	2	3	4
Costo por viaje	\$1,800	\$1,800	\$1,650	\$1,500

Fuente: Elaboración propia, información proporcionada por el Capitán de la Marina Mercante [11].

Tomando en consideración los datos de las Tablas 5, 6, 7 y 8 para trasladar a las personas de un punto a otro. La Tabla 9 muestra la capacidad del vehículo, la tarifa del transporte por viaje, la distancia, el número de viajes a realizar y el total de la distancia a recorrer (multiplicación de número de viajes del vehículo por la distancia recorrida) para cada punto.

Tabla 9. Asignación inicial de personas a vehículos

Punto	Capacidad	Tarifa por persona	Número de Viajes	Total de la distancia
P1	35	455.696	5	3.95
P2	15	642.857	5	2.8
P3	20	765.957	5	2.35
P4	12	444.444	5	4.05

Fuente: Elaboración propia, información proporcionada por el Capitán de la Marina Mercante.

IV. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE CENTRO DE GRAVEDAD

Para la aplicación del modelo, fue necesario realizar los cálculos de los datos iniciales a las ecuaciones 1, 2 y 3 del apartado II.B. Considerando como valor de conversión $K=0.384\text{km}$ para el cálculo de la distancia al punto seleccionado. Los valores para:

$$\bar{X} = 4.91 \quad \bar{Y} = 3.46$$

La primera aproximación de la aplicación del modelo con los datos iniciales se muestra en la Tabla 10 y 11:

Tabla 10. Coordenadas de los puntos iniciales

<i>i</i>	X_i	Y_i	V_i	R_i	$V_i R_i$	$V_i R_i X_i$	$V_i R_i Y_i$
1	5	4	35	455.696	15949.37	79746.84	63797.47
2	4	3	15	642.857	9642.86	38571.43	28928.57
3	5	3	20	765.957	15319.15	76595.74	45957.45
4	6	4	12	444.444	5333.33	32000.00	21333.33
				Σ	46244.71	226914.01	160016.82

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Costos del traslado de personas

<i>i</i>	X_i	Y_i	V_i	R_i	$V_i R_i$	$V_i R_i X_i$	$V_i R_i Y_i$
1	5	4	35	455.696	15949.37	79746.84	63797.47
2	4	3	15	642.857	9642.86	38571.43	28928.57
3	5	3	20	765.957	15319.15	76595.74	45957.45
4	6	4	12	444.444	5333.33	32000.00	21333.33
				Σ	46244.71	226914.01	160016.82

Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior podemos concluir que los resultados de la aproximación inicial muestran un total de \$12,379.41 en los costos del transporte, que es el valor que nos permite realizar la comparación de la situación inicial con las mejoras al aplicar el método de Centro de Gravedad de forma iterativa. Esta es la primera aproximación de las coordenadas para la ubicación del posible punto de reunión. Desde aquí comienzan las iteraciones que determina el punto más cercano posible, en la Figura 1 se muestra la ubicación del primer punto. Para realizar de forma más rápida las iteraciones del método, se hizo uso del software LONGWARE versión 4.0 [10] y los resultados se muestran en la Figura 4.

Figura 4. Iteración con LONGWARE del centro de gravedad al caso de estudio

Fuente: Elaboración propia

V. RESULTADOS OBTENIDOS

La ubicación y costos asociados al caso de estudio se pueden mostrar en la Figura 5.

El método aquí propuesto muestra una mejora en los costos de ubicación de un albergue, el uso de tecnologías de información permite la ejecución de las iteraciones necesarias para encontrar una solución cercana a la óptima, lo cual es el objetivo de la aplicación del método.

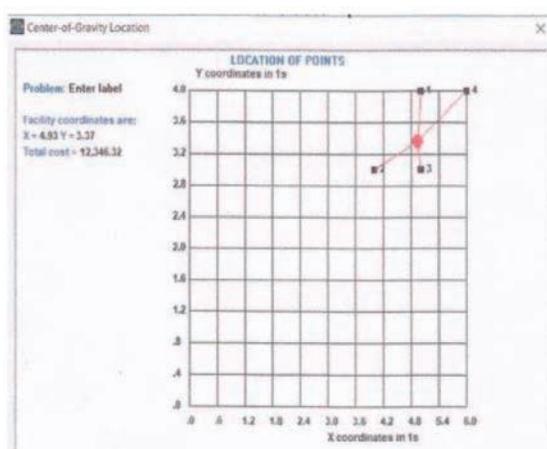


Figura 5. Ubicación de los puntos calculados a través de LONGWARE
Fuente: Datos del caso de estudio aplicando LONGWARE

VI. CONCLUSIONES

El objetivo del trabajo que se desarrollo es mostrar el uso de una herramienta matemática para determinar la mejor ubicación de los albergues en situaciones de desastre, considerando como elemento fundamental la satisfacción de evacuación de la población del lugar afectado. Los beneficios inherentes al uso de esta herramienta es reducir los tiempos de respuesta a la población y los costos de evacuación.

El método de Centro de Gravedad es aplicado al caso de estudio en México, específicamente en Altata, Navolato, Sinaloa con información obtenida de la base de datos del SINAPROC (Sistema Nacional de Protección Civil) y personal involucrado en actividades de la Marina Mercante del lugar.

Los resultados muestran que el uso del método mejora los costos de traslado de personas a los albergues, de las ubicaciones iniciales definidas por el personal de la Marina Mercante, en los eventos anteriores específicamente en el Huracán Manuel, ocurrido en septiembre de 2013 en Sinaloa. Los resultados obtenidos proporcionan la nueva ubicación para el albergue que fue elegido como caso de estudio particular. También se concluye que el uso de las tecnologías de información como apoyo para el cálculo de las operaciones que implica el método, minimiza el

tiempo en el que se obtienen las soluciones, lo que es de gran apoyo para el personal encargado de la toma de decisiones en este tipo de desastres. Los resultados muestran las mejoras en los costos del uso de recursos para la evacuación de la población al albergue seleccionado, logrando los objetivos planteados del desarrollo del trabajo.

REFERENCIAS

- [1] S. Apolonio-Oro, "Propuesta para la coordinación de actividades entre actores de ayuda humanitaria ante una inundación costera en México", Universidad Autónoma del Estado de México, 2018.
- [2] MSF., "MSF en México | MSF México/América Central", 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.msf.mx/msf-en-mexico>.
- [3] B. Balcik, B. M. Beamon, C. C. Krejci, K. M. Muramatsu, y M. Ramirez, "Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities", *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 126, núm. 1, pp. 22–34, 2010.
- [4] L. N. Van Wassenhove, "Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear", *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 57, núm. 5, pp. 475–489, 2006.
- [5] J. G. Iniestra, P. E. A. López, y R. E. Colón, "Un modelo bi-criterio para la ubicación de albergues, como parte de un plan de evacuación en caso de inundaciones", *Rev. Ing. Ind.*, vol. 11, núm. 2, 2012.
- [6] D. Guha-Sapir, F. Vos, R. Below, y S. Ponserre, "Annual disaster statistical review 2011: the numbers and trends", *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)*, 2012.
- [7] T. Drezner y Z. Drezner, "Finding the optimal solution to the Huff based competitive location model", *Comput. Manag. Sci.*, vol. 1, núm. 2, pp. 193–208, 2004.

[8] A. Ahmadi-Javid, P. Seyedi, y S. S. Syam, “A survey of healthcare facility location”, *Comput. Oper. Res.*, vol. 79, pp. 223–263, 2017.

[9] F. Ares Marquina, “Análisis y business plan de una empresa de transporte de mercancías destinada al reparto a grandes superficies y plataformas asociadas”, 2003.

[10] R. H. Ballou, *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Pearson Educación, 2004.

[11] J. F. M. Saucedo, “Plan de prevención para mitigar los efectos de las inundaciones provocadas por huracanes en el municipio de Navolato, Sinaloa: el caso del puerto de Altata”. Universidad de Occidente, Culiacán, Sinaloa, 2015.

Logística humanitaria: Elementos clave y propuesta del uso de herramientas lean para facilitar la gestión de almacenamiento de insumos

Ailed Dejanira Rodríguez Cristerna
Unidad Académica en Ing. En Logística y transporte
Universidad Politécnica de Sinaloa
Mazatlán, Sinaloa, México
2015030326@upsin.edu.mx

María Irene Ontiveros López
Unidad académica Ing. en Logística y Transporte
Universidad Politécnica de Sinaloa, UPSIN Mazatlán, Sinaloa,
México 2015030307@upsin.edu.mx

Resumen—La logística humanitaria se encarga de administrar la cadena de suministro de los insumos y servicios necesarios para atender a la población antes, durante y después de que ocurra un desastre. A través de la presente investigación se persigue como objetivo, dar a conocer los conceptos, elementos clave, actores involucrados, retos e indicadores de la logística humanitaria; asimismo, desarrollar propuestas de herramientas que faciliten su gestión. La metodología que se utilizó fue de tipo cualitativa y descriptiva; cuyo objetivo fue reunir la información de 50 marcos teóricos sobre el tema de logística humanitaria, con base en ello se detectaron las prácticas comunes, las diferencias y las áreas de oportunidad. Asimismo, se integra el análisis documental sobre la importancia de incluir la modelización matemática y herramientas de la logística esbelta en la gestión de almacenamiento de insumos. Como resultado se obtuvo, un cuadro comparativo de los elementos que integran la Logística humanitaria, se desarrolló una propuesta de herramientas de apoyo para la logística esbelta, tales como un código de prioridades de insumo denominado APILH, un diseño de layout y un tablero de control; que permita administrar y controlar el almacenamiento de insumos en caso de desastre. La investigación muestra la evidencia del registro de derecho de autor y la firma de convenio de colaboración con el Banco de Alimentos de Mazatlán, Sinaloa. Con la intención de realizar la transferencia de las propuestas en un mediano plazo.

Palabras Clave— Logística humanitaria, metodología lean para controlar, indicadores, modelización, código de prioridad.

I. INTRODUCCIÓN

La logística humanitaria se conoce como el proceso de planear, coordinar y ejecutar el plan de contingencia a los necesitados de un desastre natural, ofreciendo servicios médicos y de rescate, además de la distribución y entrega de insumos básicos. Se sabe que es un tema poco conocido. Pero, afortunadamente, en las últimas décadas, ha cobrado mayor importancia, ya que la disciplina “logística”, se conoce como un eje transversal en todas las cadenas y crucial para garantizar el nivel de servicio y la capacidad de respuesta a las necesidades de los clientes. Al tener el componente humano, el impacto de una correcta planeación y gestión se vuelve medular y marca la diferencia entre atender una oportunidad o un desastre.

Como primer punto, se muestra el desarrollo de definiciones sobre logística humanitaria, según diversos autores, sus características, sus puntos clave, los actores que intervienen en su cadena de suministro; retos y la importancia de los indicadores. Asimismo, se incluye el uso de los modelos matemáticos para la optimización logística. También se muestra la propuesta de implementación de herramientas de logística esbelta para la administración de la cadena de suministro humanitaria, puntualmente en la captación y almacenamiento de insumos. Con la intención de que el administrador del centro de ayuda humanitaria, realice una gestión óptima en el almacenamiento, conservación y control de insumos, para impactar positivamente en la capacidad de respuesta.

II. OBJETIVO

El objetivo de la presente investigación es conocer detalladamente el concepto de Logística humanitaria, sus características, sus puntos clave, los actores que intervienen en su cadena de suministro, retos y la importancia de los indicadores; tanto en el contexto nacional como en el internacional. Esto, mediante la

identificación de la literatura relacionada con los conceptos de interés. Asimismo, el uso de los modelos matemáticos y herramientas de logística esbelta para la gestión de almacenamiento y distribución. También se persigue, diseñar herramientas de apoyo, tales como un código de prioridades de insumo denominado APILH, layout y un tablero de control; que permita facilitar la administración y el control del almacenamiento de insumos en caso de desastre por Sismo y/o Huracán.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

La palabra logística, tiene distintos orígenes, del griego: logis, que significa cálculo; del latín logística, que es el título que recibía el administrador del ejército del imperio en la Roma antigua; y del francés loger, del verbo habitar o alojar [1]. Acorde con esto, la logística se relaciona con la administración desde sus orígenes.

En la actualidad, una práctica común es relacionar el término de logística con la industria y con la transportación de mercancía, de la misma forma que se relacionaba en algunos años atrás, con un término exclusivo del ejército. Sin embargo, hoy se sabe que, el término es tan amplio, que atraviesa toda la cadena de suministro, y abarca distintos giros; entre los que se incluye, la logística humanitaria.

Este fenómeno se empezó a utilizar mundialmente en 1917, tras la primera guerra mundial. Tal como menciona [2]: “En México se registran los principios de la ayuda humanitaria en 1922, en el estado de Veracruz, tras preocuparse por el hábitat de las clases trabajadoras.”

Fue hasta la segunda guerra mundial, cuando se observó en mayor medida, la importancia e impacto de la logística humanitaria; pues la situación demandaba la implementación de estrategias que permitieran ayudar a mover los insumos e hicieran posible que todos los heridos recibieran ayuda médica [3].

diversas actividades que se deben llevar a cabo, para que estas se realicen de forma correcta, permitiendo el acceso y la distribución de suministros en las áreas afectadas por algún desastre o catástrofe [4]. parte de un plano, a través de un conjunto de puntos discretos [7].

Según menciona la referencia [5], un desastre es, cuando sucede un evento que no estaba planeado en una región específica y el gobierno o entidad a cargo no pueden asegurar a las personas involucradas, o bien, no pueden mantener la estabilidad social, ecológica, económica y política de dicha región. Y una catástrofe, por otro lado, es el conjunto de eventos que afectan a grandes extensiones geográficas, en donde la sociedad no puede responder a todas las necesidades que surgen.

Un ejemplo de esto, es el conjunto de sismos que han ocurrido en la Ciudad de México, en el pasado mes de septiembre de 2018, que afectaron a los diversos estados del centro del país y donde se tuvo que recurrir a la ayuda de los estados hermanos de la nación, así como aceptar ayuda internacional para poder dar respuesta a las necesidades de la población.

Una de las características de la logística humanitaria, es que las tareas que conforman la cadena de suministro deben estar ordenadas y coordinadas, ya que el éxito de dicha cadena depende, principalmente, de seguir al pie de la letra las especificaciones de la planeación realizada.

La referencia [6], menciona que esta cadena se enfoca en problemas relacionados con el almacenamiento y distribución de los insumos que se quieren hacer llegar a las zonas afectadas, por lo que las tareas que se planeen deben estar centradas en ellas, debido al grado de relevancia.

Esto porque, cuando ocurre un desastre, la distribución local se vuelve muy compleja, en especial cuando el tamaño del área impactada es muy grande y han ocurrido muchos daños en la infraestructura. En la mayoría de las ocasiones, los

insumos se llevan desde distintos puntos del exterior del área afectada por carreteras o caminos, y si la infraestructura presenta daños, el acceso se vuelve un problema, impidiendo que los suministros lleguen en buenas condiciones y oportunamente [5].

Por otro lado, el abastecimiento tiene distintas modalidades: una de ellas, es la compra local, en donde se establece una relación de costo-calidad y suele contar con asesoría técnica que asegure que se realizan las compras pertinentes. Asimismo, se despliegan campañas de ayuda nacional e internacional, para captar la mayor cantidad de víveres o insumos y poder atender a la población afectada. En este sentido, se ha detectado que en ocasiones los insumos donados, no son los prioritarios, provocando una saturación de almacenes y un descontrol en su administración [7].

Así que, se debe tomar en cuenta las necesidades más apremiantes y específicas, también considerar que estas pueden variar, dependiendo del contexto social, político, económico y cultural de la zona afectada [8].

Por su parte, la logística humanitaria, se encarga de almacenar, distribuir y colocar en puntos estratégicos a los albergues y almacenes de víveres o insumos; así como la creación de rutas óptimas para la distribución de los insumos y la evacuación de los damnificados. Un elemento clave, es la clasificación de las ciudades que corren mayor riesgo a fin de realizar las rutas de evacuación necesarias para que la población pueda llegar a los albergues [9].

Sin duda, el uso de la modelización optimiza el diseño de rutas y la asignación de recursos. En el campo de la logística humanitaria, ha sido evidente un incremento en la publicación de artículos, especialmente a partir del año 2009, se identificaron 49 países que han contribuido a la redacción de distintos tipos de documentos, posicionándose Estados Unidos como el más productivo y Brasil como el primer lugar, en el caso de Latinoamérica [10].

Las investigaciones se concentran en la ayuda para responder de forma más efectiva a los desastres. A

pesar de esto, hay varias áreas inexploradas en este campo, tales como: la fiabilidad, seguridad y equidad; soluciones integrales en las cadenas de suministro; coordinación entre los actores y la falta de definición de roles precisos; desastres causados por el hombre; modelos generales y construcción de teorías [11].

Otro aspecto medular, es la toma de decisiones, que impacte de forma positiva en la respuesta hacia el desastre. Para el análisis de la información, se puede establecer una dinámica de sistema; que permita simular las operaciones, así como predecir el comportamiento del sistema bajo diferentes situaciones, condiciones de pre-posicionamiento de ayuda y recursos; y de magnitud del desastre. Esta se genera, a través del modelamiento lógico, la cuantificación del modelo y su aplicación. En este caso se observó que, la capacidad del transporte influye directamente para el tiempo de distribución; ya que, si se disminuye la capacidad de transporte, independientemente del nivel de inventario con el que cuente el centro de ayuda, la distribución será más tardada. [12].

En cuanto a la referencia [12], hace una reseña sobre el modelo de pre-posicionamiento, que permite acelerar la respuesta, la flexibilidad y la seguridad contra las amenazas emergentes, independientemente de las limitaciones geográficas. En este modelo se combina la localización y evacuación para poder dar soporte a las emergencias de gran escala y buscan recoger los albergues de todas las instalaciones que existan, para determinar los planes del flujo de transporte que se requerirá y con ello, reducir el tiempo de evacuación total de los albergues.

Los mapas de Kohonen, según comenta [13], ayudan a determinar una relación efectiva entre la zona de mercado y la logística, usando distintos escenarios en donde se varían los valores de la demanda, inventarios, tiempo de espera y cantidad de transportes; para que después, permitan tomar decisiones más fácilmente, pues hacen que las prioridades de las zonas cambien, según se modifiquen las ubicaciones.

Otra herramienta utilizada para la toma de decisiones, es la matriz de dos criterios; que funciona muy adecuadamente para el sistema de control de inventarios. También, la matriz de proceso analítico jerárquico, donde se asigna una medida escalar a los artículos para reflejar su importancia; y el modelo de optimización lineal alternativo de Wan Lung, que clasifica todas las mediciones de los artículos bajo distintos criterios, transformando las mediciones en una base comparable e incorporándoles un peso de contribución de rendimiento [14]

Asimismo, el modelo de distribución de material, de ayuda y transporte de víctimas, consiste en llevar los suministros médicos, establecer refugios, movilizar la mano de obra, ofrecer servicios sanitarios y otros recursos necesarios y relacionados a las comunidades afectadas. Por otro lado, el transporte de víctimas se refiere al envío de los heridos a los centros médicos [12]. Por su parte, el modelo MS (Maximum total successor) calcula para cada actividad el número total de actividades sucesoras y se asignan los recursos a aquella que tenga el mayor número de sucesores, es decir, que prioriza la asignación de recursos [12].

Adicionalmente, la programación bi-nivel permite la minimización de costos de transporte y tiempos de viaje, considerando dos aspectos: una variable líder y un seguidor. El seguidor optimiza su objetivo tomando en cuenta la decisión tomada por el líder. Este modelo se resolvió con CPLEX, con el objetivo de encontrar la configuración óptima de los envíos y la forma de distribución de los productos que son enviados por algún medio de transporte. En donde las variables de decisión son: la cantidad de cargamentos de los productos enviados por el medio de transporte desde el país u organismo de ayuda hacia los centros de acopio; y la cantidad de cargamentos de los productos distribuidos por los medios de transporte desde los centros de acopio hacia las zonas afectadas. Los resultados arrojaron que, se debe contar con un organismo central que coordine todo el proceso para hacer a las sociedades más sostenibles.

Este modelo se puede observar en la siguiente figura:

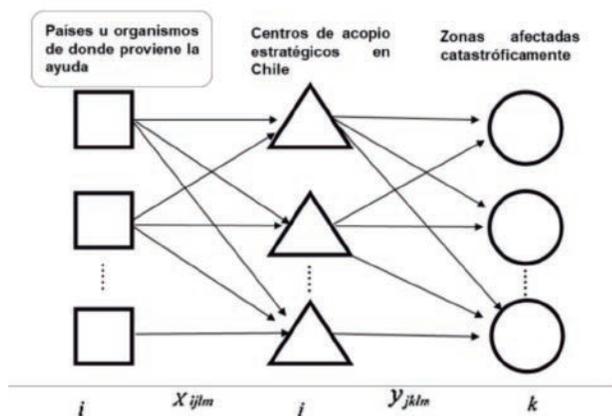


Figura 1. Diagrama de modelo bi-nivel [6]

Se debe considerar que, aun utilizando herramientas tecnológicas de simulación, la atención a desastres no tiene una alta efectividad; esto porque, los escenarios pueden ser muy dinámicos y afectados por variables extrínsecas. La referencia [15], menciona que entre las principales consecuencias de los desastres están: la pérdida de vidas humanas, causadas por el desastre en sí o la deficiente infraestructura; el daño al medio ambiente, dependiendo del desastre y su magnitud; la destrucción de infraestructura y las pérdidas económicas.

Un concepto relevante a tomar en cuenta es, la crisis humanitaria, según [16], puede definirse como: "Cualquier situación en la que exista una excepcional y generalizada amenaza a la vida humana, a la salud o a la subsistencia de la misma, ya sea causada por el hombre o por la naturaleza".

En cuanto a la acción humanitaria, conocida como ayuda o asistencia humanitaria. Diversos autores coinciden en cinco puntos clave: 1. Actividades ejecutadas durante y después de una emergencia. 2. Salvar vidas. 3. Aliviar el sufrimiento humano. 4. Proteger los derechos y dignidad humana y 5. Cubrir las necesidades básicas.

Para el primer punto, se identifican dos etapas: pre-desastre y post-desastre. La primera, consiste en cómo se preparan las organizaciones para hacer frente a una posible amenaza, en esta etapa se

realizan simulacros, se establece una planeación y se incentiva a la gente a adquirir insumos en caso de emergencia. También se otorga información de qué hacer o a dónde ir en caso de necesitar un albergue. Básicamente, es toda la preparación que se hace para reducir el impacto negativo que el desastre pueda generar.

Por otro lado, la etapa del post-desastre, se puede separar en operaciones de mitigación y recuperación; la mitigación se refiere a las acciones que se toman para reducir lo máximo posible el impacto del desastre, de la forma más eficiente posible; y la recuperación, de las acciones que se toman para que la población pueda volver a sus actividades cotidianas [17].

Salvar vidas, es el principal objetivo, por esta razón, las organizaciones humanitarias, se esfuerzan por proporcionar atención médica en las zonas de conflicto, para disminuir el número de muertos, las probabilidades de discapacidad y cualquier complicación que se presente con los heridos y enfermos [18]. Por ello, el tiempo es fundamental, ya que, de la capacidad de respuesta, depende la oportunidad de salvar más vidas, no solo en cuestión de rescate, sino en la entrega de suministros necesarios, ya sean alimenticios o médicos [5].

Los demás puntos dependen, en gran medida, de la ayuda que se preste. En este sentido, la capacitación y entrenamiento del equipo es medular para ofrecer un servicio de calidad, que permita reducir el sufrimiento humano y que puedan proteger los derechos y la dignidad.

La logística humanitaria puede centrarse en el último punto; que es cubrir las necesidades básicas. Dentro del ciclo logístico, se determinan las principales necesidades de acuerdo a los siniestros más propensos de la zona y la forma en que se van a obtener los medios y recursos necesarios para satisfacerlas.

Este ciclo se compone de cinco factores: la adquisición de insumos por compra directa o por

donación; la administración, de costos, la aplicación de prioridades, la preparación y arreglo físico de las instalaciones, en donde se contemplan las condiciones de los almacenes, así como las rutas y los tipos de transporte que se utilizarán, dependiendo de la situación de la región; y la adquisición de inventarios; en donde se regula el flujo del abastecimiento, para asegurarse de que se cuente con los insumos suficientes y se puedan distribuir de forma segura y sencilla [1]. Además, es importante agregar, el estudio oportuno de la cultura de la región y la detección de aliados locales que puedan apoyar en la coordinación de las actividades.

En las acciones humanitarias intervienen distintos actores, y cada vez se van sumando más, como: rescatistas, médicos y otros profesionistas; así como organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, escuelas y universidades, medios de comunicación, fuerzas armadas y públicas en general [3].

La referencia [19], nos dice que, es responsabilidad de cada gobierno brindar apoyo a sus ciudadanos cuando estos se han visto afectados por un desastre. Sin embargo, se debe considerar que no todos los gobiernos cuentan con un fondo o recursos para solventar grandes catástrofes y es ahí cuando la ayuda de organizaciones humanitarias, nacionales e internacionales entran en acción.

Por su parte, la referencia [5], comenta que entre los principales retos en la administración de la cadena de suministro humanitaria están: los problemas en la dirección y control del gobierno, las muertes de las víctimas de los desastres, la cooperación entre las distintas organizaciones que participan en la ayuda, el hecho de que no exista un control de las donaciones que se realicen, los altos niveles de incertidumbre por falta de comunicación, que las prioridades generales y necesidades operativas cambien constantemente y se tenga que responder rápidamente, la falta de coordinación entre los voluntarios, el hecho de que se involucren tantos

voluntarios, el hecho de que se involucren tantos actores, como ya se mencionaron, la intromisión de la prensa y el hecho de que la ayuda post-desastre sea generalmente improvisada.

En las últimas décadas han surgido las Organizaciones de Ayuda Humanitaria y de Cooperación al Desarrollo (ONGD), que tienen como objetivo brindar ayuda en desastres naturales o en conflictos bélicos. Estas organizaciones se encargan de facilitar los medios necesarios para que los gobiernos u otras empresas se puedan capacitar y desarrollar en áreas técnicas y que se vuelvan responsables de su propio bienestar [20].

Estas ONGD's pueden ayudar a solucionar los retos mencionados, al enfocarse en el cambio cultural, comportamiento de la sociedad y de las empresas participantes, teniendo un punto físico de entrega en la zona afectada, regulando la información al comprometerse con los medios de comunicación y dando a conocer las necesidades existentes a los donadores para que se recolecten los materiales que realmente se necesiten; así como diseñando estrategias que gestionen los insumos [5].

En México, no operan este tipo de organizaciones, las más parecidas son las ONG que conforman 90 empresas, sin embargo, no se enfocan la logística humanitaria, una organización filial es Médico sin fronteras. Asimismo, están las Instituciones de Asistencia Privada (IAP), entre las que destacan: la Cruz Roja Mexicana y el Banco de Alimentos, quienes dan asistencia en caso de desastres y se encuentran ubicadas en la mayoría de los estados [21].

Por otro lado, la Gestión del Riesgo se centra en reducir, mitigar y transferir los riesgos de todos los procesos, incluyendo los derechos humanos [22]. Mientras que [23], la definen como: "El enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales." En contraste, el término de Logística de Detección y Respuesta (Sense and Respond Logistics) se describe como un concepto transformacional, enfocado en redes, que permita

realizar operaciones basadas en efectos y que ofrezca un mejor soporte a las decisiones operacionales; también busca proveer un soporte preciso, adaptable y ágil, que posibilite predecir, anticipar y coordinar acciones que provean una ventaja competitiva en todos los niveles [24].

Para aumentar la ventaja competitiva, antes mencionada, la referencia [25], menciona que las organizaciones deben de ajustarse a esquemas o procesos avanzados y bien estructurados, además de contar con un equipo bien capacitado. Por esta razón, cada una de las organizaciones debe de contar con indicadores que permitan comparar su nivel con otros organismos y que estos reflejen su capacidad en los sistemas logísticos que utilizan.

El uso de indicadores, de eficiencia, permite que se pueda observar una mejora continua, pues se utiliza la experiencia pasada para ofrecer una mejor respuesta en futuros desastres [5]. Por ello, es fundamental establecer indicadores para la logística humanitaria, ya que, con ellos se puede contar con parámetros que permiten tanto a las organizaciones como a los habitantes, medir su nivel de desempeño, para poder realizar acciones que permitan la optimización de tareas de una manera más eficiente y eficaz.

Por tanto, la generación de indicadores es una tarea que no se debe ni puede postergar, ya que, es necesario tener datos históricos como la rapidez, calidad, cantidad, capacidad de respuesta y la funcionalidad de los suministros, los cuales deben ser medidos, definidos y actualizados constantemente.

Un indicador clave es la velocidad de respuesta; en otras palabras, que a la persona correcta, se le entregue en el lugar adecuado, el suministro correcto, en el menor tiempo posible [15].

Según la referencia [26], comenta que existen cuatro indicadores reconocidos de manera internacional, para ser aplicados a las organizaciones sin fines de lucro:

Cobertura del llamamiento: se compone de dos métricas: 1) cantidad de artículos prometidos por donantes sobre los solicitados y 2) porcentaje de los artículos entregados (cantidad de artículos entregados por donantes sobre los solicitados).

Tiempo de entrega de donación: mide el tiempo que se necesita para que un artículo sea entregado al país de destino, después de que un donante se ha comprometido a donar. Se toma la media y la mediana para conocer la consistencia de los plazos de entrega.

Eficiencia financiera: comprende tres métricas: dos primeras utilizan dos métodos (una relativa y absoluta) para comparar los precios presupuestados y los precios reales pagados para artículos entregados; la tercera medida incorpora el costo de transporte de la entrega, se expresa como proporción de los costos totales de transporte incurridos sobre el total de los artículos entregados en un punto en el tiempo, el valor debe disminuir con el tiempo al usar medios de transporte menos caro pasado el desastre.

Precisión de la evaluación: mide el cambio del presupuesto final de la operación, a partir del presupuesto original. Esta métrica contextualiza los valores de los otros indicadores.

Por su parte, en México, se tiene un plan en caso de que ocurra un sismo o tsunami, las directrices generales del plan son las siguientes:

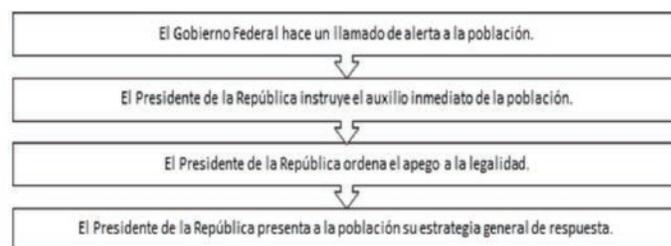


Figura 2a. Directrices generales del plan [27]

Las fases que deben llevarse a cabo son:

Fase	Duración	Prioridades
1	Inicia el día 0 con cualquier reporte de sismo y tsunami de gran magnitud y termina a las 24 horas del día 3	a) Poner a disposición todos los recursos necesarios para salvar vidas, proteger la propiedad y preservar las estructuras sociales, económicas y políticas de las entidades federativas afectadas
		b) Iniciar la evaluación de la situación que incluya la recolección, análisis y distribución de la información entre los centros de manejo de la emergencia.
		c) Iniciar la verificación de las comunicaciones, movilización del personal clave y la activación de dispositivos de alertamiento interno y externo que enlacen a los niveles de gobierno, fuerzas de respuesta y público en general.
		d) Reunir a los grupos de respuesta establecidos en el plan
		e) Iniciar los planes de refugios temporales y centros de atención a la población
		f) Enviar brigadas de apoyo establecidas e instalar el Comité Nacional de Emergencia
2	Inicia el primer minuto del día 4 y termina a las 24 horas del día 15	a) Continuar con el empleo de los recursos
		b) Seguir con la evaluación de la situación
		c) Restablecer las comunicaciones, movilizar todas las fuerzas de respuesta para atender las necesidades de la población y continuar con los alertamientos.
		d) Operar y dar apoyo logístico a los refugios temporales y centros de atención a la población.
		e) Iniciar los planes de movilización establecidos como apoyo a las áreas de logística, refugios temporales y centros de atención a la población
		f) Restablecer los servicios estratégicos

Figura 2b. Directrices generales del plan [27]

El Centro Nacional de Comunicación y Operación de Protección Civil, se creó en México en el año 2012, con la intención de realizar actividades de prevención, auxilio y recuperación, pero no ha funcionado correctamente, debido a la falta de infraestructura, tecnología y personal, que impiden la adecuada comunicación y actuación [28].

Esto no solo afecta a México, también se puede observar en otras partes de Latinoamérica, como Perú, en donde después del sismo de Pisco en el año 2007, se concluyó que la logística humanitaria constituye una dificultad en Latinoamérica, por la falta de reconocimiento, del papel que juega la logística y la carencia de profesionistas y tecnologías que se puedan utilizar para aminorar el impacto de los desastres naturales.[29].

Además, se analiza el caso del sismo de Punitaqui, en Chile de 1997, donde destaca que, el gobierno tuvo deficiencias como la precariedad, ya que los soportes técnicos y económicos imposibilitaron la etapa de prevención para este

tipo de fenómenos, los damnificados, como parte de una etapa de post-desastre. Cabe mencionar que, se consideró relevante, ya que a partir de este tipo de sucesos, se empezó con una planificación de pre- desastre para las zonas rurales vulnerables [30].

Por otra parte, se han utilizado varios enfoques y tecnologías que han permitido mejorar en el área de logística humanitaria, una de ellas es, el enfoque Clúster, el cual permite coordinar a todos los actores, haciendo que cada uno de ellos se encargue de una tarea en específico. Este enfoque es utilizado por la Organización Mundial de la Salud, en conjunto con otras, para dar respuesta a emergencias en todo el mundo [5].

La referencia [5], menciona que UPS, TNT Express, A. P. Moeller Maersk y Agulity se unieron para dar respuesta al Programa Mundial de Alimentos, pues son expertos en la logística, a pesar de no estar enfocadas en la logística humanitaria.

También se puede optar por contratar operadores logísticos con servicios 4PL, es decir, una empresa o persona que se encargue de coordinar todas las tareas mencionadas [31].

Así como, sacar provecho del capital social de cada una de las comunidades y asociaciones, de forma que estén organizados y tengan conocimiento de cómo responder a los desastres.

Un ejemplo de esto es, la de Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja, la cual de forma local, tiene un conjunto de voluntarios preparados para actuar de forma constante [5].

Otro aspecto a considerar es el uso de tecnologías pude favorecer en gran medida a la capacidad de respuesta. Existen diversas páginas que permiten a las personas subir información por mensajes de texto, correos electrónicos o como se disponga por la página que guarda la información en una base de datos, para poder mapear y visualizar la situación. Una de ellas, “Ushahidi” se utilizó durante los terremotos de Haití y Christchurch en 2010 y 2011, respectivamente [5].

Además, en el municipio de Santa Lucía, Colombia se utiliza un modelo exacto planteado en lenguaje de software comercial GAMS utilizado en solver CPLEX para ilustrar la frecuencia de las zonas inundadas y la disponibilidad de los albergues, que son principalmente la infraestructura de escuelas e instituciones públicas, que usualmente tienen capacidad para 1500 personas [32].

El rendimiento de la logística humanitaria, según mencionan Chandes y Paché [29], depende del sitio en el que ocurra el desastre, de la cantidad y concentración de personas afectadas de alguna manera, de la calidad de la infraestructura, los vehículos disponibles, entre otros factores. Con base en esto, se puede decir que cada desastre se debería enfrentar de forma diferente, ya que son diversas las condiciones que intervienen y los desastres no suelen afectar a una población de la misma manera. Sin embargo, se puede contar con un manual de operaciones logísticas general, que permita estandarizar, al menos, las fases de intervención que contienen variables endógenas, o sea, las que se pueden pronosticar y ajustar, dependiendo de las variables exógenas; es decir, las que no se pueden predecir. Con ello, se puede mejorar la administración de la cadena de suministro humanitaria e impactar de manera positiva en el control del desastre que se presente.

Un aspecto muy importante a resaltar es, que México cuenta con una insuficiente cultura preventiva para este tipo de fenómenos, debido a que tiene un gran número de vulnerabilidades debido a su ubicación geográfica, que lo convierten en un área propensa a actividad sísmica e hidrometeorológica [33].

Por ello, la intención de la presente investigación, es conocer detalladamente los elementos clave de logística humanitaria y sus áreas de oportunidad. Con base en ello, proponer el uso de herramientas de logística lean o esbelta como las 5S y el mapeo de la cadena, como una alternativa para mejorar la administración y almacenamiento de los insumos, con la intención de que cada centro de ayuda humanitaria, albergue o estación de resguardo de

insumos, aporte valor al flujo de la distribución de los mismos y lleguen de manera íntegra a la población inmersa en la situación de desastre.

Las herramientas de la logística esbelta aplicadas para la planeación, administración y distribución de insumos, resultan muy pertinentes, ya que están enfocadas en el control de los recursos, en cuanto a funcionalidad, prioridad, vida útil, tiempo de conservación, entre otras.

La raíz de la logística esbelta está en la manufactura esbelta. La cual es una filosofía de producción que tuvo sus orígenes en Japón con el sistema de producción Toyota, cuyos objetivos principales son la eliminación del desperdicio y la creación de valor [34].

De acuerdo a la referencia [34], entre las ventajas de implementar el pensamiento esbelto están: la reducción en los tiempos de entrega, es decir mejora en el servicio al cliente; la optimización de los niveles de inventario, la eliminación o reducción de desperdicios, reducción de costos, de mermas y retrabajos. Para la aplicación del pensamiento esbelto, es necesario conocer a detalle las actividades de transformación y las de flujo; con la intención de perfilar las que agregan valor de las que no y enfocarse sobre la eliminación de estas últimas, ya que se consideran desperdicios.

Se tienen identificados siete desperdicios que afectan gravemente la operación y flujo de la cadena de suministro: Los movimientos innecesarios, los tiempos de espera, el exceso de inventario, la distribución física no aprovechada, la transportación, sobreproducción, duplicidad de las tareas y métodos ineficientes de trabajo y el reproceso. Algunos autores incluyen como desperdicio la no proactividad de los trabajadores, ya que la falta de esta, provoca monotonía en los procesos y frena la mejora continua.

Por su parte, la logística esbelta, es la dimensión logística de la manufactura esbelta, la cual provee un nuevo marco para el pensamiento

acerca de la cadena de suministro, siendo su principal enfoque, la creación de valor [34].

Una de las herramientas que practica el pensamiento esbelto y es ampliamente aplicada para el control logístico de los almacenes, es la metodología 5S's (Seiri, Seiton, Seison Seiketsu, Shitsuke, en Japonés), que constituyen una metodología para establecer y mantener el orden, la limpieza y el hábito.

Las primeras tres fases, separan lo necesario de lo innecesario, ordenar y limpiar, son del tipo operativas, la cuarta fase se encarga de la estandarización, en esta fase se emplean controles visuales y procedimientos, con la intención de mantener las mejoras alcanzadas. La quinta fase se encarga de disciplina, es decir fomenta la proactividad en las mejoras realizadas, ya que se parte de que siempre es posible mejorar. Si bien es cierto, esta herramienta se ha relacionado al hecho de mantener limpio y ordenado un espacio, pero en realidad, va más allá, es una filosofía de trabajo.

Tal como se mencionó una de las áreas de oportunidad en la logística humanitaria, es la falta de planeación y control, en la administración y distribución de insumos o víveres. Por lo que, con esta herramienta se puede realizar una planeación efectiva de los insumos, a fin de saber qué se necesita, cuánto, dónde y cuándo. Asimismo, facilita la administración y flujo de las entregas, ya que se conoce la cantidad o stock de cada insumo, y se puede integrar una clasificación secundaria donde se establezca la prioridad por zona, así como controlar los insumos con mayor prioridad por su uso, tales como alimentos y medicamentos; por sus precios; alto, bajo, medio; por su vida de anaquel; alta, baja, media, etc.

En la primera "S" se realiza un listado de los tipos y cantidad de insumos que se necesitarán para atender la situación de desastre. En esta fase se recomienda establecer categorías como: alimenticios, ropa, medicamento, material de limpieza, insumos varios, entre otros.

En la segunda "S", se deberá clasificar los insumos, tanto como control visual, como a nivel

sistema, se recomienda el uso de etiquetas de color para facilitar la identificación de los mismos. Es importante comentar que en situación de crisis, el orden es un factor clave para saber qué se tiene y cuánto se tiene de cada insumo. Por lo que, se recomienda la asignación de un responsable por categoría y un responsable del almacén.

Una técnica que facilita la administración de los insumos es la categorización ABC. [35] describe que la clasificación ABC, ayuda a relacionar el valor de los artículos, es decir entre más valor tengan mayor deberá ser el control. Los porcentajes se definen de acuerdo a las políticas propias de la empresa. Sin embargo, suele utilizarse la regla de 80-20.

A: Artículos que representan el 80% del total del valor del inventario. B: Artículos que representan el 15% del total del valor del inventario. C: Artículos que representan el 5% del total del valor del inventario.

Dentro del contexto de logística humanitaria, conviene integrar el factor prioridad de uso por su funcionalidad, su vida de anaquel, volumen que ocupa dentro del almacén, precio y flujo.

Continuando con la tercera "S", aquí se deberá garantizar un espacio limpio y ordenado. En esta fase se establecen los programas de limpieza, se identifican los insumos y utensilios necesarios, así como la asignación de roles.

En la cuarta "S", se definen los procedimientos, instructivos y formatos que servirán para estandarizar el mantenimiento del almacén. Es importante establecer indicadores de control para verificar el cumplimiento en todo momento.

En la quinta "S", se definen las auditorías de revisión, se debe elaborar un programa y roles, con la intención de sostener lo logrado.

III. METODOLOGÍA

Se realizó una investigación cualitativa de tipo documental y descriptiva. Ya que se revisaron 50

marcos teóricos para la obtención de información del tema investigado. Primeramente, se reunió el material bibliográfico, se identificaron los conceptos de interés, se realizó un análisis descriptivo con base en la evaluación del material recabado y se realizó un cuadro de doble entrada para facilitar su comprensión. Posteriormente, se detectaron las áreas de oportunidad, sobre todo en la administración de insumos, concretamente en el almacenamiento. Con base en ello, se elaboró una propuesta para la implementación de herramientas de logística esbelta, y se diseñó un código de control de prioridades (APILH), con la intención de mejorar la operación logística del almacén de insumos o víveres en caso de desastre, como huracanes y sismos.

IV. RESULTADOS

Primeramente, se muestra el cuadro comparativo de los factores o elementos clave en la Logística humanitaria y áreas de oportunidad. En la Tabla 1, se puede notar que diversos autores coinciden en los factores clave: el tiempo de respuesta, la administración de los centros logísticos, el control de inventarios, la distribución de suministros, los vehículos disponibles y el personal capacitado.

En cuanto a las áreas de oportunidad se encuentran: la ubicación de los centros de almacenamiento, la coordinación logística entre todos los actores, el uso eficiente de los recursos, la agilización en la cadena de suministro y la falta de modelos de localización para la repartición oportuna de los insumos y de la ayuda.

Posteriormente, se muestra el uso de la modelización para la entrega de ayuda a los damnificados, resalta el uso de la dinámica de sistemas, como técnica de simulación para la asignación de los recursos. La mayoría de los modelos se basan en la optimización del transporte, insumos y tiempos, para dar respuesta principalmente a las etapas de preparación y respuesta, es importante señalar que al ser un tema relativamente nuevo para la investigación, todavía hay una gran área por explorar. Por

ejemplo, es necesario desarrollar más modelos y sensibilizar a la población, especialmente para la evacuación en caso de desastre, esto porque aunque se ubican claramente los albergues, al menos en México, mucha gente no tiene la cultura de acudir a ellos. También faltan más modelos para la recuperación de un desastre. Ya que una vez que pasa, se baja la intensidad de trabajo en la recuperación del daño ocasionado y los recursos se escasean o bien se presta a malos manejos.

Tabla 1. Cuadro comparativo de términos de Logística Humanitaria

Autor	Concepto	Factores clave	Etapas	Áreas de oportunidad
Cornejo Sánchez, Vargas Florez, Aragón Casas, & Serpa Oshiro [17]	Procesos y sistemas involucrados en movilizar personas, recursos, habilidades y conocimiento para ayudar a las poblaciones damnificadas por causa de desastres naturales y emergencias complejas.	Distancia, tiempo de respuesta, bienes y población damnificada	Pre-desastre y Post-desastre.	Adecuada ubicación de los centros de almacenamiento, así como la distribución.
Viera, Tansini, & Moscatelli [15]	Disciplina que se ocupa de la gestión de los desastres con el objetivo de predecirlos, mitigarlos y/o para servir de guía en la posterior recuperación.	Centros logísticos, puntos de distribución, refugios, inventarios, remplazo y mantenimiento de vehículos, distribución de suministros, equipos y personal.	Prevención, Mitigación, reparación, Respuesta, Recuperación y Desarrollo.	Coordinación entre varias organizaciones y organismos que intervienen en la respuesta.
Salazar, Cavazos, & Vargas [23]	Cadenas de suministro sin fines de lucro que coordinan la asistencia en forma de comida, agua, medicina, refugio y otros suministros para las personas que se encuentran en la condición de inseguridad alimentaria.	Suministros, localización en crisis, inventario y distribución.	Construcción de la red global, Caracterización de actores, Construcción de la red detallada y Diseño y análisis de escenarios.	Uso eficiente de recursos escasos y la agilización de la cadena de suministro en condiciones de emergencia y alto estrés.
González Lua [16]	Sistema en el que la interrelación de sus partes facilita la obtención de un objetivo de manera más rápida y ordenada mediante la utilización optimizada de los recursos.	Centros de operación, infraestructuras locales, almacenes temporales (tamaño y ubicación), vehículos, equipos de comunicación e informática, equipos de energía e iluminación y equipos para el desarrollo de las operaciones en el terreno.	Abastecimiento, Recepción, Almacenamiento, Transporte y Distribución.	Utilizar modelos de localización para reducir distancia, tiempos o costos, optimizando la ubicación de diferentes servicios.

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se propone el uso de las siguientes herramientas de logística esbelta, que pueden impactar positivamente en la administración de los centros de ayuda humanitaria en situación de desastre.

Como primera herramienta se recomienda el uso del mapeo de primer nivel, capaz de brindar una perspectiva general del proceso. En situación de desastre, el tiempo es crucial, por ello se propone un diagrama de fácil construcción y comprensión. Para que sea funcional, se recomienda realizar un manual descriptivo de cada fase, con la intención de brindar capacitación oportuna a los responsables de operar el centro de ayuda.

En el primer apartado se describirán los proveedores de los insumos, de sistemas, de mano de obra, aunque suelen ser voluntarios y personal de instituciones gubernamentales, de maquinaria y equipo, así como sistemas y el registro de indicadores de stock, de producto rechazado y de merma.

En los elementos de entrada, se detallarán las entradas de cada insumo, con la intención de armar las despensas de ayuda y de otros suministros como ropa y medicamento.

En el procesamiento, se detallará el proceso de recepción, acomodo y clasificación de insumos, así como el proceso de armado de despensas y el protocolo de cuidado y mantenimiento de insumos y el área.

En las salidas se detallará el número de despensas armadas, los paquetes de insumos a granel, indicadores de eficiencia, registro de mermas e indicadores de satisfacción del cliente.

En los requerimientos se detallarán los indicadores de la rapidez en el armado de paquetes y despensas, las zonas de alcance que cubre el almacén, así como el volumen de despensas y suministros necesarios para atenderlas.

Como se observa en la Figura 3, se colocarán los requerimientos o especificaciones de cada producto o despensa armada, con la intención de propiciar la mejora continua y detectar los insumos necesarios no contemplados.

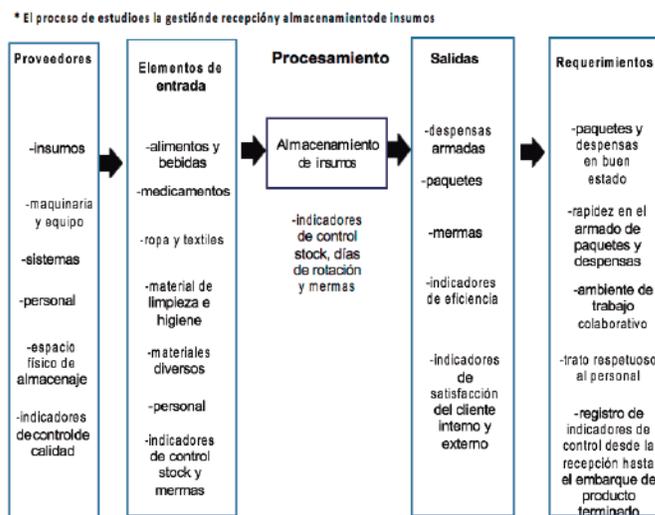


Figura 3. Propuesta de la cadena de valor logística humanitaria, basada en [36]

Una vez definido el mapeo de primer nivel se recomienda realizar una lista de materiales. Para ello, se propone un código innovador que permita enlazar la prioridad por necesidad de uso por la necesidad de la población afectada, el volumen que ocupa el insumo en el almacén, esto relacionado con la capacidad de almacenaje y los niveles de disponibilidad del insumo en el almacén, es decir el stock. Con la intención de garantizar que el almacén siempre dispondrá del insumo correcto, para la necesidad correcta, en las cantidades correctas y en el momento correcto. Esto por la importancia de actuar de manera oportuna en una catástrofe natural y garantizar una correcta administración de la cadena de suministro humanitaria. (Ver Tabla 2).

Por su parte, se propone como herramienta de apoyo para la implementación de las 5'S, el diseño de un lay out estandarizado para los centros logísticos de ayuda humanitaria, con la intención de facilitar la clasificación de las áreas de almacenaje (segunda S). Se puede observar en la figura 4, que las áreas que ocupan el mayor porcentaje son la B y D, es decir alimentos y medicamentos. Cabe mencionar que la intención es mostrar una opción para mejorar la clasificación y el orden, independientemente del área disponible para almacenar.

Tabla 2. Lista de materiales con código

Familia	Tipo de insumo	Código	Descripción
A	Ropa y textiles*	A11	Mujeres
		A12	Hombres
		A13	Adolescentes
		A131	Adolescentes mujeres
		A132	Adolescentes hombres
		A14	Jóvenes
		A141	Jóvenes mujeres
		A142	Jóvenes hombres
		A15	Niños
		A151	Niñas mujeres
		A152	Niños hombres
		A16	Bebés
		A2	Cobijas
		B	Alimentos y bebidas
B2	Agua embotellada		
B3	Galletas y pan		
B4	Alimento bajo en calorías		
B5	Jugos y néctares		
B6	Polvos		
B7	Alimentos para mascota		
B71	Perro		
B72	Gato		
C	Artículos de limpieza	C1	Líquidos
		C2	Polvos
		C3	Escoba, trapeador y recogedor
		C4	Bolsas para basura
		B5	Guantes
		B6	Cubetas
		B7	Higiene personal
D	Medicamento	D1	Antibióticos
		D2	Antigripales
		D3	Analgésicos
		D4	Material de curación
E	Materiales para mover escombros	E1	Materiales generales para mover escombros
F	Varios	F1	Lonas
		F2	Otros
		F21	Desechables para comer
		F22	Pañales

Por su parte, se propone como herramienta de apoyo para la implementación de las 5'S, el diseño de un lay out estandarizado para los centros logísticos de ayuda humanitaria, con la intención de facilitar la clasificación de las áreas de almacenaje (segunda S). Se puede observar en la

Figura 4, que las áreas que ocupan el mayor porcentaje son la B y D, es decir alimentos y medicamentos. Cabe mencionar que la intención es mostrar una opción para mejorar la clasificación y el orden, independientemente del área disponible para almacenar.

Debido a que se pueden recibir donaciones del tipo nacional e Internacional, se recomienda colocar una sección para una inspección de los insumos, con la intención de dar entrada a los insumos en buen estado y funcionales, y evitar introducir desperdicios o insumos que no se encuentren en el listado de prioridades.

Algo crucial, que actualmente no se lleva en los centros de ayuda humanitaria, es el uso de indicadores de control detallada. Por ello, se propone un tablero de control, mediante una hoja de cálculo en un software convencional como Excel, para llevar el control de los insumos y conocer oportunamente los niveles de stock, área de almacenaje e índice de prioridad de insumo en la logística humanitaria (APILH). Donde se podrá visualizar en tiempo real sobre la necesidad de insumos: el código blanco, le indicará al responsable que no es necesario el insumo, amarillo que es prioridad baja, verde que es prioridad moderada y roja como prioridad alta. Con base en ello, orientará a los donantes sobre lo que se necesita donar.

La innovación es sinónimo de esta investigación, por ello se contempla en una segunda fase, incluir una aplicación móvil, para que los responsables de la administración del almacén puedan demostrar la transparencia de las donaciones y sepan en tiempo real los indicadores.

Asimismo, colocar frases motivadoras, fotografías de los donantes y operación de la brigada. En una tercera fase, se contempla la elaboración de rutas de distribución y un manual de operaciones que integre todas las fases.

Como se muestra en la Figura 4, el almacén está dividido por las siguientes áreas:

- El área A, pertenece a ropa y textiles
- El área B, pertenece a alimentos
- El área C, pertenece a artículos de limpieza
- El área D, pertenece a medicamentos
- El área E, pertenece a materiales para mover escombros
- El área F, pertenece a varios

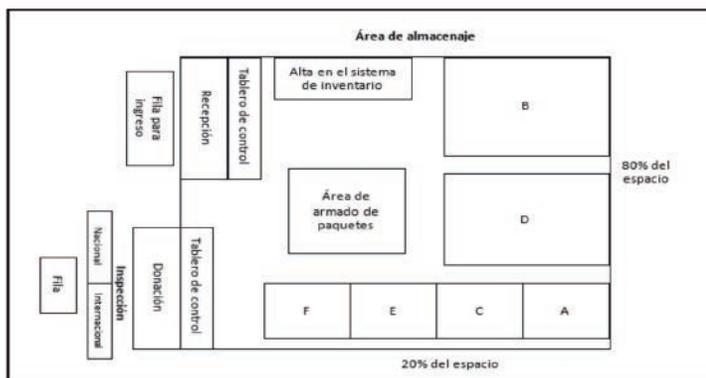


Figura 4. Lay out para centros de ayuda humanitaria
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe el código empleado para calificar el grado de prioridad del insumo. Análisis de prioridad de insumo en la logística humanitaria (APILH). Como se observa en la Tabla 3, entre más prioritario sea el insumo, mayor será la calificación que se deberá colocar en la hoja de cálculo Excel, o bien cuando se cuente con el desarrollo del software se podrá hacer la plantilla adecuada que a su vez alimentará a la aplicación móvil.

Tabla 3. Código de prioridad por necesidad de uso

Color (administración visual)	Prioridad	Calificación cuantitativa
Blanco	No necesaria	0
Amarillo	Baja	1-4
Verde	Moderada	5-7
Rojo	Alta	8-10

Fuente: Elaboración propia

El índice de prioridad más alto, será el valor 100000, lo que significa: que es muy prioritario, por la necesidad del uso, ocupa poco volumen de almacenaje y no hay stock, el tiempo de vida es bajo y el valor de insumo es alto. Por lo que será el insumo que el responsable del almacén deberá solicitar a los donantes, o bien conseguirlo por compra. Cada vez que se realice inspección del

inventario, el responsable del almacén tendrá la situación actual de los índices de prioridad, por la fórmula anteriormente descrita, es decir los códigos con valor más alto y marcará con los colores correspondientes para que sea más sencilla la identificación. En la siguiente tabla se muestra el uso del código propuesto:

Tabla 4. Tablero de control

Fecha de ingreso	Artículo	Prioridad por necesidad de uso	Prioridad por volumen de almacenaje	Prioridad disponibilidad del almacén	Tiempo de vida útil	Valor del insumo (Estimado)	Índice de prioridad "Necesidad" volumen de almacenaje "disponibilidad del almacén" tiempo de vida útil" valor del insumo	Área de almacenaje	Cantidad que se necesita	Código de rastreo (índice de prioridad-código de producto-cantidad)
12 de agosto	Latas de atún	10	10	10	1	1	$=10*10*10*1*1=1000$	B	100	1000B1-100

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra el código propuesto para los niveles de stock, como se aprecia, si no hay niveles de stock, se deberá colocar el valor 10, si hay alta cantidad del insumo, entonces se deberá colocar el valor 1.

Tabla 5. Código de prioridad por niveles de stock

Código de disponibilidad en el almacén	Prioridad Calificación cuantitativa
Nulo	10
Bajo	8
Medio	5
Alto	1

Fuente: Elaboración propia

Un aspecto que se debe considerar en la prioridad del alimento (B) y medicamento (D) es la vida útil, donde los insumos que cuenten con mayor a 1 año de vida útil, se deberá asignar el valor 1.

Tabla 6. Código de prioridad por vida útil

Código de prioridad de tiempo de vida útil del alimento y medicamento	Prioridad Calificación cuantitativa
Menor a 3 meses	8-10
Mayor a 3 meses y menor a 6 meses	5-7
Mayor a 6 meses y menor a 1 año	2-4
Mayor a 1 año	1

Fuente: Elaboración propia

Para los insumos categorizados de la A a la F, se deberá considerar el valor del insumo, donde los insumos que sean más costosos, se deberá asignar el valor 10.

Tabla 7. Código de prioridad de valor de insumo

Código de prioridad de valor de insumo	Prioridad Calificación cuantitativa
Alto	8-10
Medio	5-7
Bajo	1-4

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la prioridad por volumen que ocupa el insumo al ser almacenado, se colocará la siguiente codificación, para los insumos categorizados desde A hasta F.

Tabla 8. Código de prioridad de valor de insumo

Código de prioridad por volumen que ocupa el insumo en el almacén	Prioridad Calificación cuantitativa
Alto	1-4
Medio	5-7
Bajo	8-10

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que las herramientas de apoyo propuestas para la implementación de 5'S, están registradas como derecho de autor y están en espera de ser transferidas en el centro de ayuda humanitaria de la red de Banco de Alimentos Mazatlán. Si bien es cierto, no está registrado como centro de atención a desastres, pero a nivel nacional participa en la gestión de distribución de víveres, así que se espera en los próximos meses del año en curso validar el tablero de control, diseño de lay out y concluir el manual de operaciones.

En la Figura 4, se muestra la firma de convenio de colaboración entre la Unidad Académica de Ing. en Logística y Transporte, de la Universidad Politécnica de Sinaloa y el Banco de alimentos de Mazatlán, así como los derechos de autor otorgado el mes de diciembre del año 2018.



Figura 4. Firma de convenio BAM-UPSIN [37]

En la Figura 5, se puede apreciar el derecho de autor otorgado.



Figura 5. Derechos de autor, [37]

V. CONCLUSIONES

La logística humanitaria se encarga de administrar la cadena de suministro de los

insumos y servicios necesarios para atender a la población antes, durante y después de que ocurra un desastre. Al ser una disciplina en desarrollo, brinda la oportunidad de profundizar investigaciones de alto valor para nuestro país y para el mundo, pues su razón de ser, es apoyar a las personas que han sido afectadas por un desastre.

Es indispensable para cualquier nación, contar con un sistema funcional, que ayude a la sociedad a superar los desastres, sean originados por causas naturales o por el hombre. Pero es todavía, más importante; desarrollar una cultura de prevención. Por su parte, las organizaciones gubernamentales no han sido capaces de responder eficientemente ante las crisis presentadas en México. Por lo que se debe fomentar la creación de organizaciones no lucrativas, que puedan dar respuesta a esta necesidad, donde se integren voluntarios y profesionales especializados en las distintas fases de la crisis. Sobre todo, en Ingeniería en logística y transporte y en psicología. Esto porque después de un desastre, el escenario social está contaminado por variables incontrolables como la depresión y la violencia, tanto en la población afectada como en red de ayuda.

Asimismo, se observó que hay poca información acerca de los indicadores de control de las operaciones logísticas inmersas; en general, se carece de metas cuantitativas. Para esto, se propone la creación de indicadores que permitan medir la capacidad de respuesta que tienen las organizaciones que se encargan de proporcionar un servicio de logística humanitaria, el desempeño de los actores que participan en la cadena, la cantidad de insumos recolectados, el número de voluntarios, así como la utilización de modelos de distribución, ya sea para los envíos de acopios o proponer los puntos más ideales para la creación y ubicación de albergues.

Como trabajo futuro se tiene realizar el piloto del tablero de control en algunas instituciones que han estado involucradas en situación de desastre, con la intención de contar con la validación de las propuestas, sobre el uso de herramientas lean.

REFERENCIAS

- [1] Ballesteros Silva, P. P., & Ballesteros Riveros, D. P. (2015). ¿Cómo los empresarios aplican la logística militar en sus organizaciones? *Scientia Et Technica*, XI(28), 139-144. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911707025>
- [2] Audefroy, J. (Diciembre de 2009). Vivienda y ayuda humanitaria. Los antecedentes de las acciones frente a los desastres. *Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos México*(56), 76-87. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423839512006>
- [3] Fernández Alles, J. J., & Puertas Cristóbal, E. (2010). El papel de las fuerzas armadas en la acción humanitaria. *Barataria. Revista Castellano-Manchega*(11), 121-138. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=322127621007>
- [4] Luján González, V. A. (Noviembre de 2015). Logística humanitaria: distribución de recursos en situaciones dedesastres hidrometeorológicos en nuevo león. *Universidad Autónoma de Nuevo León*, 25-28. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/9576/1/Tesis%20maestr%C3%ADa%20Victoria%20Alejandra%20Luj%C3%A1n%20Gonz%C3%A1lez.pdf>
- [5] Gradilla Hernández, L. A. (2015). Consideraciones para la gestión de la logística humanitaria postdesastre. *Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro.* Obtenido de http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt4_33.pdf
- [6] González Rodríguez, E. L. (Octubre de 2014). Un modelo de optimización bi-nivel para enviar, recibir y distribuir ayuda en especie después de haber ocurrido un desastre natural. *Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Nuevo León.* 8-13. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/4842/1/1080230785.pdf>
- [7] Ayala Vasquez, M. (Julio de 2014). Fortalecimiento del proceso logístico en la cadena de abastecimiento de la atención de incidentes y apoyo humanitario. *Facultad de Ingeniería .* Obtenido de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13345/2/Entrega%20Final%20Proyecto%20Articulo%20Logistico%202014.pdf>
- [8] Muñoz, D. R. (Enero-Junio de 2015). Ingeniería Humanitaria; una nueva manera de abordar la educación en Ingeniería. *El Hombre y la Máquina*(46), 5-6. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47843368001>
- [9] García del Soto, A., & Cherfas, L. (Enero-Junio de 2006). Representaciones de la acción humanitaria y del trabajo de

- desarrollo. *Revista de Antropología y Arqueología*(2), 67-90. Obtenido de *Revista de Antropología y Arqueología*: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81400206>
- [10] Ceballos Parra, P. J. (2015). Aproximación al Estado de Investigación en Logística Humanitaria: Un enfoque Bibliométrico. Tesis, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Departamento de Ingeniería Industrial, Manizales. Obtenido de bdigital.unal.edu.co/52171/1/1053800788.2015.pdf
- [11] Ceballos Parra, P. J., Sarache, W. A., & Gómez, D. M. (Febrero de 2018). Un Análisis Bibliométrico de las Tendencias en Logística Humanitaria. *Información Tecnológica*, 29(1), 91-104. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642018000100091&lng=pt&nrm=i&tlng=es
- [12] Romero Laiton, C. A. (2017). Determinación del nivel de inventario de los recursos críticos a nivel agregado, en los nodos del sistema logístico humanitario colombiano, necesarios para atender un desastre de origen natural y de ocurrencia súbita. Tesis de maestría, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ingeniería Industrial, Bogotá. Obtenido de repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6314
- [13] Gámez Albán, H. M., Orejuela Cabrera, J. P., Salas Achipiz, Ó. A., & Bravo Bastidas, J. J. (Enero-Junio de 2016). Aplicación de mapas de Kohonen para la priorización de zonas de mercado: Una aproximación práctica. *Revista EIA*, 13, 157-169. Obtenido de www.redalyc.org/articulo.oa?id=149247787012
- [14] Díaz Pacheco, R. A., Acosta Rios, M. F., & Bravo Bastidas, J. J. (2015). Clasificación ABC multicriterio para medicamentos en una clínica de la ciudad de Cali: aplicación de técnicas. Artículo de reflexión, Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ciencias Básicas, Cali, Colombia. Obtenido de revistas.usc.edu.co/index.php/Ingenium/article/download/591/482
- [15] Viera, O., Tansini, L., & Moscatelli, S. (2 de Agosto de 2012). Logística humanitaria y su aplicación en Uruguay. Recuperado el 25 de Enero de 2017, de Universidad de la República Oriental del Uruguay: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4183132.pdf>
- [16] González Lua, E. (2015). Localización de un almacén de abastecimiento para la atención de desastres en el estado de Guerrero. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, 4-19. México. Obtenido de ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/7688/1/Tesis.pdf
- [17] Cornejo Sánchez, C., Vargas Florez, J., Aragón Casas, L., & Serpa Oshiro, V. (14-16 de Agosto de 2013). Localización de almacenes y distribución de ayuda humanitaria para atención de damnificados en caso de desastre natural. Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Obtenido de <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP191.pdf>
- [18] Castellanos Ramírez, J. C. (2016). Organizaciones de asistencia humanitaria en salud y su protección. *Revista Colombiana de Anestesiología*, 44(1), 5-7. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195143559002>
- [19] Del Salto Verzosa, M. P. (Enero de 2015). Recomendaciones para la logística de envío de asistencia humanitaria internacional. Universidad Internacional del Ecuador, 21-33. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1641/1/T-UIDE-130.pdf>
- [20] Izquieta Etulan, J. L., & Callejo González, J. J. (2004). Las organizaciones de ayuda humanitaria y de cooperación al desarrollo. Cultura e identidad de las ONGD. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*(105), 195-216. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99717671006>
- [21] Directorio Empresarial de los Ejecutivos Líderes de México. (2017). Directorio de ONGs en México. Obtenido de Conexión Ejecutiva: http://conexionejecutiva.com/Gobierno/ONGs_Categoria16.aspx
- [22] Ocampo Vélez, P. C. (Mayo-Agosto de 2009). Gerencia logística y global. *Revista Escuela de Administración de Negocios*(66), 113-136. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20620269006>
- [23] Salazar, F., Cavazos, J., & Vargas, G. (18 de Diciembre de 2014). Logística Humanitaria: Un enfoque del Suministro desde las Cadenas Agroalimentarias. *Información Tecnológica*(25), 43-50. doi:10.4067/S0718-07642014000400007
- [24] Kalenatic, D., Rueda Velasco, F. J., López Bello, C. A., & González Rodríguez, L. J. (Enero-Marzo de 2012). Potencial uso de la logística focalizada en sistemas logísticos de atención de desastres. Un análisis conceptual. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(62), 44-54. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43025115005>
- [25] Ballesteros Riveros, D. P., & Ballesteros Silva, P. P. (Mayo de 2004). La logística competitiva y la administración de la cadena de suministros. *Scientia Et Technica*, X(24), 201-206. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84912053030>

[26] Mori Villafranqui, R., Ramos Menendez, K. V., & Rivas Oneglio, M. C. (2014). Universidad del pacifico. Recuperado el 27 de Julio de 2018, de Logística humanitaria: optimización de red de distribución de bienes de ayuda humanitaria en el proceso de respuesta ante huaicos en Chosica: http://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/1973/Rebeca_Tesis_maestria_2017.pdf?sequence=1

Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CiLOG2016)-memorias.

[36] Escalante. (2013). Seis Sigma, metodología y técnicas (Segunda ed.). México: Limusa.

[27] Gurza Jaidar, L. (09 de 2011). Estrategia de preparación y respuesta de la Administración Pública Federal, ante un sismo y tsunami de gran magnitud "Plan sismo". México: Distribución Nacional e Internacional: Coordinación General de Protección Civil.

[28] López Levi, L., & Toscana Aparicio, A. (2016). Vulnerabilidad en Tlatelolco a tres décadas de los simos de 1985. Política y Cultura(45), 125-152. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26745428007>

[29] Chandes, J., & Paché, G. (Diciembre de 2009). Pensar la acción colectiva en el contexto de la logística humanitaria: las lecciones del sismo PISCO. Journal of Economic, Finance and Administrative Science, 14(27), 47-61. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360733607003>

[30] Tapia Zarricueta, R. (Mayo de 2003). Vivienda y Emergencia ante desastres naturales producidos por Sismos. Sismo de 1997 en la Punitaqui, Chile. Revista INVI, 18(47), 91-105. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25804709>

[31] Berrozpe Martínez, A. (2012). La cadena de valor de los operadores logísticos en España: un análisis empírico. Lulu. Obtenido de https://books.google.com.mx/books?id=7Da-AwAAQBAJ&printsec=copyright&hl=es&source=gbs_pub_inf_o_r#v=onepage&q&f=false

[32] Reyes Rubiano, L. S. (2015). Localización de instalaciones y ruteo de personal especializado en logística humanitaria pot-desastre - Caso inundaciones. Magíster en Gerencia de Operaciones, Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas, Chía, Colombia. Obtenido de tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2017/166464.pdf

[33] Cisneros, R. (21 de Junio de 2017). México tiene una insuficiente cultura preventiva de desastres naturales. Expansión. Recuperado el 4 de Junio de 2018, de <https://expansion.mx/nacional/2017/06/21/mexico-tiene-una-insuficiente-cultura-preventiva-de-desastres-naturales>

[34] Mantilla C., O., & Sánchez G., J. (2012). Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando lean six sigma. Estudios gerenciales, 28(124), 23-43.

[35] Mendieta Robles, C., Gómez Gallardo, W., & Segura Pérez, E. (2016). Clasificación de productos empleando un modelo Holt-Winters en una empresa del sector retail.

Evaluation of New Objective Functions to Simulate Supply Chain Performance Under Disruptions with Cellular Automata

Raquel Martínez Martínez
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Universidad
Autónoma de Nuevo León
San Nicolás de los Garza, México
raquel.martinezmr@uanl.edu.mx

Giovanni Lizárraga Lizárraga
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Universidad
Autónoma de Nuevo León
San Nicolás de los Garza, México
giovanni.lizarragalz@uanl.edu.mx

Abstract— In supply chains an important research topic is interruptions; As a result, every year the number of articles related to this topic has grown. An orientation to measure the effects caused by interruptions is to simulate the behavior of the supply chain with different computer algorithms. Recently, the performance of some decision rules to recover after an interruption has been evaluated using a simulation with cellular automata and a measure of performance of the supply chain state. In this work, a performance measure with three objective functions is proposed and tested to assess the behavior of the supply chain. The new performance measures are designed to take financial aspects into account when simulating the performance of a real-world supply chain. In addition, the supply chain configuration is optimized using a genetic algorithm to find the best strategies to recover from a disruption.

Keywords—component, Performance, disruptions, supply chain, cellular automata.

I. INTRODUCTION

The vulnerability of the supply chain is a growing area of research due to the high impact that an interruption may have in the economy of a region and even a country. Several kinds of disasters can affect the transit of products, for example, natural disasters, terrorism, “hacking,” diseases, robbery, etc. The White House released a document named “The National Strategy for Global Supply Chain Security” [1], where it is remarked that the effects of disruptions in the supply chain must be studied and comprehended.

An increasing number of books and articles are written every year related to the security of the supply chain, for example, [2],[3][4]. One approach for understanding the behavior of the supply chain is to simulate its performance using different models. An interesting approach is presented in [5], where the supply chain is modeled using cellular automata. For an introduction to the theory of cellular automata, see [6]. A single cellular automaton is a single unit that performs simple tasks and can interact with other cellular automata of the same kind. Using several cellular automata combined with well-designed tasks and interaction rules make it possible to model complex systems.

A supply chain is formed by some individual member companies (Firms) that work together to move goods from the producer to the end consumer. The companies operate as a chain, where the product first Firm fabricates a product, then the product travels to a second company, after that the product moves from the second company to a third one and so on until the product reaches the last company which distributes the product to the end consumer. If an unexpected event struck a member of the supply chain, then there is an interruption and the number of products that reaches the final consumer decreases. So, it is essential to recover from a disaster as soon as possible. Unfortunately, the cost of recovering is proportional to the rebuilt speed of a company, and sometimes there are not enough resources to complete reconstruction.

The resources available to recover from a disaster are critical elements in the performance of a supply chain, so the procedure used for improving the state of a company must be chosen wisely to both maintain the supply chain in good shape and preserve resources.

Another vital factor when modeling the supply chain is how to measure his performance under the effects of disruption. The performance function used must be chosen carefully to make a proper decision about how to organize the supply chain, so it becomes more robust and reliable. In this work, we propose three different performance measures that combine the cost of reconstruction with the state of the supply chain. Even more, two of the performance measure combines the accumulative effect of disasters in previous members of the supply chain. Another contribution of this work is the optimization of the behavior of different members of the supply chain, selecting a different response for distinct firms.

In this paper, we propose a performance measure with three objective functions that takes into account the sum of the benefits generated by all the firms in a supply chain at the end of the year, which are the following: the first, only taken into account the accumulated benefits; the second, apart from the sum of the benefits, Influence of the state of the companies on the profits, which from the damaged company, to the right, will produce the minimum generated by that company; the third objective, apart from the sum of the benefits, Influence of the state of the companies in the profits, that from the damaged company, towards the right, will be reduced in a multiplicative way the damages.

This work is organized as follows. In Section II, we explain a previous approach described in [5] to model a supply chain using cellular automata; this approach is the base of this work. In Section III, a new proposal for an objective function to model the performance of a supply chain is presented. Section IV is an introduction to optimization using Genetic Algorithms. In Section V, the experimentation and results of the new approach are shown.

Finally, in Section VI, conclusions and future work are stated.

II. ANTECEDENTS

Simulating the supply chain is not an easy task because it is a complex system with many variables and conditions. Several approaches have been proposed to study, for example, continuous simulation, discrete-event systems, and simulation games. For a revision of these approaches, consult [9]. In [5], the authors presented a complete framework to simulate the supply chain using cellular automata. This model focus on the performance of a supply chain based on what criteria the members of the supply chain follow to recover after a disaster and what is its cost. The goal is to deduce what are the best policies given certain conditions. In the rest of the section, we present a description of the model proposed in [5].

First, it is assumed that the supply chain consists of N firms, and the firms are numbered from 1 to N , starting from the first upstream firm in the chain to the last firm downstream. Each firm has an associated index i that represents its position in the supply chain. Moreover, to perform simulations, the supply chain is tested for several iterations, where an iteration is a period where disruption may occur. Usually, an iteration is equivalent to a day, but other periods can be used. The initial state is iteration zero, and the simulation has a total number of T periods. For each iteration, several processes are run to evaluate the behavior of the supply chain; these processes include the occurrence of a disaster, the action that an affected firm executes as a response to the disaster and the final state of the member of the chain.

For a given period t , a firm i can have a state of $s_i(t)$. $s_i(t)=2$ (good) is the state with the highest level when a company is in its fully operational state. $s_i(t)=1$ (normal) is the state where the member of the supply chain is not at full functional state, but it can still function as part of the supply chain. The third level $s_i(t)=0$ (bad) applies to a barely operational company.

For each day, there is a probability that a disaster strikes a company.

There are two kinds of disruption, a big disaster (with probability pf) that causes the company to get a state of zero, and a small disaster (with probability pg) that cause the company to reduce its level in one unit. The probabilities are set to $pf=17/365$ and $pg=134/365$ based on a study presented in [8].

Table 1: Decision Rules

Rule	Definition
DR1	$s_i(t)=2$
DR2	$s_i(t)=2$ if $\max(\xi_{i-1}(t), \xi_i(t), \xi_{i+1}(t))=2$ otherwise $s_i(t)=1$
DR3	$s_i(t)=2$ if there are any two j in $J=\{i-1, i, i+1\}$ such that $\xi_j(t)=2$ otherwise $s_i(t)=1$
DR4	$s_i(t)=2$ if $\xi_{i-1}(t)+\xi_i(t)+\xi_{i+1}(t)=6$ otherwise $s_i(t)=1$
DR5	$s_i(t)=1$ if $\xi_{i-1}(t)+\xi_i(t)+\xi_{i+1}(t)=6$ otherwise $s_i(t)=2$
DR6	$s_i(t)=\max(\xi_{i-1}(t), \xi_i(t), \xi_{i+1}(t))$
DR7	$s_i(t)=\min(\xi_i(t)+1, 2)$
DR8	$s_i(t)=\xi_{i-1}(t)$ if $\xi_i(t) \neq \xi_{i-1}(t)$ otherwise $s_i(t)=\min(\xi_i(t)+1, 2)$
DR9	$s_i(t)=\xi_{i+1}(t)$ if $\xi_i(t) \neq \xi_{i+1}(t)$ otherwise $s_i(t)=\min(\xi_i(t)+1, 2)$
DR10	$s_i(t)=\max(\xi_{i-1}(t), \xi_{i+1}(t))$ if $\xi_i(t) \neq \max(\xi_{i-1}(t), \xi_{i+1}(t))$ otherwise $s_i(t)=\min(\xi_i(t)+1, 2)$

When a company has a level lower than 2, it starts a mechanism to recover the optimal operational level. These mechanisms are called “decision rules” (DR). In Table 1, there is a description of the decision rules described in [5].

For a company with a number i in the period t ($s_i(t)$), its immediate upstream neighbor is $s_{[i-1]}(t)$, while its immediate downstream neighbor is $s_{[i+1]}(t)$. Some decision rules decide how to improve the state of the

company ignoring the state of the immediate neighbors, for example, DR1 and DR7. Other decision rules consider the state of the next neighbors, for example, DR2 and DR5. And other decision rules consider the state of only one neighbor, for example, DR8 and DR9.

DR1 is the most extreme case, in the sense that it always tries to increase the level of the company to level 2. This strategy may be costly, depending on the cost of moving from state 0 and 1 to state 2. On the other hand, DR7 is a gradual rule where the state of a company increases in one unit per period. Different decision rules represent different strategies that can be more or less expensive, depending on the cost of changing from one state to another.

For each period t , the simulation of the supply chain is as follows: each member company i start the period with a state value of $s_i(t-1)$, the value of the previous period. Then, the occurrence of a disaster is calculated, where the state of the company may change depending on if a disruption strikes, according to probabilities pf and pg . The state of the member of the supply chain after a disaster, but previous to the application of a decision rule is represented by $\xi_i(t)$. Finally, the decision rule associated with the company is applied to obtain the state $s_i(t)$, of the company i in period t . Figure 1 shows the resume of this process.

Improving the status of a company from a lower level to a higher level requires the use of resources. In [5], several resource consumption rules (RC) are proposed according to the cost to improve the status of a company, see Table 2. Each company starts with $R=3$ units of resources, and in each period the resources are increased a quantity equal to $\delta=1$. If in a given time the resources of a company are not enough to support the application of a decision rule, then the decision rule is not applied and the state of the company i in period t is equal to $\xi_i(t)$.

Different consumption rules represent different situations respect to the cost of recovering from a disaster. For example, RC1 and RC2 are intuitive rules, where moving from a state to the next upper

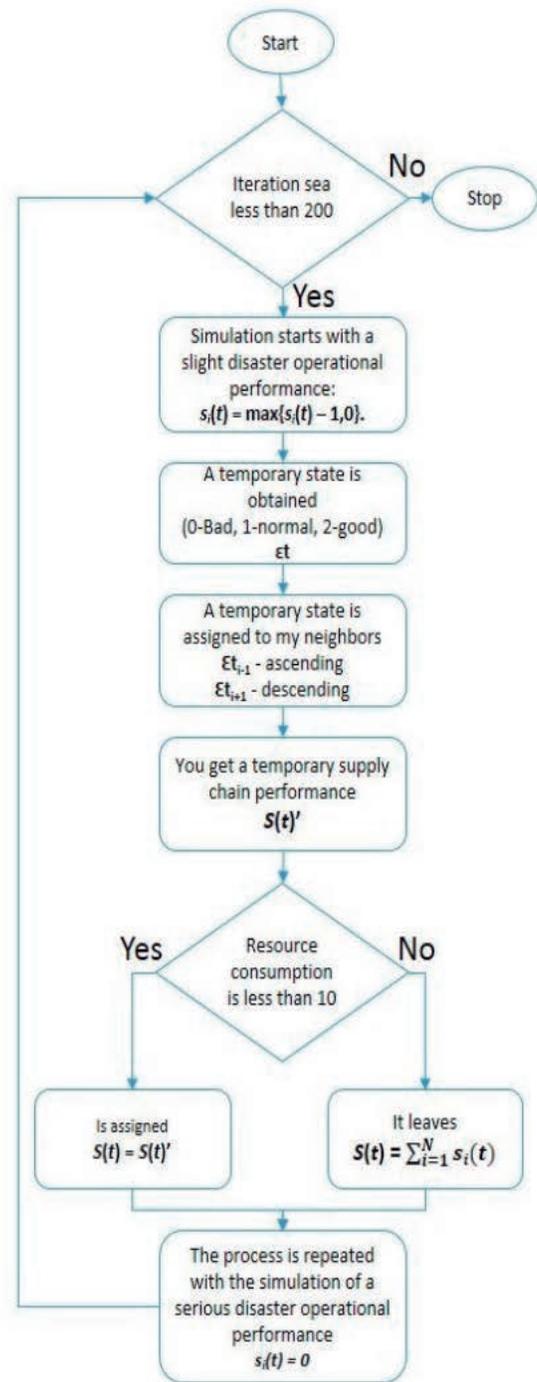


Figure 1. Simulation Process

level is cheap while moving from state zero to state two is expensive. In the other hand, RC5 and RC6 represent situations where fully reconstructing the installations (moving from state zero to state two) is cheaper than fixing them (moving from one state to the immediate superior).

Table 2. Resource Consumption

Resource Consumption Rule	From state=0 to state=1	From state=1 to state=2	From state=0 to state=2
RC1	1	2	10
RC2	2	1	10
RC3	1	10	2
RC4	2	10	1
RC5	10	1	2
RC6	10	2	1

The challenge is to detect what decision rules work better for a given consumption rule. Running simulations can accomplish this for the different combinations of DR's and RC's. For a given RC, we can choose the DR for which the supply chain had the best performance. In order to measure the performance of a supply chain, the followed concepts were defined. The state of the whole supply chain for a given period t is defined as:

$$S(t) = \sum_{i=1}^N s_i(t) \quad (1)$$

and the performance P of a supply chain after a simulation is the mean value of the state of the supply chain through all periods t , in other words:

$$P = \sum_{t=1}^T S(t) \quad (2)$$

The value chosen for T is 365, to simulate a frame time of a year.

In the next section, we present a different model to evaluate the performance of the supply chain that is a better approximation of what occurs in real supply chains.

III. PROPOSED MODELS

This section describes some improvements to the model described in Section II. Formula (2) describes

the objective function as a measure of the state of the supply chain, but it is an arbitrary selection of performance, where the states of a member of the supply chain (good, normal, bad) have not an easy interpretation. A better approximation for the states of a member of the supply chain is to use the profits generated by a company. For example, if a company is in a good state, it generates a profit of 2, but when it is in a normal state, it makes a profit of 1, and if a company is in a bad state it generates a profit of 0. At the same time, the cost of improving a company from a normal/bad state to good/normal state is deducted from those profits. So, for each iteration in a simulation a company generates profits equal to its state, these profits are accumulated individually (R_i) for each member of the supply chain i and the cost to repair the state of the company are deducted from R_i . The objective function proposed is the sum of the accumulated profits of all companies in the supply chain at the end of the year.

In other words:

$$P = \sum_{t=1}^T S(t) \quad (2)$$

where R_i is the value of the accumulated profits of company i at the end of the year $t=T$.

As in the original model, a company improves its state only if it has enough resources R_i at that moment.

This model reflects better what happens in real life. First, the base of the performance of the supply chain is the monetary profits of the chain; so maximizing the benefits is a more natural performance measure than maximizing an artificial state. The performance of the supply chain is affected by the cost of repairing a damaged company because this cost is deducted from the resources that contribute to the objective function. Unlike the original model, where the resources to repair the companies and the value of the objective function are separate elements that only interact in the cases where there are not enough resources to repair a company, here the objective function and the resources for repairing the Firms are closely related.

A second improvement to the model described in Section II is to consider the influence of the state of the companies upstream the supply chain in the profits that a company generates. The idea is that if a company is in a good state, it produces 100% of the products that the following companies need to satisfy the demand. But, if a company is in a normal or bad state, it produces less than 100% of the products that the following companies need. So the productions of the companies downstream the supply chain cannot reach the 100% of the products they are supposed to, due to the lack of materials from the companies upstream the supply chain, even if they are in a good state.

We implemented the idea described before using two cases. First, a short-term influence were a company in a less than a good state has a bad influence only in the company next to it downstream. And a second case with a longterm influence were a company with a less than good state influences all the companies that follow it in the supply chain.

In order to implement the ideas described in the paragraph above, we introduce the factor $h(i)$ that represents the penalty that company i produces to company $i+1$ due to its state. For the short-term influence, the values of $h(i)$ are the following: if company i is in a good state than, $h(i)=1$; if company i is in a normal state, then $h(i)=0.5$; and if company i is in a bad state, than $h(i)=0$.

For the longterm influence, the values of $h(i)$ are the following: if company i is in a good state than, $h(i)=1$; if company i is in a normal state, then $h(i)=0.75$; and if company i is in a bad state, then $h(i)=0.25$. Note that for the longterm case, the penalties are lower to prevent the that a single company in bad state produces a cero profit for all the supply chain.

The objective function for the model with the short-term influence is:

$$P = \sum_{i=1}^N (R_i \cdot h(i-1)) \quad (4)$$

and the objective function for the model with the longterm influence is:

$$P = \sum_{i=1}^N (R_i \cdot \prod_{j=0}^{i-1} h(j)) \quad (5)$$

We define $h(0)=1$. R_i is defined as in formula (3).

Another departure of this approach compared to that introduced in [5], is that we allow the companies in the same supply chain to have different decision rules. In the original model, all companies in the supply chain use the same decision rules to recover from a disaster. This is not true in practice, because even if a company is part of a supply chain, it is free to choose how to recover from a disaster. This opens a new question related to the optimization of the supply chain, what decision rules should follow each company to maximize the profits? In this work, we optimize the configuration of the supply chain using a genetic algorithm. We allow each company to use any decision rule and rule a simulation to search for the best configuration given an objective function. We describe optimization by Genetic Algorithms in the next Section.

IV. OPTIMIZATION USING GENETIC ALGORITHMS

Genetic algorithms (GAs) are optimization techniques inspired by the theory of evolution of species [10]. GAs are part of artificial intelligence algorithms. Their search procedure uses operator based on concepts like populations, the survival of the fittest, mutation, crossover, etc. [11]. Evolutionary techniques have been applied to many logistics problems [12-14].

In GA a candidate solution for a problem is coded as a vector of zeros and ones (a binary vector). A set of binary vectors is known as a population and a single vector is usually known as an individual. The elements of a population are mutated and recombined to obtain new vectors that represent a better solution for the problem. The vectors that are mutated and recombined are a selection of the best elements of the population. The idea is

that the best elements of a population can be used to obtain new solutions that are even better than their “parents”.

A fitness value is assigned to each element of the population, depending on how good is the solution that the individual represents. The method to assign a numeric value for the fitness depends on the problem. For example, in a problem where we want to minimize the travel time from one point to another point, the fitness value can be calculated the formula:

$$F(x) = 1/T(x) \quad (6)$$

Where $F(x)$ is the value of fitness value, x is a solution for the problem, and $T(x)$ is the travel time that results for the application of solution x . Note that this formula assigns a greater fitness value to individuals with shortest travel time.

Once each element of the population has a fitness value assigned, the next step of a GA is to make a selection of the best individuals in the population. This selection will be used to generate a new population through a mechanism of recombination. If the size of the population is n , we can take $n/2$ individual from the population to produce the next population. There are several mechanisms to make the selection. The Binary tournament is one of the most popular methods. In Binary tournament, we take randomly two elements of the population, then we compare the fitness of the individuals and select the individual with the highest fitness value. This operation is repeated until the desired number of individuals is achieved.

Next, a recombination process is executed. In GA, the recombination process is the primary search strategy. It is performed following way:

1. Choose randomly two individuals (Parent 1 and Parent 2).
2. Assuming that the binary numbers in each individual are m , generate a random number k between 1 and $m-1$.

3. Take the first k bits from Parent 1 and concatenate them with the last $m-k$ bits of Parent 2. This concatenation generates a new individual (Offspring 1).

4. Take the first k bits from Parent 2 and concatenate them with the last $m-k$ bits of Parent 1. This concatenation generates a new individual (Offspring 2).

Note that each recombination generates two new individuals. If the size population n we can perform $n/2$ recombinations to create a new population.

Another important operator that in GA is the mutation. Mutation consists on flipping a random bit of an individual. For each a population of size n , we perform the mutation with a probability pm . Common values for pm are 0.05 or 0.01 .

The general algorithm for GA is as follows:

1. Generate an initial population randomly.
2. Evaluate the objective function for each element of the population.
3. Select the best individuals of the population.
4. Recombine the best elements of the population.
5. Mutate the recombination of the best elements of the population to create a new population.
6. Substitute the old population with the new population.
7. Repeat from step 2 until the stop criterion is reached.

The process of selecting the best individuals in a population, recombining them to generate offsprings, mutate the offsprings and evaluate their fitness is known as a “generation.” A common stop criterion is to perform a fixed number of generations. Another stop criterion is when all the population has the same (or very similar) fitness value. In the end, the best solution found is chosen as a solution to the problem.

Genetic algorithms have interesting properties.

They can work with non-linear problems, discrete and discontinuous problems, restricted and un-restricted problems, etc. They only need an explicit formula for the objective function of the problem. The disadvantage of a GA is that a lot of function evaluations are necessary to find a solution. In cases where the objective function is cheap to evaluate, this is not an issue.

To optimize the supply chain simulated by cellular automata, we represent each individual in a GA using a string of binary numbers. We use four binary number to represent the Decision Rule of a company in the supply chain. For example, if a supply chain has five companies, we use a string of twenty binary numbers. The first four numbers represent the Decision Rule for the first company, the next four numbers represent the decision rule of the following company, and so on. With four binary number we can represent numbers from zero to fifteen, but the decision rules are numbered from one to ten, so if an individual has a value out of range, it is considered unfeasible and its fitness is set to zero.

The fitness of a feasible individual is evaluated based on formulas (2), (3), (4) and (5). We run different simulation for each formula to search the best configuration for the supply chain. For a given individual, its fitness is the result of a simulation using its values of Decision Rule. The simulation is performed using the parameters described in Section II.

V. EXPERIMENTS

Several tests were run to explore the behavior of a supply chain using the objective functions proposed in this work. In [5], all combinations of decision rules (DR) and consumption rules (RC) were tested to find which DR works best for a given RC. In the model proposed in [5], all companies in a supply chain use the DR. In Table 3, we present a resume of the results from that experimentation. In that table, for each RC we

show the DR sorted from best to worst based on the simulations. For example, for RC1, we have that that DR7 was the decision rule with the best performance in the simulation, while DR4 was the least effective rule.

The objective of this experimentation is to verify if allowing each company to have its own DR we can optimize even further the configuration of the supply chain. To start with, we optimized a supply chain using the original model proposed in [5]. We used five companies, with $pf=17/365$ and $pg=134/365$, the number of periods is 365, the initial value of $R = 3$ and $\delta = 1$. We used a Genetic Algorithm with a population of 100, crossover probability of 0.9, mutation probability of 0.1 and a selection of 50 individuals. The best solutions after optimizations are shown in Table 4, where we can see that the results agree with those shown in Table 3. For example, based on Table 4, for CR1, the best configuration is that all firms use DR7, and DR7 is the best-valued Decision Rule in Table 3 for RC1.

Table 3. Optimization for Formula 1

Best	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5	RC6
1	DR7	DR1	DR1	DR1	DR1	DR1
2	DR2	DR7	DR5	DR5	DR2	DR6
3	DR1	DR6	DR2	DR6	DR6	DR2
4	DR6	DR2	DR6	DR2	DR10	DR10
5	DR10	DR10	DR10	DR10	DR5	DR5
6	DR9	DR5	DR7	DR7	DR7	DR8
7	DR8	DR8	DR9	DR8	DR8	DR9
8	DR5	DR9	DR8	DR9	DR9	DR7
9	DR3	DR3	DR3	DR3	DR3	DR3
10	DR4	DR4	DR4	DR4	DR4	DR4

The same optimization was repeated using Formula (3) as the objective function. The result is presented in Table 5. There are several for RC1 and RC2. In that rules, it is costly to repair a company from state zero to state two, in our model the best strategy is DR7, as expected because DR7 promotes a gradual increment of the state of the company, avoiding increases from state zero

to state two. In the original model, DR7 is the best option for RC1 but no for RC2, where the extremely expensive (for RC2) strategy of always leveraging the state of a company to state two (DR1) is considered the best. For the consumption rules RC3 and RC4 (where moving from state 1 to state two is very expensive), the best decision rule is DR3 according to our model. DR3 has the characteristic that it tends to keep the state of the members of the supply chain in the value of one, preventing the transition from state one to state two, avoiding the expensive cost of such change. Finally, for consumption rule RC5 and RC6, where recovering from level zero to level two is relatively cheap and recovering from level zero to level one is very expensive, decision rule DR2 is the best approach. This is because DR2 promotes moving from state zero or one to state two directly, avoiding the transition from level zero to level one.

Table 4. Optimization for Formula 2

Consumption Rule	Firm 1	Firm 2	Firm 3	Firm 4	Firm 5
RC1	7	7	7	7	7
RC2	1	1	1	1	1
RC3	1	1	1	1	1
RC4	1	1	1	1	1
RC5	1	1	1	1	1
RC6	1	1	1	1	1

Table 5. Optimization for Formula 3

Consumption Rule	Firm 1	Firm 2	Firm 3	Firm 4	Firm 5
RC1	7	7	7	7	7
RC2	7	7	7	7	7
RC3	3	3	3	3	3
RC4	3	3	3	3	3
RC5	2	2	2	2	2
RC6	2	2	2	2	2

Table 6. Results for Formula 4

Consumption Rule	Firm 1	Firm 2	Firm 3	Firm 4	Firm 5
RC1	7	7	7	7	7
RC2	7	7	7	7	7
RC3	4	7	1	6	1
RC4	3	7	1	5	1
RC5	6	1	1	1	2
RC6	2	1	1	1	2

The results for Formula 4 and Formula 5 are shown in Table 6 and 7, respectively. It is interesting to note that for those models, the members of the supply chain takes different DR depending on its position in the chain. This is not surprising due to the effect that the state of a Firm may have on the Firms downstream. For CR2 and CR3, DR7 is still the best for all Firms, but for CR3, CR4, CR5, and CR6 a variety of rules are used. There is not a clear pattern of how these Rules are chosen but further experimentation.

VI. CONCLUSIONS

In this work, we presented new objective functions to model the behavior of a supply chain under the effect of disruptions using cellular automata. The new objective functions introduce elements that allow a better representation of the real behavior of a supply chain in real life. The key features of our models are:

- They consider that the state of the supply chain can be represented by a monetary value when other approaches evaluate the state of the supply chain as a number whose interpretation is not clear.

- We introduced the influence of the state of a Firm in the productivity of the Firms downstream the supply chain.

- We allow each Firm to have they own Decision Rule, unlike previously published model where all Firms have the same Decision Rule.

Representing the states of the supply chain as a monetary value allows our model to combine the effect of the disruptions with the cost of reconstructing the companies that are affected by the disaster.

When the model proposed in this work is used to simulate the supply chain, the recovery strategies that optimize the profits in the supply chain are

not necessarily the same that maximize the state of the supply chain in the original model. But the result of our approach is better related to the intuitive behavior that the supply chain is expected to have.

As future work, we plan to introduce fuzzy logic to simulate the state of the companies in the model. In the current model the state of the companies, the damages that a disruption produces, and the resources used to fix a company are represented by crisp numbers. Fuzzy numbers and fuzzy logic can generate a better representation of the behavior of a supply chain designing proper fuzzy sets and inference rules.

Finally, our model have several parameters whose numeric value were selected from previous works, or chosen based in intuition, for example, the amount of profit that a Firms generates based on its state, or the reduction in the production that a firm produces over other firm. In future work these parameter will be adjusted to values chosen accordingly to realistic values taken from supply chains in order to perform a better simulation.

Table 7. Results for Formula 5

Consumption Rule	Firm 1	Firm 2	Firm 3	Firm 4	Firm 5
RC1	7	7	7	7	7
RC2	7	7	7	7	7
RC3	3	7	5	1	1
RC4	4	1	5	1	6
RC5	2	1	1	1	9
RC6	2	1	1	1	9

REFERENCES

[1] The White House. National strategy for global supply chain security. Technical report, Washington, 2012

[2] N. Altay and W.G. Green. OR/MS research in disaster operations management. *Eur. J. Oper. Res.*, 175:475–493, 2006.

[3] A. Bueno-Solano and M.G. Cedillo-Campos. Dynamic impact on global supply chains performance of disruptions propagation produced by terrorist acts. *Transp. Res. Part E*, 61:1–12, 2014.

[4] Miguel Gaston Cedillo-Campos and H. Cedillo-Campos. w@risk method: A tool for security risk level classification of products. *Safety Science*, 79:358–368, 2015.

[5] L. Chen, Y.M. Liu, and S.S. Yang. Robust supply chain strategies for recovering from unanticipated disasters. *Transportation Research Part E*, 77:198–214, 2015.

[6] J.L. Schiff. *Cellular Automata: A Discrete View of the World*. Wiley, New York, 2007.

[7] P. Kleindorfer and G. Saad. Managing disruption risks in supply chains. *Prod. Oper. Manage.*, 14:53–68, 2005.

[8] Y. Sheffi. *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. MIT, 2007.

[9] C. Thierry, A. Thomas and G. Bel. *Symulation for supply chain management*. Wiley, New York, 2008.

[10] Shepherd, S., and Sumalee, A., 2004, "A genetic algorithm based approach to optimal toll level and location problems." *Networks and Spatial Economics*, 4(2), 161-179

[11] Silva C.M. and Biscaia E.C., 2003, "Genetic algorithm development for multi-objetive optimization of Batch Free radical polymerization reactors." *Computers & Chemical Engineering*, 27, pp 1329,1344.

[12] Kratica, J., Tošić, D., Filipović, V., and Ljubić, I., 2001, "Solving the simple plant location problem by genetic algorithm." *RAIRO- Operations Research*, 35(01), 127-142.

[13] Syarif, A., Yun, Y. and Gen, M., 2002, "Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach." *Computers & Industrial Engineering*, 43(1), 299-314.

[14] Correa, E. S., Steiner, M. T. A., Freitas, A. A. and Carnieri, C., 2004, "A genetic algorithm for solving a capacitated p-median problem." *Numerical Algorithms*, 35(2-4), 373-388.

Revisión de los factores de decisión de la gente ante evacuaciones por eventos de desastres y su relación con las acciones de Logística Humanitaria

José Luis López Cervantes, Marlenne Cruz Romero,
Javier García Gutiérrez, José Concepción López Rivera
Coordinación de Posgrado, Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma del Estado de México,
UAEM Toluca, México

Jlopezc934@alumno.uaemex.mx,
mcruzr011@alumno.uaemex.mx,
jgarcia@uaemex.mx,
jclopezz@uaemex.mx

Resumen— Con relación a la decisión de realizar una evacuación en los hogares ante un evento hidrometeorológico tal como un huracán, esto, en efecto, puede ser visto como una simple decisión: evacuar o permanecer en el hogar. Sin embargo, en el proceso de toma de decisiones de los individuos están involucrados diversos aspectos complejos de comportamiento y otros factores externos. Hay que mencionar que, al conocer la decisión de evacuación en los hogares durante un huracán o inundación, éste será un dato clave para el proceso de la planeación estratégica, considerando que, al determinar los factores de acuerdo con las características de los hogares, indiscutiblemente se podrá identificar la interrelación de estos con la planeación de los distintos escenarios esperados y su respectiva modelación. El objetivo de la presente revisión fue analizar sistemáticamente a la literatura existente sobre factores por los cuales los individuos toman la decisión de evacuar o permanecer en sus hogares. Adicionalmente se estudiaron los modelos de elección discreta usados en diversos eventos catastróficos. En consecuencia, la contribución de este trabajo es proveer una selección sistematizada de trabajos relevantes relacionados a la literatura de los factores que influyen en la decisión que toman los individuos en cuanto a evacuar o permanecer en sus hogares ante un evento hidrometeorológico al tiempo que se proporciona una breve descripción de los métodos, técnicas y modelos aplicados para determinar los factores de evacuación, la probabilidad de evacuación de una población, la estimación de la demanda de viajes de evacuación, y finalmente, la planeación y modelación de las acciones orientadas a la evacuación de los individuos.

Palabras Clave— Modelos de elección discreta, evacuación durante huracanes, factores de decisión de evacuación.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los fenómenos naturales y desastres causados por el hombre han incrementado en diversas partes del mundo, matando miles de personas y dejando millones de víctimas indirectas [1], ejemplos recientes como el temblor en Haití en 2010, los huracanes Katrina y Rita en 2005, los incendios forestales de California en 2018, entre otros, muestran la vulnerabilidad de la población frente a los desastres tanto en países desarrollados como en países emergentes.

Los desastres se pueden clasificar en dos categorías, desastres sin aviso y con un corto aviso. Esto se basa en el tiempo de espera o de preparación que se tiene antes del evento [2]. Los huracanes se consideran desastres del tipo con corto aviso debido a que se cuenta con una ventana de tiempo razonablemente estimable dentro de ciertos rangos para realizar la evacuación.

En general el proceso de evacuación, en caso de un huracán, es complejo e incluye pasos interrelacionados. Primero, el pronóstico de un huracán es realizado y la información de velocidad, magnitud y dirección anunciada. Lo siguiente será emitir las advertencias necesarias a las autoridades locales para la comunicación a la población, una vez que se recibe esta información, los hogares tendrán varias opciones. En particular la primera pregunta a la que se enfrentan los individuos será si evacuan o permanecen en su hogar. Una vez que se decide evacuar se elige el destino pueden ser familiares, amigos, hoteles, refugios, entre otras. Hay que mencionar, además que una decisión entrelazada será la elección de cada individuo del modo de transporte hacia los destinos seguros en el momento oportuno [3].

Uno de los principales objetivos en una evacuación de personas es entender la demanda de evacuados para facilitar a los tomadores de decisiones el estar informados y preparados con un plan de manejo de emergencias [4]. La decisión de los individuos en los hogares para evacuar o no evacuar y la selección de la hora de

salida son fenómenos dinámicos complejos que dependen de varios factores interrelacionados como las características y trayectoria del huracán, el sistema de información empleado, los hogares y las características de los evacuados [5].

Con respecto a los modelos de evacuación que describen la decisión de los viajeros en relación a la participación en la evacuación y el tiempo de partida [6] existen modelos subsecuentes que incluyen la decisión de evacuar, la decisión de la ruta de evacuación y la elección del modo de transporte. Baste, como muestra el modelo de elección de ruta que es usado para predecir la cantidad de vehículos que van a ser cargados a la red y además determina cómo los vehículos son distribuidos para cada ruta identificada. En efecto, la decisión de evacuar será el elemento más importante que servirá como entrada para la planeación de la evacuación.

El objetivo de este documento no sólo fue hacer la revisión de la literatura existente sobre los factores por los cuales los individuos toman la decisión de evacuar o permanecer en sus hogares sino también proveer una selección sistematizada de trabajos relevantes relacionados a la literatura de estos factores en un evento hidrometeorológico.

Específicamente el propósito de este estudio fue:

1. Clasificar los artículos de investigación revisados de acuerdo al enfoque y metodología adoptada.
2. Presentar los factores que influyen en la decisión de evacuación y técnicas matemáticas, así como modelos aplicados para su determinación.
3. Proporcionar la clasificación y una breve descripción de los métodos, técnicas y modelos aplicados para:
 - a. El cálculo de porcentaje y probabilidad de evacuación de una población.
 - b. Estimación de la demanda de viajes de evacuación, distribución y asignación de la demanda a las redes de carreteras.
 - c. El comportamiento de los viajes de evacuación.

El documento está organizado de la siguiente manera: la sección II proporciona una metodología de revisión de la literatura y los criterios de clasificación; la sección III presenta los factores que influyen en la decisión de evacuación y las técnicas matemáticas y modelos aplicados para su determinación; en la sección IV se proporciona una breve descripción de los métodos, técnicas y modelos aplicados para el cálculo de porcentaje y probabilidad de evacuación de una población, la estimación de la demanda de viajes de evacuación, distribución y asignación de la demanda a las redes carreteras y el comportamiento de los viajes de evacuación; la sección V muestra una discusión de la revisión, y por último en la sección VI se presentan las conclusiones de la presente revisión.

II. METODOLOGÍA PARA LA REVISIÓN DE LA LITERATURA

El proceso de búsqueda para la revisión de la literatura se llevó a cabo con bases de datos científicos que incluyen portales como: Elsevier, SpringerLink y Scopus. Las palabras clave utilizadas como criterio de búsqueda fueron: humanitarian logistics, hurricane evacuation, discrete choice models, evacuation factors y evacuation decisions. Además, las referencias bibliográficas de los artículos encontrados fueron utilizadas para continuar con la búsqueda de más información.

Los criterios empleados para la selección de los artículos fueron de acuerdo con el contexto en el que están abordando el estudio de las evacuaciones, teniendo un mayor interés en el caso de huracanes, identificando los tipos de modelos que usan, la metodología propuesta, herramientas utilizadas, hallazgos y trabajo futuro.

III. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DECISIÓN DE EVACUACIÓN

En los trabajos [7-12] las respectivas investigaciones se centran en determinar los

factores que influyen en la decisión de evacuar un hogar.

En [7], a través de encuestas el autor recolectó datos para determinar los factores por los cuales las personas evacuan o no evacuan. Por otra parte, menciona que el nivel de riesgo del área, las acciones de las autoridades públicas, el alojamiento, la percepción previa del riesgo y los factores de amenaza son patrones importantes que determinan si los residentes evacuan, a su vez determina que los factores demográficos nunca están relacionados con la evacuación.

En [8] los autores revisan tres áreas de investigación, la primera: alerta, específicamente lo que se sabe sobre las advertencias, sus características y la importancia de verlas como un proceso social; la segunda: procesos objetivos y subjetivos en la percepción del riesgo; y finalmente el comportamiento real de evacuación con un enfoque en el modelado de la evacuación y el contexto social. Menciona que para comprender las variaciones en la evacuación será importante interpretar como las personas entienden y procesan la información, es decir cómo pasan de escuchar y creer en las advertencias a la decisión de evacuar, a este proceso se le llama cumplimiento de las advertencias y percepción del riesgo.

Finalmente destacan la existencia de modelos del cumplimiento de la evacuación donde la percepción del riesgo, edad, ubicación geográfica y cercanía a las vías de evacuación son un enfoque central para la determinación del comportamiento de la evacuación.

En [9] se implementan un conjunto de modelos econométricos para analizar los factores de la elección de evacuación además enfatizan que estudios anteriores ofrecen una visión útil del proceso de la decisión de evacuación, pero en un ambiente individual y muy específico, de esta forma se pierde el componente de tiempo y espacio. El modelo cuenta con una variante dicotómica de elección si evacuan o no, un vector de factores que representan la percepción del

riesgo de un individuo y su experiencia previa en un huracán, un vector de factores relacionados con la riqueza y/o el ingreso, un vector de la demografía del hogar, un vector de medidas de interacción social y fuentes de información, un vector de medidas de interacción social y fuentes de información y un vector de otras variables tales como gastos de evacuación. Determinan que las familias que viven en entornos de riesgo y familias con niños muestran mayores probabilidades a evacuar en contraste con familias propietarias de viviendas y hogares con mascotas las cuales muestran menos probabilidades de evacuar.

En [10], los autores desarrollan un modelo logit mixto de la decisión de evacuación de huracanes, donde los parámetros aleatorios reflejan las respuestas heterogéneas de los hogares. También encuentran diferentes factores que influyen en la decisión de evacuar o quedarse en casa los cuales son: ubicación del hogar, la fuente de información, el número de niños en la vivienda, tipo de vivienda, el tipo de aviso de la evacuación (opcional u obligatorio), experiencia previa, educación e ingresos.

En [11] se estudia la decisión de evacuación de los hogares y los tiempos de salida en el huracán Ike. Una de las preguntas que se plantean los investigadores es ¿qué variables predicen las decisiones de evacuación y el tiempo de salida de los hogares durante el huracán Ike? También se revisan investigaciones previas sobre la evacuación de huracanes para identificar un conjunto de hipótesis de investigación sobre las decisiones de evacuación y el tiempo de salida.

En [12], los autores revisan factores que determinan la decisión de evacuación desde el punto de vista de los planificadores y tomadores de decisión en casos de emergencias. Analizan la decisión de evacuación de una manera compleja y determinan que la percepción del riesgo debe explicarse por un conjunto de factores sociodemográficos relacionados con la capacidad y el riesgo. Además, recomienda que una evaluación de la interrelación entre factores puede

influir en una mejor identificación de la decisión de evacuación.

Por otra parte, en [13] los autores desarrollan un modelo logit binario de panel desequilibrado para encontrar factores que influyen tanto en la evacuación como en la elección del tiempo de salida, al evaluar la decisión de evacuación o permanecer en el hogar, considerando que las características del huracán cambian en diferentes intervalos de tiempo.

En [14] se presenta un modelo logit multinomial para investigar las preferencias de elección de evacuar y la elección del destino en caso de un huracán. Con datos de una encuesta realizada en New Jersey modelaron los factores potenciales que afectan el comportamiento de preferir o no evacuar, y la relación entre la decisión de elegir evacuar y el destino de evacuación. Se encontró que la edad, nivel de educación, distancia de la costa, raza o grupo étnico tienden afectar la decisión de evacuar. Además, no hubo una relación sólida entre las decisiones de evacuación y las opciones de destino. En otras palabras, ya sea que las personas consideren o no la evacuación, no hay una diferencia significativa entre la elección de refugios públicos u otros lugares.

IV. MÉTODOS, TÉCNICAS Y MODELOS

A. Cálculo de porcentaje y probabilidad de evacuación de una población

En [15], los autores desarrollaron un modelo logit secuencial para estimar la probabilidad de evacuación en los hogares considerando algunas características dinámicas del huracán. Sin embargo, este modelo tiene dos suposiciones restrictivas, primero, la elección realizada por un hogar en un periodo de tiempo t es independiente de la elección en otros periodos. Sin embargo, el proceso de la toma de decisión de evacuar es complejo donde uno puede esperar factores no observables que afectan la elección en uno de los periodos y pueden persistir en el siguiente

periodo, resultando en un error al no tener independencia los periodos. El segundo supuesto es que los hogares muestran el mismo valor al evaluar los atributos de las alternativas. Este supuesto ignora la heterogeneidad que existe entre los hogares. En [16] se replica el modelo logit secuencial dependiente del tiempo desarrollado en [15], a la vez que desarrollan el modelo logit anidado dependiente del tiempo para modelar la demanda de evacuación durante huracanes. Determinan que los modelos dinámicos de evacuación son capaces de predecir el número de hogares a evacuar, así como los tiempos de salida. Los autores desarrollan un nuevo enfoque en el modelado de la demanda de evacuación y el tiempo de salida simultáneamente. El modelo considera una decisión binaria de quedarse o evacuar, esta decisión describe un conjunto de decisiones binarias secuenciales independientes que se tratan como interdependientes a lo largo del tiempo.

B. Estimación de la demanda de viajes de evacuación, distribución y asignación de la demanda a las redes de carreteras

En [17] se desarrolla un modelo que considera la interrelación entre la salida de evacuación y los tiempos de viaje utilizando un enfoque de modelado conjunto, establecen la importancia de considerar una estimación conjunta de los tiempos de salida y viaje, y cuantifican el papel de los lazos sociales en la estimación conjunta de los tiempos de salida y viaje de evacuación. El modelo de tiempo de salida considera como variables la preocupación del individuo de la tormenta, si la evacuación es una orden y si se cuenta con suficiente información, si existe heterogeneidad de edades en el hogar, mientras que el modelo de tiempo de viaje considera como variables, la confiabilidad de la tv local para obtener información, viudez, si el individuo está casado y ha evacuado anteriormente, si el tamaño de la familia es 1 y el individuo presenta preocupación durante un evento pasado y el tamaño de la red social y heterogeneidad sexual.

En [18] los autores desarrollan un modelo logit anidado que toma en cuenta la elección y el tipo de destino conjuntamente durante la evacuación de huracanes. El conjunto de alternativas de elección de modo de viaje consideradas son evacuación en vehículo propio,

viajar con otros, usar transporte público o cualquier otro modo de transporte, mientras que el tipo de destino que se consideran en este modelo son casa de amigos o familiares, hotel o motel, sitios de beneficencia o iglesia y otros. Los resultados reportados son los siguientes, la estabilidad residencial tiene un efecto positivo en la elección de evacuación eligiendo como destino el hogar de amigos o familiares. Los hogares que viven en un área con un ingreso promedio es más probable que se quede en un hotel. Con respecto a la elección de los sitios de beneficencia incluye a aquellos que tienen necesidades especiales y aquellos que tienen dificultades para evacuar por su cuenta. Acerca de la elección del vehículo es más probable que una familia use su propio vehículo. Las variables que tienen un efecto significativo en viajar con otros son años que lleva viviendo en su hogar y estabilidad residencial.

C. Comportamiento de los individuos en los viajes de evacuación

En [19] los autores realizan un modelo de simulación basado en agentes para la evacuación de un edificio en caso de incendio, con una estrategia de elección de ruta con un modelo logit multinomial, con el fin de elaborar un plan que explique el comportamiento de las rutas y como la distancia y la densidad percibida en las áreas de salida impactan en las decisiones del agente. Además, modifica el lugar de la señalización con datos de un primer escenario, identificando los lugares en donde se toma la decisión de que ruta de evacuación elegir, así restringiendo el límite de congestión a partir del cual es conveniente elegir una ruta alternativa y se distingue si se debe crear o prohibir las salidas de emergencia dentro de la estructura del edificio.

En [20] se evaluaron tres distintos modelos logit para conocer la correlación entre la altura y distancia de albergues en caso de un tsunami. Los modelos evaluados son: logit multinomial, logit correlacionado espacial con parámetros basados en la localización y logit correlacionado

espacial con parámetros de localización de la altura y distancia de los albergues, siendo el último el de mayor consistencia con los datos y mayor nivel de significancia estadística.

V. RESULTADOS

A. Factores que influyen en la decisión de evacuación

Es importante mencionar que no todos los artículos científicos incluidos en esta revisión centran exclusivamente su investigación en la determinación de los factores que influyen en la decisión de evacuación. Sin embargo, algunos de ellos analizan el tiempo de salida del individuo, la elección del destino y la preferencia del modo de evacuación.

En la Tabla 1, se muestra la identificación de factores a las que llegaron como resultado los autores de la revisión de literatura en las referencias [7–14], así como los modelos utilizados para casos de huracanes.

B. Métodos, técnicas y modelos

Con respecto a los métodos, técnicas y modelos encontrados en la literatura se pudieron clasificar en tres grupos.

El primer grupo (A) enfocado al cálculo del porcentaje y probabilidad de evacuación de una población, el segundo (B) encaminado a la estimación de la demanda de viajes de evacuación, distribución y asignación de la demanda a las redes de carreteras y el tercero (C) dirigido al comportamiento de los individuos durante el viaje de evacuación. El tipo de desastre se clasificó como (H) para huracán, (I) incendio, (T) Tsunami y (A) Ambiente construido - Espacio confinado.

En la Tabla 2, se presenta la clasificación de los métodos, técnicas y modelos por grupo, autor, tipo de desastre, modelo utilizado y hallazgos relevantes de las referencias [15–24].

Tabla 1. Factores que influyen en la decisión de evacuación

Autor	Modelos utilizados	Factores
[7]	Revisión de literatura	Experiencia en huracanes pasados, nivel de riesgo, acción de las autoridades, alojamiento, percepción del riesgo personal, factores específicos de la tormenta y factores demográficos.
[8]	Revisión de literatura	Comunicación del pronóstico, percepción del riesgo, procesamiento de la información, edad y ubicación geográfica.
[9]	Modelo Probit	Vivir en casa móviles, inundación, niños en el hogar, tamaño de la familia, si hay mascotas.
[10]	Logit mixto o logit de parámetros aleatorios	Localización del hogar, fuente de información, número de niños, tipo de casa, evacuación opcional u obligatoria, dueño de la propiedad, experiencia previa y nivel educativo
[11]	Protective Action Decision Model	Educación, advertencia, experiencia previa, proximidad a la costa, ambiente social, experiencia de evacuación innecesaria.
[12]	Modelos de elección discreta	Características sociodemográficas relacionadas con análisis de riesgo, riesgo de inundación, riesgo de percepción, riesgo de comunicación, y características sociodemográficas relacionadas con la capacidad de adaptación y preparación.
[13]	Logit Binario	Tiempo del huracán en tocar tierra, nivel de inundación, velocidad del huracán, localización de hogar, niños en el hogar, vehículo propio, nivel de educación y evacuación obligatoria u opcional.
[14]	Modelo logit multinominal	Edad, nivel de educación, distancia de la costa, raza o grupo étnico.

Tabla 2. Modelos utilizados y hallazgos

Grupo	Autor	Tipo de desastre	Modelo utilizado	Hallazgos
A	[15]	H	Logit secuencial	Consideran las características dinámicas del huracán y determinan que la elección realizada por un hogar en un periodo de tiempo t es independiente de la elección en otros periodos.
	[16]	H	Logit secuencial - Logit anidado	Modelan la demanda de evacuación y el tiempo de salida simultáneamente.
	[17]	H	Modelos estadísticos discretos / continuos	El modelo propuesto considera la interrelación entre la salida de evacuación y los tiempos de viaje.
B	[18]	H	Logit anidado	Este modelo toma en consideración la elección y el tipo de destino conjuntamente durante la evacuación.
	[20]	T	Logit multinominal - Logit correlacionado	Determinan la correlación entre la altura y la distancia de albergues en caso de tsunami.

Grupo	Autor	Tipo de desastre	Modelo utilizado	Hallazgos
C	[21]	A	Logit mixto, logit de clase latente y logit mixto escalado	Logran conocer el comportamiento de escape de los individuos. Determinan que las variables que contribuyen significativamente a las opciones de salida.
	[22]		Simulación	Modelan el comportamiento de evacuación de los individuos con el objetivo proporcionar una base de mejora de edificios y espacios publicos y de esta forma poder minimizar la incidencia de muertes y lesiones.
	[23]	A	Logit mixto y Logit de clase latente	La importancia de esta investigación recae en incluir el factor "comportamiento en manada" el cual sucede cuando las personas abandonan por completo su propia sabiduría y preferencias a favor de las decisiones de la mayoría.
	[24]	T	Modelo de evacuación basado en agentes	Se informa sobre la mitigación de peligros y la formulación de políticas para reducir el riesgo del tsunami en la comunidad costera expuesta a través del estudio del comportamiento en una evacuación vertical, específicamente ¿Cómo los individuos deciden evacuar? y ¿Cuál refugio eligen?, el impacto de la ubicación de los refugios y la efectividad de la evacuación en el contexto del peligro del tsunami.
	[19]	I	Simulación basada en agentes - Logit multinominal	Los autores identifican el comportamiento de la ruta de evacuación de los individuos, la demanda presentada en las salidas y el momento en el que el individuo hace la elección de la ruta de salida.

Se debe agregar que se encontraron autores como en [25] revisan literatura relacionada para la estimación del valor económico de los pronósticos y la alerta de huracanes. El valor económico de los pronósticos ayudará a los funcionarios públicos a determinar si vale la pena invertir en mejoras proyectadas. En [26] el autor desarrolla un modelo multi- periodo donde incorpora el costo de evacuación que da como resultado la determinación del tiempo de evacuación para varios tipos de hogares, además otros autores como en [27] que utilizan el modelo multinominal de clase latente para cuantificar la respuesta de las personas a una orden de evacuación y como resultado obtienen información sobre qué atributos aumentan o disminuyen la probabilidad de una evacuación inmediata, posterior o no evacuación en

absoluto. Por otra parte, en [28] modelan el comportamiento de los evacuados en el contexto de las operaciones de evacuación sin previo aviso y también cabe señalar que en [5] realizan una revisión de la literatura sobre el modelado y simulación de evacuación en carreteras.

VI. CONCLUSIONES

La revisión aquí presentada, nos permite ver que han sido abordadas distintas etapas de análisis que en su conjunto permitirían representar adecuadamente los elementos de análisis de una dinámica de evacuación ante la ocurrencia de un evento hidrometeorológico como un huracán.

El desarrollo de un modelo que pueda reflejar con exactitud la naturaleza de la toma de decisiones de los individuos durante la evacuación, generalmente cambiante, durante un evento meteorológico, es sin duda una tarea complicada porque la decisión de evacuación, en los hogares, es diferente para cada contexto y características sociodemográficas del área del desastre. A esto, se complementan elementos inherentes a la población tales como su experiencia previa en un evento de esta naturaleza, la percepción del riesgo y su nivel, la actuación de las autoridades brindando confianza a los pobladores, la disponibilidad y acceso a la información oportuna, así como la preparación con la que cuentan y el entorno social en el momento de la ocurrencia del evento, entre los más abordados en la literatura.

Por otro lado, se identificaron una buena cantidad de modelos para tres etapas distintas de estudio: la primera, para el cálculo del porcentaje y probabilidad de evacuación, donde se consideran principalmente las características dinámicas del huracán, y donde se estudian los tiempos de salida y sus distribuciones de probabilidad durante las evacuaciones; la segunda, la estimación de la demanda en redes carreteras, donde los elementos de análisis radican principalmente en la relación espacial entre orígenes y destinos, en este caso, sitios por evacuar y ubicación de los albergues; y la

tercera, lo orientados a la descripción del comportamiento de los individuos en durante una evacuación, estando los modelos estudiados, centrados en la teoría de utilidad aleatoria, modelos econométricos, de simulación, de simulación basada en agentes y el uso de teoría de conjuntos difusos, entre los utilizados.

La identificación de estos modelos permite concluir que existe una corriente de pensamiento científico general preocupado por conocer la dinámica con la que una evacuación se realiza, y donde se han ponderado adecuadamente los distintos elementos de análisis.

Implicaciones y trabajo futuro

Con esta revisión se han identificado los cimientos del pensamiento de frontera en cuanto al análisis de las distintas etapas de la dinámica de decisiones y actuación de una población en el caso de la ocurrencia de una emergencia de naturaleza hidrometeorológica, tal como un huracán.

Las siguientes etapas de la investigación actualmente conducida por los autores del presente artículo, consiste en la adecuación de un modelo, basado en la literatura presentada, que permita capturar los elementos de decisión para un caso de estudio en una ciudad mexicana con cierto nivel de vulnerabilidad a huracanes, y donde se responda a la realidad del estatus sociodemográfico y al entorno de decisiones propios de la población, y donde además pueda ser calibrado algún modelo que permita conocer la dinámica de la actuación de la población, y derivado de esto, se pueda llegar a contar con elementos de diseño adecuado para realizar planes de evacuación que optimicen la forma en que los recursos comprometidos en una acción de evacuación deban ser administrados.

El contar eventualmente con una mecánica de trabajo, en donde las ciudades mexicanas puedan contar con planes de evacuación que optimicen los recursos existentes durante un escenario de este tipo de emergencia, y que respondan con un buen nivel de precisión a la dinámica en cuestión, es el objetivo final para atender esta problemática de gran pertinencia y de interés nacional.

REFERENCIAS

- [1] Kunz, N. and Reiner, G. (2012). "A meta-analysis of humanitarian logistics research", *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2(2), pp. 116–147. Doi: 10.1108/20426741211260723
- [2] Na, H.S. and Banerjee, A. (2019). "Agent-based discrete-event simulation model for no-notice natural disaster evacuation planning", *Computers and Industrial Engineering*, 129, pp. 44–55. Doi: 10.1016/j.cie.2019.01.022
- [3] Sadri, A.M., Ukkusuri, S.V., Murray-Tuite, P. and Gladwin, H. (2014) "Analysis of hurricane evacuee mode choice behavior", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 48, pp. 37–46. Doi: 10.1016/j.trc.2014.08.008
- [4] Zhu, Y., Xie, K., Ozbay, K., and Yang, H. (2018). "Hurricane evacuation modeling using behavior models and scenario-driven agent-based simulations", *Procedia Computer Science*, 130, pp. 836–843. Doi: 10.1016/j.procs.2018.04.074
- [5] Murray-Tuite, P. and Wolshon, B. (2013). "Evacuation transportation modeling: An overview of research, development, and practice", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 27, pp. 25–45. Doi: 10.1016/j.trc.2012.11.005
- [6] Pel, A.J., Bliemer, M.C.J. and Hoogendoorn, S.P. (2012). "A review on travel behaviour modelling in dynamic traffic simulation models for evacuations", *Transportation*, 39(1), pp. 97–123. Doi: 10.1007/s11116-011-9320-6
- [7] Baker, E.J. (1991). "Hurricane Evacuation Behavior". Florida: IJMED. [8] Dash, N. and Gladwin, H. (2007). "Evacuation decision making and behavioral responses: individual and household", *Natural Hazards Review*, 8(3), pp. 69–77. Doi: 10.1061/(asce)1527-6988(2007)8:3(69)
- [9] Solis, D., Thomas, M. and Letson, D. (2009). "Determinants of household hurricane evacuation choice in Florida", *Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting*, Atlanta, Georgia, January 31-February 3, 2009.
- [10] Hasan, S., Ukkusuri, S., Gladwin, H. and Murray-Tuite, P. (2011). "Behavioral model to understand household-level hurricane evacuation decision making", *Journal of Transportation Engineering*, 137(5), pp. 341–348. Doi: 10.1061/(asce)te.1943-5436.0000223
- [11] Huang, S.-K., Lindell, M. K., Prater, C. S., Wu, H.-C. and Siebeneck, L.K. (2012). "Household evacuation decision making in response to hurricane Ike", *Natural Hazards Review*, 13(4), pp. 283–296. Doi: 10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000074

- [12] Lim, B. M., Lim Jr., H. and Piantanakulchai, M. (2013). "Factors affecting flood evacuation decision and its implication to transportation planning", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10, pp. 163–177. Doi: 10.11175/easts.10.163
- [13] Sarwar, M. T., Anastasopoulos, P. C., Ukkusuri, S. V., Murray-Tuite, P. and Mannering, F. L. (2016). "A statistical analysis of the dynamics of household hurricane-evacuation decisions", *Transportation*. Springer US, 45(1), pp. 51–70. Doi: 10.1007/s11116-016-9722-6
- [14] Yang, H., Morgul, E. F., Ozbay, K. and Xie, K. (2016). "Modeling evacuation behavior under hurricane conditions", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2599(1), pp. 63–69. Doi: 10.3141/2599-08
- [15] Fu, H. and Wilmot, C. G. (2004). "Sequential logit dynamic travel demand model for hurricane evacuation", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1882(1), pp. 19– 26. Doi: 10.3141/1882-03
- [16] Gudishala, R. and Wilmot, C. (2013). "Comparison of time-dependent sequential logit and nested logit for modeling hurricane evacuation demand", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2312(1), pp. 134–140. Doi: 10.3141/2312-14
- [17] Gehlot, H., Sadri, A. M. and Ukkusuri, S. V. (2018). "Joint modeling of evacuation departure and travel times in hurricanes", *Transportation*, pp. 1–22. Doi: 10.1007/s11116-018-9958-4
- [18] Bian, R., Wilmot, C. G., Gudishala, R. and Baker, E. J. (2019). "Modeling household-level hurricane evacuation mode and destination type joint choice using data from multiple post-storm behavioral surveys", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 99, pp. 130–143. Doi: 10.1016/j.trc.2019.01.009
- [19] Rendón Rozo, K., Arellana, J., Santander-Mercado, A. and Jubiz-Diaz, M. (2019). "Modelling building emergency evacuation plans considering the dynamic behaviour of pedestrians using agent-based simulation", *Safety Science*, 113, pp. 276–284. Doi: 10.1016/j.ssci.2018.11.028
- [20] Troncoso, G. and Hato, E. (2016). "Accounting for spatial correlation in tsunami evacuation destination choice: a case study of the Great East Japan Earthquake", *Natural Hazards*, 84(2), pp. 797–807. Doi: 10.1007/s11069-016-2457-z
- [21] Haghani, M. and Sarvi, M. (2017). "Stated and revealed exit choices of pedestrian crowd evacuees". *Transportation Research. Part B*, 95(C), pp. 238–259. Doi: 10.1016/j.trb.2016.10.019
- [22] Han, Y., H. Liu, and P. Moore, (2017). "Extended route choice model based on available evacuation route set and its application in crowd evacuation simulation", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 75, pp. 1–16. Doi: 10.1016/j.simpat.2017.03.010
- [23] Haghani, M. and Sarvi, M. (2017). "How perception of peer behaviour influences escape decision making: The role of individual differences", *Journal of Environmental Psychology*, 51, pp. 141–157. Doi: 10.1016/j.jenvp.2017.03.013
- [24] Mosta, A., Wang, H., Cox, D., and Dong, S. (2019). "An agent-based vertical evacuation model for a near-field tsunami: choice behavior, logical shelter locations, and life safety". *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 34, pp. 467–479. Doi: 10.1016/j.ijdr.2018.12.018
- [25] Sutter, D. (2007). "The economic value of hurricane forecasts: an overview and research needs". *Natural Hazards Review*, 8(3), pp. 78–86. Doi: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2007)8:3(78)
- [26] Czajkowski, J. (2016). "Is it time to go yet? Understanding household hurricane evacuation decisions from a dynamic perspective". *Natural Hazards Review*, 12(2), pp. 72–84. Doi: 10.1061/(ASCE)NH.1527- 6996.0000037
- [27] Koot, J.M., Kowald, M. and Axhausen, K.M. (2012). *Modelling behaviour during a large-scale evacuation. A latent class model to predict evacuation behaviour*, Institute for Transport Planning and Systems. Swiss Federal Institute of Technology Zurich.
- [28] Hsu, Y. and Peeta, S. (2012). "An aggregate approach to model evacuee behavior for no-notice evacuation operations An aggregate approach to model evacuee behavior for no-notice evacuation operations", *Transportation*, 40(3), pp. 671–696. Doi: 10.1007/s11116-012-9440- 7



5. INNOVACIÓN METODOLÓGICA

- How is the process to quantify qualitative information? an approach to reduce pairwise comparisons for supply chain problems
- Application of different metaheuristics in the solution of the problem of the traveling agent
- Comparación de la red neuronal perceptron multicapa y red neuronal de base radial: modelo de predicción y clasificación.
- Propuesta para el diseño conceptual de cadenas de suministro sustentables mediante un procedimiento de modelación y validación.
- Diseño y desarrollo de una red neuronal multicapa para pronosticar las emisiones de CO2 de la empresa RaSa
- Un modelo p-mediana modificado para optimizar la ubicación de instalaciones considerando la planta matriz.
- La función de pérdida como indicador de aprendizaje de una red neuronal multicapa
- Distribución detallista de mercancías de consumo de rápido movimiento: caracterización de una unidad de análisis

How is the process to quantify qualitative information: an approach to reduce pairwise comparisons for supply chain problems

Cesar J. Montiel Moctezuma
National Laboratory for Transportation Systems and Logistics
Mexican Institute of Transportation Querétaro, México
cmontielmoctezuma@gmail.com

Miguel Gastón Cedillo- Campos
National Laboratory for Transportation Systems and Logistics
Mexican Institute of Transportation Querétaro, México
gaston.cedillo@imt.mx

Jared Piña-Barcenas
National Laboratory for Transportation Systems and Logistics
Mexican Institute of Transportation Querétaro, México
jpina@imt.mx

Carlos Mario Perez-Gonzalez
Tecnologico de Monterrey Estado de México, México
carlosmario_pego@hotmail.com

Abstract—Supply chain (SC) and logistics has obtained a growing interest by academic in the last years due to the increase of recently problems around the world on topics as resilience, security, risk, etc. Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) methods have been used to solve these kind of problems for SC and logistics, but most of the research has been focused on development of some indicators which are hard to implement due to lack of information or incorrect data obtained from involved people which are experts in these areas. In existing MCDA methods there is a problem, time from experts to obtain evaluations increase as long as the number of criteria and alternatives grow up. This research proposes a methodology to improve how the information is obtained in methods which solve Multi-Criteria Decision Making (MCDM) problems with qualitative data combining different strategies existed in the literature. It is mainly based in the Saaty Rating Scale and how pairwise comparisons are implemented and mapped from a ranking selected by the experts. The methodology demonstrates a decrease of interactions with experts to reduce the inconsistency of evaluations.

Keywords—Multi-Criteria Decision Analysis; Supply Chain; Saaty Rating Scale; Multi-Criteria Decision Making;

I. INTRODUCTION

In the last decade, supply chains (SC) are face up to numerous events that threaten to disrupt operational activities and reduce the results performance. In response to growing concerns about SCs environmental and social impacts, various stakeholders are putting pressure on organizations to reduce harmful impacts in their SCs. The entities responsible of SC are obliged to measure, control and disclose the entire SC performance [1].

Real life supply chain management applications involve several kind of problems where decision makers need to select the best alternatives of solutions to these problems [2]. Multi- criteria decision-making (MCDM) methods are the appropriate approach to meet this requirement due to these methods are used to solve problems that require the processing of imprecise, uncertain, qualitative or vague data [3] [4].

These MCDM methods have been used to solve logistic area in different aspects, e.g. to define the sustainability performance of SCs[1], to evaluate urban land use planning [5], to define locations for warehouses in logistics networks [6], locations for global logistics hubs to decrease logistics costs [7] and to propose complements the warehouse management policies [4]. Others focus on problems related with products, specially, how suppliers have the best effects of competitiveness in the entire SC [8]. Some more practical applications of MCDM methods have been applied in improving the maintenance delivery for manufacturing [9]. Otherwise, there exist researches about evaluations and ranking of projects of logistics platforms to establish a competitive logistical territorial management in different regions [10].

A relevant area for social problems in logistics is called Green Logistics, where fields of decision support include strategy creation and planning, ecological transport, real estate logistics or material flow management in a whole supply chain [11]. Other area where MCDM methods have been applied in an effective way is in agricultural SCM to

determine the relationships intensity between criteria in different problems as such the problems described in Gardasa research [12].

Another important topic in logistics that uses MCDM methods to solve problems is resilient supply chain. On this area, there are researches that focus on environmental performance evaluations identifying appropriate criteria based on which the environmental performance evaluation can be carried out [13]. There is a review of quantitative methods for resilience where is described an analysis of this methods according to key features of supply chain resilience and different problems, modelling and methodologies [13]; and for selection of sustainable third party logistic providers [14]. There are also researches about hybrid MCDM-fuzzy [15] methods and analysis with inverse models to asses sustainability of supply chains [16]. MCDM used to solve these problems have some particular features which are described in next Section.

One of the main problems that researchers face when using MCDM is that the time needed to evaluate is increased according to the number of alternatives. Most of the problems have a high number of alternatives to analyze. Taking account that most of evaluation are made to convert qualitative to quantitative evaluations as mentioned for [38], there is no a proper scale to evaluate and reduce iterations necessary for its analysis. The aim of this research is to propose a methodology to improve how the information is obtained especially when involving qualitative data combining different strategies existed in the literature.

The paper is structured in the following way. Section II describes some features of MCDM methods and how these methods are classified. In Section III is described how the information is obtained in MCDM methods, the existing strategies and how the problems that used pairwise comparisons are categorized. In Section IV is described how the methodology proposed works and the advantages of use this idea against methods existing in literature. Finally, in Section V are the conclusions of this research and future work

II. MULTICRITERIA DECISION MAKING

MCDM is a class in Operations Research which is responsible for modeling decision problems under the presence of a number of decision criteria. MCDM is divided into Multi-Objective Decision Making (MODM), and Multi-Attribute Decision Making (MADM) [17]. The first one studies decision problems in which the decision space is continuous, the last one concentrates on problems with discrete decision spaces.

Although MADM methods may be diverse, most of the time, there are some aspects in common, each method generally comprises five components: i) goal; ii) decision maker's preferences; iii) alternatives; iv) criteria; and v) outcomes. Alternatives represent the different available options for the decision maker. Each MADM problem is associated with multiple attributes, attributes are also referred as goals or decision criteria and represent different dimensions from which the alternatives can be viewed. In some problems, the number of attributes is too large, therefore, they may be arranged in a hierarchical manner, which means, each attribute is associated with several sub-attributes.

Most of the MADM methods require that the attributes must be have assigned weights of importance. These weights are normalized to add up to one. Also, MADM problems are expressed in matrix format called decision matrix. On this matrix, each element indicates the performance of one alternative evaluated in terms of a decision criterion. The decision maker needs to determine the weights of relative performance of decision criteria. Due to some attributes represents different dimensions of the alternatives and they can be represented with different units of measure, they may conflict each other.

There are others ways to classify MCDM methods. One way is according to the type of data they use. That is, methods use qualitative or quantitative information to define weights for each alternative and criterion. Also, these methods can be

classified in deterministic, stochastic or fuzzy, however, there are a lot of problems which involve combinations of different data types [5].

MCDM methods are also classified according: i) to the context of the problem that face up; ii) the methodology to solve problems; and, iii) the generated solutions [18]. On this classification exists different approaches as multi-attribute utility, value functions, pairwise comparisons, outranking, distance to ideal point methods, fuzzy and hybrid approaches.

On multi-attribute utility and value functions methods define an expression for preferences of the decision maker through. The use of value functions which results in the transformation of all criteria into a common dimension scale [19].

Pairwise comparisons approach involves comparing pairs of criteria by asking the importance between criteria according to a pre-defined scale. These methods are useful when it is not possible to define utility functions [20]. Outranking methods are based on the principle that one alternative may have a dominance degree over another. The advantage is that they avoid compensation between criteria and any normalization process which alters the original data [21]. In distance methods the alternatives are evaluated and ordered based on their ideal point distance which represents hypothetical alternatives for the goal(s) of the decision maker, the closest alternative is the best solution [22].

There are many other alternative ways for classifying MADM methods. In fact, there are developed frameworks to select the best MCDM according to the problem [23]. However, this research does not focus in the methods themselves, but on how data is estimated before any method is selected to solve the problem.

III. DATA ESTIMATION FOR MCDM PROBLEMS

One of the most crucial steps in MCDM methods is how data are estimated in the problems, especially when the information from the decision maker needs

to be qualitative. In most of cases, qualitative data cannot be obtained in terms of absolute values, furthermore, the information obtained is very difficult to quantify it correctly. Several methods determine a relative importance of the alternatives according to each criterion involved in the decision making problem to avoid the disadvantage of qualitative information.

One of the most important and effective approached based in pairwise comparisons was proposed by Saaty in 1980[24]. Pairwise comparisons are used to define relative importance of each alternative with each criterion. In this approach a decision maker has to evaluate and define the value of each pairwise comparison according to personal opinion. In this case, each choice is a linguistic phrase with a different numerical value associated with every statement.

The main problem with pairwise comparison is how to quantify the linguistic choices selected by the decision maker. In all methods which use pairwise comparisons describe the qualitative answers into some numeric values, in most of the cases, this values are ratios of integers. A case in which pairwise comparisons are not ratios is described in Triantaphyllou research [25]. In MCDM problems which use qualitative information, pairwise comparisons are the keystone of decision making process as long as the data are correctly quantified.

It is possible to classify the problems of using pairwise comparisons into three categories. Each category (involves/implies) from quantify the qualitative information with the decision maker, until processing and including the final decision matrix to the MCDM methods. The categories are: how to quantify the pairwise comparisons, how to process the resulted reciprocal matrices and how to process the decision matrices.

A. Process to quantify pairwise comparisons

Pairwise comparisons are quantified by using a one to one scale. Its main objective is mapping between the set of discrete linguistic choices available for the decision maker and a discrete set

of numbers which represent the importance of these choices. There are existing scales that have been found in the literature to solve MCDM problems. The most used scales are the scale proposed by Saaty in 1980 as a part of the AHP [26] and the exponential scale proposed by Lootsma in 1988, 1990 [27].

The first approach is a scale defined in the interval [9, 1/9] where the available values for the pairwise comparisons are members of the set {9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9} and each value represent an available linguistic choice [28] described in Table 1. The basic idea is to compare one criterion with another. In this way, if criterion A is absolutely more important than a criterion B, it will be rated at 9, then, B is absolutely less important than A and it will be rated with 1/9. The pairwise comparison are carried out for all criteria and all alternatives considered in the problem, but There is a problem with the distribution of the values, in the interval [9, 1] all values are evenly distributed, while in the interval [1, 1/9] the values are skewed to the right.

Table 1. The SAATY rating scale

Intensity of Importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two factors contribute equally to the objective
3	Somewhat important	Experience and judgement slightly favour one over the other
5	Much more important	Experience and judgement strongly favour one over the other
7	Very much important	Experience and judgement very slightly favour one over the other. Its importance is demonstrated in practice
9	Absolutely important	The evidence favouring one over the other is of the highest possible validity
2, 4, 6, 8	Intermediate values	When compromise is needed

An alternative scale with the values evenly distributed in the interval [1, 1/9] is an approach originally proposed by Ma and Zheng in 1991 which is mention in Triantaphyllou research [5]. This consideration follow the values in set {9, 9/2, 9/3, 9/4, 9/5, 9/6, 9/7, 9/8, 1, 8/9, 7/9, 6/9, 5/9, 4/9, 3/9, 2/9, 1/9}. The advantage of this scale is the fact of each successive value on the interval

is 1/9 units apart from one another and all values are evenly distributed while in Saaty proposal the values are reciprocals.

On the other hand, Triantaphyllou also explain exponential scales [5], these scales are based on an observation in psychology about stimulus perception defined as e_i where the difference $e_{n+1} - e_n$ must be greater than or equal to the smaller perceptible difference which is proportional to e_i . As a result, the numerical equivalents of these linguistics choices need to satisfy some relations defined in the scale. Another difference between exponential scales and Saaty scale is the number of categories allowed by the exponential scales. There are only 4 distinct categories, and 3 threshold categories between them.

There are other cases where the numerical scale that represents the comparisons values are mapped into an interval numeric scale. In this sense, each linguistic term which compared two elements is transformed into an interval numbers to define a fuzzy number. These cases are focused in strategies to implement fuzzy information in the MCDM [29] through a framework [30], a methodology to personalize the intervals [31], or defining linguistic preference relations [32][33].

B. Processing reciprocal matrix with pairwise comparisons

The first requirement on this step is that all values of pairwise comparisons have been obtained from the decision maker. These values represents the relative performance of each alternative when it is compared with the others in terms of each criterion. This information is used to determine the relative weights of the alternatives according to each criterion. The most common strategy is to normalize the elements in the matrix to generate the respective weights. Saaty proposed a method which asserts that the desired weights are the elements of the right principal eigenvector of the matrix [34], others researchers proposed some formulations to define weights through constrained optimization problems [5] where they try to minimize the error involved in pairwise

comparisons when maximize or minimize (depending of the problem) the cost function with the weight of each alternative as decision variables. This method has been used and evaluated for many researchers in different areas, but authors have been proposed improve variations of this method and alternative approaches [17] [27] [34] [35].

The problem with pairwise comparisons is that the matrix generate an inconsistency with generated information from experts, due to the final decisions from experts. An idea to reduce the inconsistency in pairwise comparison matrix is to recalculate the matrix through some formulas which generate automatically this values [36]. A separable form for AHP method is another idea to solve inconsistency problem [34] where it focuses on a procedure for conducting a statistical analysis which is applied to the data of a ratio estimation through a regression model.

C. Processing the decision matrices

The main goal of MCDM methods is to process the final decision matrix which involves the evaluation of all criteria and alternatives to obtain the relative performance of decision criteria and the performance of the alternatives according each criterion. Then determine the ranking of the alternatives regarding relative priorities. However, each MCDM method can give different answers to the same problem. The reason is the strategy to generate the pairwise comparisons matrix and how this information is processed. The most difficult problem is how multi-dimensional decision making methods can be evaluate when the best alternative is not known [37].

Another idea to reduce the inconsistency in pairwise comparison matrix is to recalculate the matrix through some formulas which generate automatically this values [36]. A separable form for AHP method is another idea to solve inconsistency problem [34] where it focuses on a procedure for conducting a statistical analysis which is applied to the data of a ratio estimation through a regression model.

IV. METHODOLOGY APPROACH

The idea of this research is to define a methodology to generate in a better way a decision matrix for pairwise comparisons reducing the interaction with the experts. This methodology do not search to outrank traditional MCDM instead it looking for improve these methodologies in the process of get and estimate information specific in qualitative information obtained from experts.

In several cases, when the information is obtained stakeholders. Pairwise comparisons need to be applied to each person involved through questionnaires. Comparisons are implemented with questions confronting each alternative against other for each criterion. When there are a lot of variables or criteria to evaluate, and there are a lot of different solution alternatives, these questionnaires are labor-intensive due to the large number of questions.

A decision matrix in any MCDM problem can be expressed as a matrix A with size $M \times N$ in which element a_{ij} indicates the performance of alternative A_i when is evaluated in terms of decision criterion C_j (for $i=1, 2, 3... M$; and $j=1, 2, 3...N$)

In case of pairwise comparison matrix [5], there is a little change in the matrix show in Table 2, in this case, the matrix generated after experts define values for each alternative and criterion [28] is shown in Table 3. A pairwise comparison matrix is a $n \times n$ matrix where a_{ij} represents the preference numerical value of the element i against the element j when is evaluated in terms of a decision criterion (for $i=1, 2, 3... n$; and $j=1, 2, 3...n$). Therefore, when i and j have the same value, the element is compared against itself, and the resulting value is 1.

Tabla 3. A pairwise comparison matrix

	a_1	a_2	a_3	...	a_n
a_1	1	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}
a_2	a_{21}	1	a_{23}	...	a_{2n}
a_3	a_{31}	a_{32}	1	...	a_{3n}
...
a_n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	1

This matrix is repeated for each different criterion that exists in the problem [38].

Scientific have been worked to reduce the full set of questions to obtain this pairwise comparisons [26], the full set size is dependent of an equation (1) that represents judgments and the total number of elements to compare. Using interval judgments eventually leading to the use of optimization and statistical procedures is a complex process which is often replaced by comparing ranges of values of the criteria, performing sensitivity analysis, and relying on conditions for the insensitivity of the eigen vector to perturbations in the judgments. These judgments may be considered as random variables with probability distributions.

$$A = \frac{n(n - 1)}{2} \tag{1}$$

One problem with pairwise comparison is found in the number of judgments, it is increased exponentially as long as the number of criteria and alternatives increased, and it is demonstrated in Figure 1.

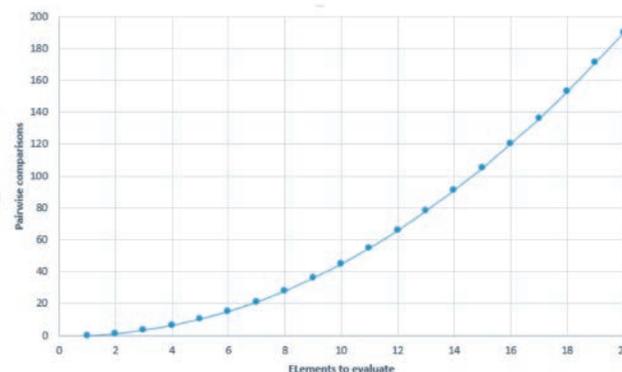


Figure 1. Pairwise comparisons according to elements to evaluate

Tabla 2. A typical decision matrix

Alternatives	Criteria				
	C_1	C_2	C_3	...	C_N
	W_1	W_2	W_3	...	W_N
A_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1N}
A_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2N}
A_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3N}
...
A_M	a_{M1}	a_{M2}	a_{M3}	...	a_{MN}

The idea to reduce the number of evaluations that experts need to assets is to define a value which represents the importance for each element to evaluate. This value will be the importance in a range defined for each question according to the values mapping range for set [9, 1/9] in Saaty scale, but this range may change depending of selected set to obtain pairwise comparisons.

Saaty scale in most of cases is composed of set [1, 9] as shown in Table 1, but it can change due to homogeneity and clustering features that are used to extend the fundamental scale from 1-9 to 1-∞ [26]. Clustering is the feature that permits to compare an alternative against other alternatives in different clusters, and it must be done separately for each criterion. In most decision problems, there may be one or more levels of clusters and there may be more than two ranges of homogeneous elements. Elements may be ordered according with the importance and can be generalized to a group or cluster, e.g. each element has a different priority which could be categorized in order of magnitude, these categories may affect the final decision because the elements in the smallest category have little effect on final decision [26] compared with greater magnitude categories.

Once, the values' limit for the pairwise comparisons has been eliminated, the next step is to define the evaluative values which will be used to define the intensity of importance of each element. This values may be defined according to Saaty values, percentages of importance, or another strategy, qualitative or quantitative, no matter the number of choices for evaluations. The original values obtained by AHP [24] are represented in Table 4. On this table the pairwise comparisons obtained from the experts are described as a_{ij} where the element i is evaluated with element j , and the matrix is completed with the reciprocal value of each comparison.

On the other hand, this strategy is replaced with the matrix in Table 5 which is similar to any MCDM for quantitative information where a_i

Table 4. Pairwise comparisons obtained by judgments

	e_1	e_2	e_3	...	e_n
e_1	1	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}
e_2	$1/a_{12}$	1	a_{23}	...	a_{2n}
e_3	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1	...	a_{3n}
...
e_n	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$...	1

represents the importance of element i against the complete set of elements $e_i \subset \mathcal{E}$ where \mathcal{E} represents all alternatives or criteria in the problem.

Table 5. Importance for elements before pairwise comparisons

Intensity of Importance	
e_1	a_1
e_2	a_2
e_3	a_3
...	...
e_n	a_n

The proposal reduces the number of interactions of decision maker with the pairwise comparisons matrix. Due to the pairwise comparisons are generated automatically with the intensity of importance of each individual alternative in terms of each criterion, as Figure 2 shows.

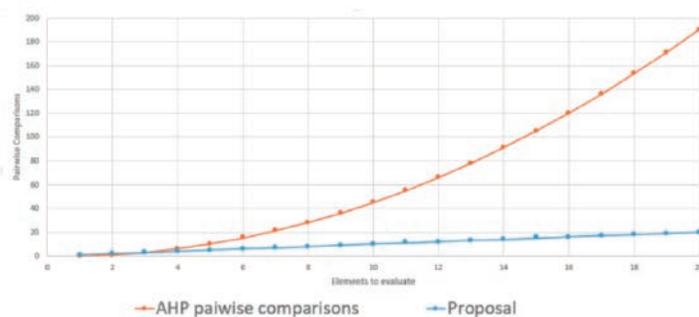


Figure 2. Pairwise comparisons between AHP and this proposal

Next step is to transform this information in a pairwise comparisons matrix though a methodology that connect the elements among themselves. In the most of cases, comparisons are expressed as ratios to define the relation of relative

importance [34]. There is an example where the author do not use ratios, instead, he uses differences [25] that represents pairwise comparisons of relative similarity. According to this research the comparative judgments express the difference of the degree to which a certain feature is present in pairs of objects. Every pairwise comparison of relative similarity represents the assessment by the decision maker of the absolute difference $|A_i - A_j|$ of the degree to which a feature is present in the elements i and j . On this type of comparisons the decision maker focuses on the similarity relations among pairs of objects. On this case, a scale is needed to quantify pairwise comparisons of relative similarity, an approach [25] is described in Table 6.

Table 6. Similarity scale

Intensity of Similarity	Definition
0	The two objects are identical
0.10	Almost identical
0.20	Very similar
0.30	Almost very similar
0.40	Almost similar
0.50	Similar
0.60	Almost dissimilar
0.70	Almost very dissimilar
0.80	Very dissimilar
0.90	Almost completely dissimilar
1	Completely dissimilar

Principal limitation of defining a difference between comparative values is that all differences need to be mapped in a similar scale because of the risk of losing information. For terms of this research, a difference between values is used, but is not mapped in a table, instead, is used an equation that represents which values are obtained according to result of differences (2). In this way, pairwise comparisons matrix can be generated with the reciprocal values described in but the value a_{ij} is replaced with $z_{i,j}$.

$$z_{i,j} = \begin{cases} x_i - x_j + 1 & : \text{if } x_i > x_j \\ z = 1 & : \text{if } x_i = x_j \\ \frac{1}{|x_i - x_j| + 1} & : \text{if } x_i < x_j \end{cases} \quad (2)$$

Inconsistency of evaluations can occur already in the case of three or more elements, e.g. if the first object is evaluated higher than the second one, and the second one higher than the third one, then the third object cannot be evaluated higher than the first one; if this condition is not satisfied, we obtain an inconsistency [36]. On this proposal, due to the comparisons between elements are generated automatically, the choices of decision maker do not affect directly in results after the scale and normalization are applied, this reduces the inconsistency that could be caused by the evaluations obtained in the final pairwise comparisons matrix.

Finally, after the normalized comparisons matrix is generated, the last step is to define which method still with the process to solve the defined MCDM problem, it could be AHP, ANP, or another qualitative method.

V. CONCLUSIONS

This research proposed a mapping scale to reduce in effective way the number of comparisons that the decision makers need to reply when a MCDM problem has qualitative information. This idea is a combination of several researchers which have worked to reduce inconsistency problems, quantification problem of pairwise comparisons and reciprocal matrix generation problems. Advantages are that it can be applied with quantitative information to generate pairwise comparisons an it can reduce drastically the inconsistency in comparisons because it avoid the direct interaction with decision makers and generated errors by human decisions, due to the size of the pairwise comparisons matrix increase, the problem of inconsistency evaluations increase, too.

This approach can be used in different kind of logistic problems, in several cases, due to the decision makers need a lot of time to evaluate each criterion in the MCDA, additionally, the MCDM problems in logistic area consider a large number of criteria with different features and several alternatives at the same time, consequently, the pairwise comparisons is complicated to complete with the minimum inconsistency.

A current work includes an implementation of this methodology to logistic problems in Mexico aiming to consider all variables as criteria involved in transportation systems to compare results with AHP and ANP methods. Future work can be research of the impact of these results in other kind of problems and with other methodologies that focus in group decision makers like MAMCA.

ACKNOWLEDGMENT (Heading 5)

The authors acknowledge all the support provided by the National Council of Science and Technology of Mexico (CONACYT) through the research program “Laboratorios Nacionales” (National Laboratories) as well as by the Mexican Logistics and Supply Chain Association (AML), and the Mexican Institute of Transportation (IMT).

REFERENCES

[1] A. Qorri, Z. Mujkić, and A. Kraslawski, “A conceptual framework for measuring sustainability performance of supply chains,” *J. Clean. Prod.*, vol. 189, pp. 570–584, 2018.

[2] A. M. Torkabadi, E. Pourjavad, and R. V. Mayorga, “An integrated fuzzy MCDM approach to improve sustainable consumption and production trends in supply chain,” *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 16, pp. 99–109, 2018.

[3] P. Dheena and G. Mohanraj, “Multicriteria decision-making combining fuzzy set theory, ideal and anti-ideal points for location site selection,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 10, pp. 13260–13265, 2011.

[4] M. G. Cedillo-Campos and H. O. Cedillo-Campos, “W@reRISK method: Security risk level classification of stock keeping units in a warehouse,” *Saf. Sci.*, vol. 79, pp. 358–368, 2015.

[5] E. Triantaphyllou, B. Shu, S. Nieto, and T. Ray, “Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach,” *Encycl. Electr. Electron. Eng.*, vol. 15, pp. 175–186, 1998.

[6] I. Jacyna-Golda and M. Izdebski, “The Multi-criteria Decision Support in Choosing the Efficient Location of Warehouses in the Logistic Network,” *Procedia Eng.*, vol. 187, pp. 635–640, 2017.

[7] I. Essaadi, B. Grabot, and P. Féliès, “Location of global logistic hubs within Africa based on a fuzzy multi-criteria approach,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 132, no. April, pp. 1–22, 2019.

[8] Y. Cheng et al., “An intelligent supplier evaluation model based on data-driven support vector regression in global supply chain,” *Comput. Ind. Eng.*, no. April, pp. 1–11, 2019.

[9] D. Sabaei, J. Erkoyuncu, and R. Roy, “A review of multi-criteria decision making methods for enhanced maintenance delivery,” *Procedia CIRP*, vol. 37, pp. 30–35, 2015.

[10] J. P. Antún and R. Alarcón, “Ranking Projects of Logistics Platforms: A Methodology Based on the Electre Multicriteria Approach,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 160, no. Cit, pp. 5–14, 2014.

[11] J. Watróbski, “Outline of Multicriteria Decision-making in Green Logistics,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 16, no. March, pp. 537–552, 2016.

[12] B. B. Gardas, R. D. Raut, N. Cheikhrouhou, and B. E. Narkhede, “A hybrid decision support system for analyzing challenges of the agricultural supply chain,” *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 18, pp. 19–32, 2019.

[13] P. Chithambaranathan, N. Subramanian, A. Gunasekaran, and P. K. Palaniappan, “Service supply chain environmental performance evaluation using grey based hybrid MCDM approach,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 166, pp. 163–176, 2015.

[14] K. Govindan, M. Kadziński, R. Ehling, and G. Miebs, “Selection of a sustainable third-party reverse logistics provider based on the robustness analysis of an outranking graph kernel conducted with ELECTRE I and SMAA,” *Omega (United Kingdom)*, vol. 85, pp.1–15, 2019.

[15] A. Mohammed, I. Harris, A. Soroka, and R. Nujoom, “A hybrid MCDM-fuzzy multi-objective programming approach for a G- resilient supply chain network design,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 127, no. July 2017, pp. 297–312, 2019.

- [16] M. Kalantary and R. Farzipoor Saen, "Assessing sustainability of supply chains: An inverse network dynamic DEA model," *Comput. Ind. Eng.*, no. xxxx, pp. 1–15, 2018.
- [17] A. Kumar et al., "A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. November 2016, pp. 596–609, 2017.
- [18] J. F. Raigoza Loaiza, "Application of Multi-criteria Methods (MCDA) for long-term energy planning in the cement industry," 2016.
- [19] M. Morrone, *Comparative Risk Assessment and Environmental Decisionmaking*, vol. 26, no. 1. 2006.
- [20] M. Velasquez and P. T. Hester, "An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods," vol. 10, no. 2, pp. 56–66, 2013.
- [21] A. Kangas, J. Kangas, and J. Pykäläinen, "Outranking methods as tools in strategic natural resources planning," *Silva Fenn.*, vol. 35, no. 2, pp. 215–227, 2001.
- [22] R. Greene, R. Devillers, J. E. Luther, and B. G. Eddy, "GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis," vol. 6, pp. 412–432, 2011.
- [23] J. Wątróbski, J. Jankowski, P. Ziemia, A. Karczmarczyk, and M. Ziolo, "Generalised framework for multi-criteria method selection," *Omega (United Kingdom)*, vol. 86, pp. 107–124, 2019.
- [24] Saaty R.W, "the Analytic Hierarchy Process-What and How It Is Used It Is," *Int. J. Adv. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 19–24, 2012.
- [25] E. Triantaphyllou, "A Quadratic Programming Approach in Estimating Similarity Relations," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 1, no. 2, pp. 138–145, 1993.
- [26] T. L. Saaty and L. G. Vargas, "The Seven Pillars of the Analytic Hierarchy Process," *Model. Methods, Concepts Appl. Anal. Hierarchy Process*, vol. 34, 2012.
- [27] E. TRIANTAPHYLLOU and S. H. Mann, "AN EVALUATION OF THE EIGENVALUE APPROACH," vol. 35, pp. 295–301, 1990.
- [28] C. Geoff, "the Analytic Hierarchy Process (Ahp)," *Pearson Educ.Ltd.*, no. 1980, pp. 1–11, 2004.
- [29] Y. Dong, J. Xu, Y. Dong, and J. Xu, "Numerical Scale Model," *Linguist. Decis. Mak.*, vol. 2, pp. 17–37, 2018.
- [30] A. Bose and A. Bose, "A unified framework," *Patterned Random Matrices*, pp. 1–24, 2018.
- [31] Y. Dong and J. Xu, *Consistency-Driven Methodology*. 2018.
- [32] Y. Dong, J. Xu, Y. Dong, and J. Xu, *Applications in Various Decision Problems*. 2018.
- [33] Y. Dong and J. Xu, *Consistency of Interval-Like Reciprocal*. 2018.
- [34] M. Bernasconi, C. Choirat, and R. Seri, "The Analytic Hierarchy Process and the Theory of Measurement," *Manage. Sci.*, vol. 56, no.4, pp. 699–711, 2010.
- [35] S. Hosseini, D. Ivanov, and A. Dolgui, "Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 125, no. February, pp. 285–307, 2019.
- [36] S. Jarek, "Removing Inconsistency in Pairwise Comparisons Matrix in the AHP," *Mult. Criteria Decis. Mak.*, vol. 11, pp. 63–76, 2017.
- [37] E. Triantaphyllou and S. H. Mann, "An examination of the effectiveness of multi-dimensional decision-making methods: A decision-making paradox," *Decis. Support Syst.*, vol. 5, no. 3, pp. 303–312, 1989.
- [38] A. Casañ, "Multi-criteria decision; application in the selection of competitive offers in building," 2013.

Application of different metaheuristics in the solution of the problem of the traveling agent

Jacob Ortega Gómez
Doctorado en Ciencias de la Ingeniería
Instituto Tecnológico de Celaya Celaya, Gto. México
jacobmagno6@hotmail.com

Edgar Augusto Ruelas Santoyo
Departamento de Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de Irapuato Irapuato, Gto. México
edruelas@itesi.edu.mx

José Alfredo Jiménez García
Departamento de Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de Celaya Celaya, Gto. México
alfredo.jimenez@itcelaya.edu.mx

Jonathan Cuevas Ortuño
Departamento de Ingeniería Industrial
Tecnológico de Monterrey Campus Guadalajara
Guadalajara, Jal. México
jonathan.cuevas@itesm.mx

Salvador Hernández González
Departamento de Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de Celaya Celaya, Gto. México
salvador.hernandez@itcelaya.edu.mx

Sandra Téllez Vázquez
Departamento de Logística Universidad Politécnica de
Guanajuato Cortazar, Gto. México
stellez@upgto.edu.mx

Abstract - The need to find optimal routes in companies, using unconventional methods, such as the problem of the traveling agent (TSP), leading specialists in the area, as read in different scientific articles, using multiple methods to reach a Reasonable place in a reasonable time. The application of heuristics is one of the most common proposals to achieve that local success with success. In this article, the classic TSP, a problem of manufacturing times is applied, is obtained from the specialized literature, is solved using several metaheuristic methods and its solutions are contrasted on the basis of the maximum gain obtained in comparison with the methods heuristics In addition, a real-world problem is solved by one of these metaheuristics, as an example of application. The results reveal that the use of metaheuristics to this problem exceeds the heuristics in time and gain, in addition to showing the different ways of applying these metaheuristic algorithms to a TSP problem.

Keywords – Traveling agent problem; metaheuristics; taboo search; simulated annealing; genetic algorithms.

I. INTRODUCTION

Optimal routes in companies are the most important component for most organizations, because the success of a supply chain is closely related to its design and proper use [1]. One method to find these optimal routes is the so-called "Traveler Agent Problem".

The Problem of the Traveling Agent (TSP), basically consists of a traveler who wants to visit n cities one and only once each, starting with any of them and returning to the same place from which he left; Assuming you know the distance between any two cities, in what way should you travel if you intend to minimize the total distance? [two]. The problem of the traveling agent has been studied extensively in the literature. Although it is not easy to solve, it is continuously sought to reach a more efficient solution [3]. In the present article several methods of solution are presented by applying metaheuristics, it is made known to those interested in the subject, how to work the algorithms for taboo search, genetic algorithms and simulated annealing, comparing the local optima found, with well-known heuristics in the literature as they are heuristic of exhaustive enumeration, of the nearest neighbor and investment heuristic.

Intuitively, when you think in terms of graphs, local optima of multivariable functions are peaks, as with the functions of a single variable. The word "local" is used to distinguish it from the global optimum of the function, which is the only greater value that the function can reach. If you are on top of a mountain, it is a local maximum, but unless the mountain is Mount Everest, it is a global maximum [4]. For this case we are looking for solutions that are better than those already proposed by exhaustive enumeration heuristics, the nearest neighbor and investment heuristics., But the proposed algorithms can be applied to different variants of TSP seeking to find those local optima.

Heuristic (heuristiké), is a Greek root term that means to help to find, and with it designates the orientations and criteria that have creative qualities [5].

A frequent problem is that with the term heuristic a great number and variety of rules or principles of action are designated, and for very different areas. In addition, heuristic algorithms, although they do not guarantee optimal solutions, allow a more intuitive understanding of the problem and arrive at solutions that are usually quite close to the optimum in considerably shorter times [6]. This article is focused on the problem of the traveling agent, applied to manufacturing times.

In reality, TSP applications go beyond the classic definition of visiting cities. Some examples of applications that show how the classic TSP model can be adapted are the following [7]:

Integrated circuit card. Holes are drilled in identical circuit boards to mount the electronic components. The cards are fed in sequence under a mobile drill. The goal is to determine the sequence that completes the drilling of all the holes in a card in the shortest possible time. In the TSP model, the holes represent the cities, and the displacements between the holes represent the distances.

Obtaining celestial images. The US space agency, NASA, uses satellites to obtain images of celestial objects. The amount of fuel needed to reposition the satellites depends on the sequence in which the images of the objects are taken. The goal is to determine the optimum imaging sequence that minimizes fuel consumption. In the TSP model, a celestial object is considered as a city. The distance is transformed into fuel consumption between two successive objects.

Sequencing of paints in a production plant. A company produces batches of different paints in the same production plant. When a sequence of colors is completed, a new cycle starts in the same order. The sequencing of the colors affects the preparation time (arrangement) between successive batches. The goal is to select the sequence that minimizes the total preparation time per cycle. The TSP model in this situation considers a paint color as a city and the preparation time between two colors as a distance.

This last example is the one that will be taken to study the TSP in manufacturing times, comparing the already existing results with heuristic algorithms of exhaustive enumeration, of the nearest neighbor and investment heuristic, against those proposed in this study by metaheuristics.

Metaheuristic techniques are search procedures that also do not guarantee obtaining the optimum of the problem considered and that are also based on the application of relatively simple rules.

Unlike heuristics, metaheuristic techniques try to flee from local optima, orienting the search at every moment depending on the evolution of the search process [8].

All metaheuristic techniques have the following characteristics [9]:

- They are approximate algorithms and, therefore, do not guarantee obtaining the optimal solution. Occasionally they accept bad movements (that is, they are search processes in which each new solution is not necessarily better - in terms of the objective function - than the immediately previous one). Sometimes they even accept non-feasible solutions as an intermediate step to access new unexplored regions.
- They are relatively simple; all that is needed is an adequate representation of the solution space, an initial solution (or a set of them) and a mechanism to explore the field of solutions.
- They are general. Practically they can be applied in the resolution of any combinatorial optimization problem. However, the definition of the technique will be more or less efficient to the extent that the operations are related to the problem considered.

The selection rule depends on the moment of the process and the history until that moment. If in two determinate iterations, the solution is the same, the new solution of the next iteration does not necessarily have to be the same. In general, it will not be. Although the solutions offered by the

metaheuristic techniques are not optimal and, in general, it is not even possible to know the proximity of the solutions to the optimum, they allow studying problems of great complexity in a simple way and obtaining sufficiently good solutions in reasonable times.

The most widespread metaheuristic techniques are the following: genetic algorithms, taboo search, simulated annealing, search "scatter", ant colonies, and the technique known by the English name GRASP. Neural networks also included among metaheuristic techniques, although they are of a different nature. [8] In this article we will study three of these metaheuristics: taboo search, simulated annealing and genetic algorithms.

The term Tabu Search (Tabu Search - TS) was introduced in 1986 by Fred Glover in the same article that introduced the term metaheuristics [10]. The fundamental principles of the search were elaborated in a series of articles of the late 80's and early 90's, which were later unified in the book "Tabu Search" in 1997 [11]. The outstanding success of the taboo search to solve hard optimization problems, especially those that arise in real-world applications, has caused an explosion of new applications during the last years, which are summarized in Glover et al., 2006 [12].

The taboo search allows moving to a solution, although it is not as good as the current one, so that it can escape from local optima and continue strategically searching for even better solutions [13]. Basically, the technique operates as follows: given a solution, a set of neighboring solutions of that one is examined, and the best of the neighboring ones is selected, which becomes the new solution (even if it is not better than the starting solution). However, not all neighboring solutions are candidate solutions to be a new solution, some are prohibited. This process is repeated iteratively until some previously established condition is met.

With the taboo search procedure, we try to avoid convergence around local optima. To do this, access to certain solutions is vetoed, thus avoiding

(with more or less success, depending on how the parameters of the method are configured) the cyclic repetition of a set of solutions close to a local optimum, and the exploration of potential solution regions is encouraged. interesting As indicated by Glover, 1986 [10], the taboo search procedure tries to avoid the return to previous solutions states, that is, to previously visited solutions whose best movement from it is the same as the one from the time previous in which such solution was visited.

Simulated annealing (RS) escapes entrapment in a local optimum using a probability condition that accepts or rejects a lower movement (better movement is always accepted) [7].

The algorithm begins with an initial solution (S_0), for which the value or cost $f(S_0)$ is calculated (what you want to optimize). This solution is modified, known as "disturbances", where the initial solution (S_0) is changed configuration, thus obtaining a neighboring solution (S_1) in the successive iterations. In each iteration there is a set of neighboring solutions; any of them can be the new solution and is accepted as good if it manages to reduce the cost function. The set of neighboring solutions (S_n) derived from an initial solution is known as "neighborhood" or "environment", by the concept of proximity or neighborhood between the solutions [14].

The intention is that each time the solution is modified, it reduces or maximizes its cost in order to obtain an optimized final solution; if the cost of the disturbed solution reduces the value of the neighboring solution, this cost is assigned to the initial solution: (S_0) (S).

The genetic algorithm (AG) imitates the process of biological evolution of "survival of the fittest". Each feasible solution to a problem is considered as a chromosome encoded by a set of genes [7].

The genetic algorithm adequately solves the problems of local optima that arise in problems with a large number of alternatives, since it works with a population (set of solutions), which allows it to simultaneously evaluate several regions that may be

very distant from each other in the space of solutions. This characteristic is called implicit parallelism and is one of the qualities that give high performance to the method. The genetic algorithm simulates the principle of natural selection, present in nature, and that leads to the survival of the most gifted individuals, who compete with other individuals for limited resources. Thus, the genetic algorithm starts from an initial population (set of initial solutions), performs a process of selecting the best solutions with the right to participate in the generation of new descendants, performs recombination ("crossover") between them and, finally, a mutation process determines the elements of the new generation [15].

Holland, 1992 [16], established for the first time a metaheuristic based on genetic analogy. An individual can be associated with a feasible solution to the problem, so that it can be encoded in the form of a binary vector. Then a crossing operator exchanges parent chains to produce a child. The mutation is configured as a secondary operator that changes, with a small probability, some elements of the child vector. The fitness of the newly created vector is evaluated according to an objective function.

Algorithmically, we have:

1. Generate a population of vectors (individuals).
2. While a stop criterion is not found:
3. Select a set of parent vectors, which will be replaced from the population.
4. Match the parents randomly and cross them to obtain some child vectors.
5. Apply a mutation to each descendant.
6. Evaluate the children.
7. Introduce the children in the population.
8. Eliminate those less effective individuals.

Normally this process ends after a certain number of generations or when the population can no longer improve. The selection of the parents is chosen probabilistically towards the fittest individuals. As with Nature, subjects with greater aptitude spread their characteristics throughout the population.

These three metaheuristics studied, are compared with heuristic results, exhaustive enumeration, the nearest neighbor and investment heuristics, contained in [7], observing that metaheuristics, with fewer iterations is a solution very similar to the heuristics, waiting that in problems with a greater number of variables, this time and results improve proportionally [7].

II. MÉTHOD

First, the general mathematical model that represents the TSP problem is presented, as the next step is to study the problem to be solved in manufacturing times, and translate it in the form of equations as indicated by the TSP model, then the problem is solved by three metaheuristics: taboo search, genetic algorithms and simulated annealing, applying task sequencing by means of TSP in the resolution of the algorithms, and finally the results are compared with the results obtained with the nearest neighbor and investment heuristics, in addition to a solution proposed in [7], by exhaustive enumeration.

The metaheuristics are solved in Microsoft Excel, since more than a program in itself; they are algorithms that give guidelines to a possible programming, besides facilitating the understanding of how metaheuristics work.

The TSP model is given as shown in the equation 1 [7]:

$$\text{Min. } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ij}, d_{ij} = \infty \text{ for all } i = j$$

Equation 1 – Objective function of the TSP

Subject to the equations 2, 3 y 4 [7]:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} = (0, 1)$$

Equations 2, 3 y 4 – Restriction of the TSP

The restriction equations 2, 3 and 4 define a regular assignment model where $x_{ij} = 1$ if the node (city) i is connected to a node (city) j , and zero otherwise. If the solution of the assignment model turns out to be a route [i.e., the solution forms a round trip through the cities], then it is automatically optimal for the TSP. This is a rare occurrence, however, and it is a problem that the allocation model is composed of sub-paths. In that case additional calculations are required to determine the optimal path solution.

The problem in which this TSP model is applied, in manufacturing times is the following:

The daily production program in the company Colors, includes batches of white (W), yellow (Y), red (R), and black (B) paint. Production facilities must be cleaned between batch and batch. Table 1 summarizes the cleaning times in minutes. The objective is to determine the sequence of colors that minimizes the total cleaning time. The sequence must include all the colors only once except for the first and the last, since with the color that started, it is with the one that must end. For example, the sequence, white (W), yellow (Y), black (B), red (R) and white (W), is an accepted sequence, the white sequence (W), yellow (Y), black (B), red (R) and red (R), is not an accepted sequence since it does not end with the color that started, the white (W), yellow (Y), black (B), yellow (Y) and white sequence (W), it is a sequence not accepted since it does not contain the red color.

Table 1. Cleaning times between batches (in minutes) [7]

Paint	White	Yellow	Black	Red
White	∞	10	17	15
Yellow	20	∞	19	18
Black	50	44	∞	22
Red	45	40	20	∞

In the TSP model, each color represents a "city", and the cleaning time between two successive colors represents "distance". Let M be a sufficiently large penalty and define: $x_{ij} = 1$ if the painting j succeeds the painting i and zero otherwise.

The TSP model is given as follows in equations 5 to 14:

$$\begin{aligned}
 \text{Min. } Z = & 10x_{wy} + 17x_{wb} + 15x_{wr} + 20x_{yw} \\
 & + 19x_{yb} + 18x_{yr} + 50x_{bw} \\
 & + 44x_{by} + 22x_{br} + 45x_{rw} \\
 & + 40x_{ry} + 20x_{rb} + M(x_{ww} \\
 & + x_{yy} + x_{bb} + x_{rr})
 \end{aligned}$$

Equation 5 – Objective function of the paint problem

Subject to:

$$x_{ww} + x_{wy} + x_{wb} + x_{wr} = 1$$

$$x_{yw} + x_{yy} + x_{yb} + x_{yr} = 1$$

$$x_{bw} + x_{by} + x_{bb} + x_{br} = 1$$

$$x_{rw} + x_{ry} + x_{rb} + x_{rr} = 1$$

$$x_{ww} + x_{yw} + x_{bw} + x_{rw} = 1$$

$$x_{wy} + x_{yy} + x_{by} + x_{ry} = 1$$

$$x_{wb} + x_{yb} + x_{bb} + x_{rb} = 1$$

$$x_{wr} + x_{yr} + x_{br} + x_{rr} = 1$$

$$x_{ij} = (0, 1)$$

Equations 5 to 14 - Restrictions of the paint problem

The use of the M penalty in the objective function is equivalent to eliminating X_{ww} , X_{yy} , X_{bb} , and X_{rr} from the model. However, the omission of these variables destroys the structure of the underlying allocation model necessary to solve the TSP and branching and boundary models.

A. Taboo Search

To solve the problem by taboo search, the general result of the iterations is shown in tables 2 and 3.

Table 3. Taboo search iterations (Part 2)

It. k	N(k)
1	{W-B-Y-R-W, W-Y-R-B-W, W-R-Y-B-W, W-R-B-Y-W, Y-W-R-B-Y}
2	{W-Y-R-B-W, W-R-Y-B-W, W-R-B-Y-W, Y-W-R-B-Y, Y-R-B-W-Y}
3	{W-Y-R-B-W, W-R-Y-B-W, W-R-B-Y-W, Y-W-R-B-Y, B-R-W-Y-B}
4	{W-Y-R-B-W, W-R-Y-B-W, Y-W-R-B-Y, B-R-W-Y-B, Y-W-B-R-Y}
5	{W-Y-R-B-W, W-R-Y-B-W, Y-W-R-B-Y, B-R-W-Y-B, B-W-R-Y-B}
6	{W-Y-R-B-W, W-R-Y-B-W, Y-W-R-B-Y, B-W-R-Y-B, W-B-R-Y-W}
7	

Table 2 shows, first from left to right, the number of iterations k, R_k shows the numbers generated randomly to select the solution X_k to use according to the objective function to minimize Z, this solution is taken from the neighborhoods $N(k)$ of table 3. The first neighborhood is created indiscriminately, then the algorithm selects the new neighborhood to be integrated in the following iterations, this is explained in detail later. In addition, in the X_k solution you can observe the sequence of colors to be analyzed. $F(x_k)$ contains the total time calculated according to the selected color sequence, $L(k)$ represents the taboo list, are the solutions that have already been used, and that are not allowed to be used again, during a certain number of iterations, in this case $L(k) = 3$, which means that the solutions found will remain in the taboo list during the next 3 iterations.

Table 4 shows the proposal to work with taboo search, there is a start for the first neighborhood, $t = 3$ indicates the permanence in the taboo list, $q = 4$ which is the number of possible solutions in the neighborhood, $M = 100$ as a penalty for cases where there is an unwanted change from one color to it, for example, from black (B) to black (B). The objective function that seeks to minimize the time of change of paintings and their restrictions, to ensure that all colors are selected at least once and start and end in the same color.

You also have the random number generator and the probability table to select a sequence within the neighborhood of solutions.

Table 2. Taboo search iterations (Part 1)

It. k	Rk	Xk	F(xk)	L(k)
1	0,071	W-Y-B-R-W	96	
2	0,188	W-B-Y-R-W	124	{W-Y-B-R-W}
3	0,914	Y-R-B-W-Y	98	{W-Y-B-R-W, W-B-Y-R-W}
4	0,576	W-R-B-Y-W	99	{W-Y-B-R-W, W-B-Y-R-W, Y-R-B-W-Y}
5	0,942	Y-W-B-R-Y	99	{W-B-Y-R-W, Y-R-B->W-Y, W-R-B-Y-W}
6	0,707	B-R-W-Y-B	96	{Y-R-B-W-Y, W-R-B-Y-W, Y-W-B-R-Y}
7	0,942	W-B-R-Y-W	99	{W-R-B-Y-W, Y-W-B-R-Y, B-R-W-Y-B}

Table 3. Contenido inicial para iniciar el algoritmo de búsqueda tabú

Initiation =				
{W->Y->B->R->W, W->B->Y->R->W, W->Y->R->B->W, W->R->Y->B->W, W->R->B->Y->W}				
Min Z =				
$10X_{wy}+17X_{wb}+15X_{wr}+20X_{yw}+19X_{yb}+18X_{yr}+50X_{bw}+44X_{by}+22X_{br}+45X_{rw}+40X_{ry}+20X_{rb}+M(X_{ww}+X_{yy}+X_{bb}+X_{rr})$				
s. t. $X_{ww}+X_{wy}+X_{wb}+X_{wr}=1$ Random number generator for R_k				
T=3	$X_{yw}+X_{yy}+X_{yb}+X_{yr}=1$			
	$X_{bw}+X_{by}+X_{bb}+X_{br}=1$			
q=4	$X_{rw}+X_{ry}+X_{rb}+X_{rr}=1$			
	$X_{ww}+X_{yw}+X_{bw}+X_{rw}=1$			
M=100	$X_{wy}+X_{yy}+X_{by}+X_{ry}=1$			
	$X_{wb}+X_{yb}+X_{bb}+X_{rb}=1$			
	$X_{wr}+X_{yr}+X_{br}+X_{rr}=1$			
		0,3901298		
		position	probability	
		1	0,2	
		2	0,4	
		3	0,6	
		4	0,8	
		5	1	

As seen in Table 3, the starting neighborhood is {W-> Y-> B-> R-> W, W-> B-> Y-> R-> W, W-> Y-> R-> B-> W, W-> R-> Y-> B-> W, W-> R-> B-> Y-> W}, once a solution with the random number R_k is selected, a new one is generated solution to add in the place of the solution that is used and that will leave the neighborhood, for this we use a solution generator, designed by ourselves, as shown in tables 4 and 5.

Table 4. Neighborhood Solution Generator

words	PROB	position	PROB
W	0,25	1	0,2
Y	0,5	2	0,4
B	0,75	3	0,6
R	1	4	0,8
		5	1

Table 5. Solution Generator Iterations

it.	random		accepted	Initial Sequence				
	words	position		W	Y	B	R	W
1	0,7389	0,857416	NO	W	Y	B	R	B
2	0,0672	0,298849	NO	W	W	B	R	B
3	0,9309	0,450298	NO	W	W	R	R	B
4	0,7609	0,990743	NO	W	W	R	R	R
5	0,3442	0,075594	NO	Y	W	R	R	R
6	0,5911	0,903399	NO	Y	W	R	R	B

Table 4 shows the probability tables to select a letter and to select the position, in table 5 it is observed that the algorithm reads the random number for

letter and accordingly selects a letter, the random number for position indicates in which of the five boxes the selected letter will be placed, for example the initial sequence is "WYBRW", this initial sequence is chosen because it was the solution selected from the previous neighborhood, in iteration 1, the random number for letter is 0.74 and for position it is 0.85742, in the tables it is possible to see that the letter that is selected is B, and the position is 5, therefore in iteration 1, the initial sequence "WYBRW" is changed to the sequence "WYBRB", the algorithm checks if this sequence is accepted according to the restrictions that are in the TSP.

To know whether or not the restrictions are met, the solutions generated pass a test, in which I assign ones and zeros to the variables, depending on the combinations, for example if the white paint (W) is changed to the red paint (R), the variable X_{wr} will take the value of one, otherwise the value of zero, in Table 6 you can see the result of the first two iterations of Table 5, which are the sequences "WYBRB" and "WWBRB".

Table 6. Test of generated solutions

it.	X_{ww}	X_{wy}	X_{wb}	X_{wr}	X_{yw}	X_{yy}	X_{yb}	X_{yr}	X_{bw}	X_{by}	X_{bb}	X_{br}	X_{rw}	X_{ry}	X_{rb}	X_{rr}
1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0

Once each possible variable is assigned ones and zeros, the restrictions are checked as shown in tables 7 and 8.

Table 7. TSP restrictions values (Part 1)

IT.	$X_{ww}+X_{wy}+X_{wb}+X_{wr}=\$	$X_{yw}+X_{yy}+X_{yb}+X_{yr}=\$	$X_{bw}+X_{by}+X_{bb}+X_{br}=\$	$X_{rw}+X_{ry}+X_{rb}+X_{rr}=\$
1	1	1	1	1
2	2	0	1	1

Table 8. TSP restrictions values (Part 2)

$X_{ww}+X_{wy}+X_{wb}+X_{wr}=\$	$X_{yw}+X_{yy}+X_{yb}+X_{yr}=\$	$X_{bw}+X_{by}+X_{bb}+X_{br}=\$	$X_{rw}+X_{ry}+X_{rb}+X_{rr}=\$
0	1	2	1
1	0	2	1

For the generated solution to be accepted, each of the equations to which the function is subject must be equal to one, otherwise it is not accepted. In Table 9 it is observed that in iteration 57 the solution is accepted, and it is verified that the last row that belongs to iteration 57, is indeed a sequence that contains all the colors and also ends with the same color that started, which are the requirements of the problem.

Table 9. Accepted neighborhood solution

52	0,85	0,49	NO	B	B	R	R	Y
53	0,6	0,71	NO	B	B	R	B	Y
54	0,19	0,32	NO	B	W	R	B	Y
55	0,95	0,97	NO	B	W	R	B	R
56	0,43	0,9	NO	B	W	R	B	Y
57	0,27	0,08	YES	Y	W	R	B	Y

Once the solution is accepted it is verified that it is not an existing solution in the neighborhood, and that it does not exist within the taboo list as shown in Table 10.

Table 10. Checking solutions in taboo list

EXISTING					NEW					ACCEPTED
W	Y	B	R	W	Y	W	R	B	Y	YES
W	B	Y	R	W						
W	Y	R	B	W						
W	R	Y	B	W						
W	R	B	Y	W						
EXISTING					NEW					ACCEPTED
W	B	Y	R	W	Y	R	B	W	Y	YES
W	Y	R	B	W						
W	R	Y	B	W						
W	R	B	Y	W						
Y	W	R	B	Y						
TABU										
W	Y	B	R	W						
EXISTING					NEW					ACCEPTED
W	Y	R	B	W	W	R	Y	B	W	NO
W	R	Y	B	W	B	R	W	Y	B	YES
W	R	B	Y	W						
Y	W	R	B	Y						
Y	R	B	W	Y						
TABU										
W	Y	B	R	W						
W	B	Y	R	W						

Since there are new neighborhoods, the process is repeated iteratively as many times as desired, until a satisfactory local optimum is found, it is worth mentioning that the solution X_k chosen in each iteration considers the objective function of equation 5, since all the variables with the values of zero and one respectively for each solution, the function only takes the changes in the colors where the variable is equal to one, the other changes of colors that do not exist, being multiplied by zero, are eliminated by themselves same.

B. Genetic Algorithm

Para el algoritmo genético se muestran las primeras 3 iteraciones en la Tabla 11, donde se observa el comportamiento de los padres, los cromosomas hijos y las mutaciones.

Tabla 11. Iteraciones del algoritmo genético

It.	Sequence, s						z
1	P1	R	B	Y	W	R	99
	P2	W	Y	B	R	W	96
	P3	R	Y	W	B	R	99
	P4	Y	W	R	B	Y	99
	C1	R	W	Y	B	R	96
	C2	W	R	B	Y	W	99
	MC1	R	W	Y	B	R	96
	MC2	W	R	B	Y	W	99
2	P1	R	W	Y	B	R	96
	P2	W	Y	B	R	W	96
	P3	W	R	B	Y	W	99
	P4	Y	W	R	B	Y	99
	C1	Y	W	R	B	Y	99
	C2	R	W	Y	B	R	96
	MC1	Y	W	R	B	Y	99
	MC2	B	W	Y	R	B	98
3	P1	R	W	Y	B	R	96
	P2	W	Y	B	R	W	96
	P3	Y	W	R	B	Y	99
	P4	B	W	Y	R	B	98
	C1	B	R	W	Y	B	96
	C2	R	B	W	Y	R	98
	MC1	B	R	W	Y	B	96
	MC2	W	B	R	Y	W	99

For the first population of $N = 4$, four parents were created randomly according to the first sixteen binary numbers as seen in tables 12 and 13.

Table 12. Population creation $N = 4$ (part 1)

W =	0000	0001	0010	0011
Y =	0100	0101	0110	0111
B =	1000	1001	1010	1011
R =	1100	1101	1110	1111

Table 13. Population creation $N = 4$ (part 2)

Accepted	Count														
		0,54	1	0,1	0	0,66	1	0,55	1	0,88	1				
		0,56	1	0,18	0	0,14	0	0,44	0	0,53	1				
		0	0	0,06	0	0,38	0	0,51	1	0,45	0				
NO	NO1	0,73	1 R	0,24	0 W	0,1	0 B	0,13	0 B	0,75	1 R				
		0													
		0	0,96	1	0,56	1	0,58	1	0,39	0	0,99	1			
		0	0,43	0	0,77	1	0,42	0	0,1	0	0,73	1			
		0	0,23	0	0,63	1	0,5	1	0,09	0	0,18	0			
NO	NO2	0,04	0 B	0,76	1 R	0,18	0 B	0,02	0 W	0,18	0 R				

In Table 13 you can see the first two attempts to create the population, there are 4 random numbers where each one of them has the probability of resulting in one or zero, since you have the four binary numbers, you select the letter according to the resulting binary number that matches table 12. The method to know if that sequence is accepted or not, is the same as mentioned in the taboo search for the TSP. This creation sequence stops until you find four appropriate solutions.

Once the first four parents are created, two of them are selected to create the two child chromosomes, the first one selected is the one with the best Z, in this case the minimum value of Z, and the second randomly, in Table 14 the first 2 selected parents are shown.

Table 14. Parent chromosomes

						ACCEPTED	RANDOM
P1	W	Y	B	R	W		
P2	W	Y	B	R	W	NO	0,30102793
P2	R	B	Y	W	R	YES	0,14707505

For the child chromosomes, a crossing is made at point one, two or three, randomly, in Table 15 the crossing is done at point one, according to the parents in Table 14.

Table 15. Child chromosomes

						CROSSING
C1	R	W	Y	B	R	0,2068136
C2	W	R	B	Y	W	

To apply the crossing, which in table 15 was at point one, the first element of father two (P2) is taken for the child one (C1) chromosome and the remaining ones without repeating, of father one (P1), for the son two chromosome (C2) takes the first element of father one (P1) and the remaining ones without repeating, of father two (P2), this can be seen in tables 14 and 15. If the crossing is in two or three, the same applies as in crossing one, only that the first two or three elements of the parents are taken respectively.

Since they have the child chromosomes, a mutation of these is performed, if the random number selected is less than 0.1. If so, two positions of the sequence are selected randomly to be changed. Table 16 shows two mutations applied to the children chromosomes.

Table 16. Mutation of child chromosomes

Mutations	Accepted	random	Mutation		
M1 R W Y B R	YES	0,99524	NO		
M2 W R B Y W	YES	0,78249	NO		
M1 Y W R B Y	YES	0,17925	NO	Position 1	Position 2
M2 R W Y B R	YES	0,00296	YES	0,1434018	0,958141
M2 B W Y R B	YES				

For the next iteration the parents with the best z are preserved, and the other two are replaced by the mutations of the child chromosomes, these steps are repeated until the iteration imposed according to the criteria of the programmer according to the problem to be solved.

C. Simulated Annealing

For this algorithm, all operations are applied in

iteration tables 17 and 18 except for the total time calculations, since this is calculated independently with the TSP technique shown in taboo search.

Table 17. Iterations of simulated annealing (part 1)

It. K	Sequence Sk	Total Time	Tk	z
1	Y-R-B-W-Y	98	49	
2	R-Y-B-W-R	124	49	0,53
3	R-Y-W-B-R	99	49	0,51
4	R-W-Y-B-R	96	49	0,06
5	R-W-B-Y-R	124	25	1,14

Table 18. Iterations of simulated annealing (part 2)

e-z	R1k	Decision	R2k	Closeness N(Sk)
			0,095	R-Y-B-W-R
				Y-B-R-W-Y
				Y-R-W-B-Y
0,588	0,458	to accept	0,824	Y-R-B-W-Y
				R-B-Y-W-R
				R-Y-W-B-R
0,6	0,965	to accept	0,376	Y-R-W-B-Y
				R-W-Y-B-R
				R-Y-B-W-R
0,941	0,447	to accept	0,962	W-R-Y-B-W
				R-Y-W-B-R
				R-W-B-Y-R
0,319	0,694	to refuse	0,071	W-R-Y-B-W
				R-Y-W-B-R
				R-W-B-Y-R

In Table 17, the first sequence Sk is taken indiscriminately, the total time is calculated as mentioned according to the TSP model, T_k represents an adjustable parameter called temperature, in this case its value is $T_k = 0.5 \times$ time total and $t_{k+1} = 0.5 \times t_k$.

The change to t_{k+1} is given by the value $t = 3$, which means that it will change when the sequence S_k is accepted three times. The proximity $N(S_k)$ is in accordance with the sequence S_k , in this case $N(S_k) = 3$, therefore, there are three possible solutions, to generate them the sequence S_k is modified three times, in the first one the changes are changed two first elements, in the second the second and third elements are changed, and in the third the third and fourth elements are changed. The proximity $N(S_k)$ that is selected for the next iteration is in accordance with the random number $R2_k$.

For the following iterations in Table 18, it must be checked according to the simulated annealing algorithm if the value $R1_k$ is less than exponential raised to the negative z , to know if the new value is accepted, in case of being greater $R1_k$ no is accepted, where z is equal to $|S_k - S(k-1)| / T_k$. The solution is also accepted automatically if the current total time is less than the previous total time.

D. Application to Real System

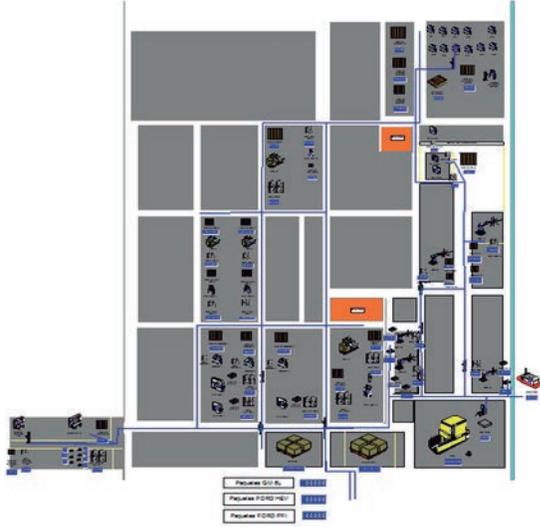
Once these algorithms have been analyzed and the way to solve the TSP through them has been discussed, an application of a real-life problem solved by the first metaheuristic of this article, taboo search, is shown below.

The problem is as follows: A piston manufacturer of the so-called tier one, has three forklifts, one for the mold area, one for the machining area and one for the shipping area. The machinist area operator transports the material between the different cells randomly, without having a defined route, and the logistics managers want to assign a fixed route between each cell that minimizes the route of the forklift.

The distances between each cell are taken from a previous study of this company, where a simulation project was carried out (Figure 1).

The cells to be visited by the forklift, including inventory and shipping, are the following:

Inventory (I), Line 14 (L), Inspection (N), Graphite (G), Assembly (E) and boarding (M), distances between each of them are shown in table 19.



Subject to the equations 2, 3 y 4 [7]:

$$\begin{aligned}
 x_{II} + x_{IL} + x_{IN} + x_{IG} + x_{IE} + x_{IM} &= 1 \\
 x_{LI} + x_{LL} + x_{LN} + x_{LG} + x_{LE} + x_{LM} &= 1 \\
 x_{NI} + x_{NL} + x_{NN} + x_{NG} + x_{NE} + x_{NM} &= 1 \\
 x_{GI} + x_{GL} + x_{GN} + x_{GG} + x_{GE} + x_{GM} &= 1 \\
 x_{EI} + x_{EL} + x_{EN} + x_{EG} + x_{EE} + x_{EM} &= 1 \\
 x_{MI} + x_{ML} + x_{MN} + x_{MG} + x_{ME} + x_{MM} &= 1 \\
 x_{II} + x_{LI} + x_{NI} + x_{GI} + x_{EI} + x_{MI} &= 1 \\
 x_{IL} + x_{LL} + x_{NL} + x_{GL} + x_{EL} + x_{ML} &= 1 \\
 x_{IN} + x_{LN} + x_{NN} + x_{GN} + x_{EN} + x_{MN} &= 1 \\
 x_{IG} + x_{LG} + x_{NG} + x_{GG} + x_{EG} + x_{MG} &= 1 \\
 x_{IE} + x_{LE} + x_{NE} + x_{GE} + x_{EE} + x_{ME} &= 1 \\
 x_{IM} + x_{LM} + x_{NM} + x_{GM} + x_{EM} + x_{MM} &= 1 \\
 x_{ij} &= (0, 1)
 \end{aligned}$$

Equations 16 to 27 - Restrictions of the real case problem

To solve the problem by taboo search, in this case, the general result of the first 10 iterations is shown in Table 20, in an algorithm like the one explained above.

Table 20 shows in the first iteration an initial sequence X_k for the route of the forklift, then, the distance traveled $F(X_k)$ is calculated using the equations for the TSP as shown in the example of the paintings, the taboo list L_k , begins to be created from the second iteration, then there is a random number R_k , which helps in the decision to select the next X_k , according to neighborhoods $N(k)$ that are created by changing the values of the X_k of that same iteration, the iterations continue in the same way, taking care that the results selected from N_k , do not match the sequences stored in the taboo list.

Figure 1. Part of the simulation layout.

Table 19. Distances in meters between production cells.

	I	L	N	G	E	M
I	∞	72	69.5	161	227	192
L	72	∞	29.5	89	155	120
N	69.5	29.5	∞	62.5	128.5	93.5
G	161	89	62.5	∞	66	31
E	227	155	128.5	66	∞	39
M	192	120	93.5	31	39	∞

In the TSP model of a real case (Table 19), each cell represents a "city", and the "distance" occurs between two successive cells. Let M be a sufficiently large penalty and define: $x_{ij} = 1$ if cell j happens to cell i and zero otherwise.

$$\begin{aligned}
 \text{Min. } Z &= 72x_{IL} + 69.5x_{IN} + 161x_{IG} + 227x_{IE} \\
 &+ 192x_{IM} + 72x_{LI} + 29.5x_{LN} \\
 &+ 89x_{LG} + 155x_{LE} + 120x_{LM} \\
 &+ 69.5x_{NI} + 29.5x_{NL} \\
 &+ 62.5x_{NG} + 128.5x_{NE} \\
 &+ 93.5x_{NM} + 161x_{GI} + 89x_{GL} \\
 &+ 62.5x_{GN} + 66x_{GE} + 31x_{GM} \\
 &+ 227x_{EI} + 155x_{EL} \\
 &+ 128.5x_{EN} + 66x_{EG} + 39x_{EM} \\
 &+ 192x_{MI} + 120x_{ML} \\
 &+ 93.5x_{MN} + 31x_{MG} + 39x_{ME} \\
 &+ M(x_{II} + x_{LL} + x_{NN} + x_{GG} \\
 &+ x_{EE} + x_{MM})
 \end{aligned}$$

Equation 15 - Objective function of the real case problem

Table 20. Taboo Search Algorithm Iterations.

It.	Xk	F(Xk)	L(k)	Rk	N(k)
1	I-L-G-N-E-M-I	583		0,989	L-I-G-N-E-M-L I-G-L-N-E-M-I I-L-N-G-E-M-I I-L-G-E-N-M-I I-L-G-N-M-E-I
2	I-L-G-N-M-E-I	583	I-L-G-N-E-M-I	0,514	L-I-G-N-M-E-L I-G-L-N-M-E-I I-L-N-G-M-E-I I-L-G-M-N-E-I I-L-G-N-E-M-I
3	I-L-N-G-M-E-I	461	I-L-G-N-M-E-I I-L-G-N-E-M-I	0,761	L-I-N-G-M-E-L I-N-L-G-M-E-I I-L-G-N-M-E-I I-L-N-M-G-E-I I-L-N-G-E-M-I
4	I-L-N-G-E-M-I	461	I-L-N-G-M-E-I I-L-G-N-M-E-I I-L-G-N-E-M-I	0,469	L-I-N-M-G-E-L I-N-L-M-G-E-I I-L-M-N-G-E-I I-L-N-G-M-E-I I-L-N-M-E-G-I
5	I-N-L-M-G-E-I	543	I-L-N-G-E-M-I I-L-N-G-M-E-I I-L-G-N-M-E-I	0,524	N-I-L-M-G-E-N I-L-N-M-G-E-I I-L-N-M-G-E-I I-N-M-L-G-E-I I-N-L-G-M-E-I I-N-L-M-E-G-I
6	I-N-M-L-G-E-I	665	I-N-L-M-G-E-I I-L-N-G-E-M-I I-L-N-G-M-E-I	0,125	N-I-M-L-G-E-N I-M-N-L-G-E-I I-N-L-M-G-E-I I-N-M-G-L-E-I I-N-M-L-E-G-I
7	N-I-M-L-G-E-N	665	I-N-M-L-G-E-I I-N-L-M-G-E-I I-L-N-G-E-M-I	0,398	I-N-M-L-G-E-I N-M-I-L-G-E-N N-I-L-M-G-E-N N-I-M-G-L-E-N N-I-M-L-E-G-N
8	N-I-L-M-G-E-N	487	N-I-M-L-G-E-N I-N-M-L-G-E-I I-N-L-M-G-E-I	0,059	I-N-L-M-G-E-I N-L-I-M-G-E-N N-I-M-L-G-E-N N-I-L-M-G-E-N N-I-L-M-G-E-N N-I-M-G-L-E-N N-I-M-L-E-G-N
9	N-L-I-M-G-E-N	487	N-I-L-M-G-E-N N-I-M-L-G-E-N I-N-M-L-G-E-I	0,148	L-N-I-M-G-E-L N-I-L-M-G-E-N N-L-M-I-G-E-N N-L-I-G-M-E-N N-L-I-M-E-G-N
10	L-N-I-M-G-E-L	487	N-L-I-M-G-E-N N-I-L-M-G-E-N N-I-M-L-G-E-N	0,126	N-L-I-M-G-E-N L-I-N-M-G-E-L L-N-I-M-G-E-L L-N-I-M-G-E-L L-N-I-M-G-E-L

of neighborhoods and the taboo list, to select the new sequence for each iteration.

In figures 2, 3 and 4, iterations 1, 10 and 50 are observed respectively.

```

Command Window
xk =
ILGNEMI
iteration 1:
Distance F(Xk):
fxk =
583
Neighborhoods
nk1 =
LIGNEML
nk2 =
IGLNEMI
nk3 =
ILNGEMI

Command Window
nk4 =
ILGENMI
nk5 =
ILGNEMI
Random Number:
rk =
0.8444
New Sequence :
xk =
ILGNEMI
    
```

Figure 2. Iteration 1 of the taboo search algorithm

```

Command Window
xk = LGNIEML
iteration: 10
Distance F(Xk):
fxk =
380
Neighborhoods
nk1 =
GLNIEMG
nk2 =
LNGIEML
nk3 =
LGNIEML
nk4 =
LGNEIEML

Command Window
nk5 =
Taboo List
Lista tabu:
lk3 =
GLINMEG
lk2 =
GLINEMG
lk1 =
LGNIEML
Random Number:
rk =
0.4243

Command Window
New Sequence :
xk =
LGNIEML
Random Number:
rk =
0.7702
New Sequence :
xk =
LGNEIEML
    
```

Figure 3. Iteration 10 of the taboo search algorithm

Since the algorithm is available, it can be programmed in any software provided to the researcher, in this case Matlab was chosen, since it easily works with vector variables.

The program cycle contains an initial sequence, the resolution by TSP for that sequence, according to the algorithms proposed in this article, the creation

```

Command Window      Command Window
xk = LMIEGNL
Iteration: 50
Distance F(Xk):
fxk =
470
Neighborhoods
nk1 =
MLIEGNM
nk2 =
LIMEGNL
nk3 =
LMEIGNL
nk4 =
LMIGENL

nk5 =
LMIENGL
Taboo List
lk3 =
LIEMNGL
lk2 =
LIMENGL
lk1 =
LIMEGNL
Random Number:
rk =
0.3181

New Sequence :
xk =
LIMEGNL
Random Number:
rk =
0.1192
New Sequence :
xk =
MLIEGNM
    
```

Figure 4. Iteration 50 of the taboo search algorithm

The iteration 1 of Figure 2 contains the initial sequence X_k , the calculation of the distance F_{xk} , the five neighborhoods N_k based on the solution X_k of that same iteration, and a random number that helps to select with which neighborhood it is going to work on the next iteration, as seen in the first iteration, there is still no taboo list as in the Excel algorithm.

Iteration 10 of Figure 3, contains the same steps with the exception of the taboo list lk , which is already contained within the program cycle, it can be seen that by selecting the first new sequence the program returns to show a random number and obtains again the new sequence, since the first new sequence is equal to one of the values in the taboo list, even searches for the new sequence a third time, since the second one is also contained in the taboo list.

In iteration 50 of Figure 4, the program cycle continues in the same way, and you can see again how it looks for new sequences that are not contained in the taboo list, in addition, you can see the change in the neighborhoods after 50 iterations, checking that the program looks for values very different from the initial ones.

In the algorithm of Table 20, it is observed that in 10 iterations the smallest distance found is 461 meters, and in the application made in Matlab in 50 iterations the lowest value is that of iteration 10 (figure 3), 380 meters, with the sequence LGNIEML, which indicates that the freighter, begins on line 10, passing through Graphite, Inspection, Inventory, Assembly, Boarding and returning to line 10.

III. RESULTS

Table 21, shows that the best time found in the taboo search algorithm, after three iterations is that of 96 minutes, of iteration one and the greater of 124 minutes, of iteration two.

Table 21. Three iterations of the taboo search

It. k	Rk	Xk	F(xk)	L(k)
1	0,071	W-Y-B-R-W	96	
2	0,188	W-B-Y-R-W	124	{W-Y-B-R-W}
3	0,914	Y-R-B-W-Y	98	{W-Y-B-R-W, W-B-Y-R-W}

Table 22, shows that the best time found for the genetic algorithm is that of 96 minutes in several sequences, and the greater of 99 minutes in most sequences.

Table 22. Three iterations of the genetic algorithm

It.	Sequence, s						z
1	P1	R	B	Y	W	R	99
	P2	W	Y	B	R	W	96
	P3	R	Y	W	B	R	99
	P4	Y	W	R	B	Y	99
	C1	R	W	Y	B	R	96
	C2	W	R	B	Y	W	99
	MC1	R	W	Y	B	R	96
	MC2	W	R	B	Y	W	99
2	P1	R	W	Y	B	R	96
	P2	W	Y	B	R	W	96
	P3	W	R	B	Y	W	99

	P4	Y	W	R	B	Y	99
	C1	Y	W	R	B	Y	99
	C2	R	W	Y	B	R	96
	MC1	Y	W	R	B	Y	99
	MC2	B	W	Y	R	B	98
3	P1	R	W	Y	B	R	96
	P2	W	Y	B	R	W	96
	P3	Y	W	R	B	Y	99
	P4	B	W	Y	R	B	98
	C1	B	R	W	Y	B	96
	C2	R	B	W	Y	R	98
	MC1	B	R	W	Y	B	96
	MC2	W	B	R	Y	W	99

In the first three iterations of Table 23, the best time found for the simulated annealing algorithm is 98 minutes in iteration 3, and the highest is 124 minutes in iteration 2.

Table 23. Three iterations of Simulated Annealing

It.	Sequence	Total	Tk	z
K	Sk	Time		
1	Y-R-B-W-Y	98	49	
2	R-Y-B-W-R	124	49	0,53
3	R-Y-W-B-R	99	49	0,51

To compare these results, the solutions of the book Taha, [7]., The results of the application of three local search heuristics are taken.

The first result proposed by [7]., Is by exhaustive enumeration, Table 24 shows the result of the iterations, where the best solution is found in iteration one with a time of 96 minutes, and the worst solution in iterations three and six, with a time of 124 minutes.

Table 24. Solving the problem of painting sequencing by exhaustive enumeration.

Production loop	Cleaning time
W-Y-B-R-W	96
W-Y-R-B-W	98
W-B-Y-R-W	124
W-B-R-Y-W	99
W-R-B-Y-W	99
W-R-Y-B-W	124

The next solution is through the heuristic of the nearest neighbor, Table 25 shows the results and iterations, where the best result is in iteration three with a time of 96 minutes and the largest solution in iteration five with a time 124 minutes.

Table 25. Solutions by heuristic of the nearest neighbor.

It, K	Seq	TOTAL
1	R B Y W R	99
2	B R Y W B	99
3	Y B R W Y	96
4	W Y R B W	98
5	W B Y R W	124
6	B W Y R B	98

To find the solutions of this heuristic, the sequence was assembled starting with a random painting and then the painting that has the shortest time to make the change is selected, and so on, this can be seen in Table 26.

Table 26. Steps to generate solutions in the heuristic of the nearest neighbor

Step	Action	construction of the route
1	starts in red	R
2	The shortest change is to black	R-B
3	The shortest change is to yellow	R-B-Y
4	Remaining solutions are added	R-B-Y-W-R

Once the solutions are available, they are checked with the TSP model that was built to solve these sequences.

The last heuristic is the investment one, where the iteration Table 27 explains its operation and shows the results. The investment is given according to the size of the sequence, in this case there are five elements, therefore there are four investments.

Table 27. Application of investment heuristics to the TSP model

Type	Inversion	Route	Time
Initiation	-----	W-B-Y-R-W	124
Investment of two	W-B	B-W-Y-R-B	98
	B-Y	W-Y-B-R-W	96
	Y-R	W-B-R-Y-W	99
Investment of three	W-B-Y	Y-B-W-R-Y	129
	B-Y-R	W-R-Y-B-W	124
Investment of four	W-B-Y-R	R-Y-B-W-R	124

The best solution is found in iteration three with a time of 96 minutes, and the longest time in iteration five, with 129 minutes.

Below is a comparative table (Table 28) between the first three iterations of metaheuristics and heuristics:

Table 28. Results of the first three iterations of the different methods

	Less time	# it.	# sol.
Taboo Search	96	1	3
Genetic algorithm	96	1	24
Simulated Annealing	98	1	3
Exhaustive Enumeration	96	1	3
Nearest Neighbor	96	3	3
Investment	96	2	6

Table 28 shows the shortest time of 96 minutes in almost all methods except for simulated annealing, which takes more than three iterations to find them, the number of iterations in which that result was found, and how many solutions were generated in those three iterations.

In the application of a real-life case, the freighter works randomly but regularly begins his journey in inventory, going through line 10, inspection, graphite, assembly, shipment and back to inventory, giving the sequence “ILNGEM”, traveling a distance of 583 meters, in Table 29 we observe the comparison of this result with the lowest found in the Excel algorithm in 10 iterations and in the Matlab application with 50 iterations.

Table 29. Results of the different TSP routes

	Frequent	Algorithm	Application
Distance Travel	583	461	380

Frequently the forklift travels 583 meters between the cells, with the algorithm a distance of 461 meters was found, but the algorithms in addition to being delayed are only the preamble for the programming of an application, as shown in this article, with only 50 iterations found a distance less than 380 meters, the full program is shown in the annex. In addition, the application has the advantage of finding the desired number of iterations easily, to find the best solution.

IV. CONCLUSIONS

The results obtained suggest several conclusions, firstly, as it is a problem with few variables it is very feasible to find the right solution in few iterations by any of the applied methods, but we also realize that for heuristics it is more a matter of luck when choosing the start sequence, since they do not leave too much of the space of solutions provided at the beginning, unlike metaheuristics, which jump from one space of solutions to others very different, this can be seen in the iterations of the different methods, giving an idea of the properties of metaheuristics to move from one local optimum to another.

For the problem of TSP, taboo search, it is ideal to find different solutions spaces, since the solutions

are generated independent of each other, and remember that solutions were already applied to find more alternatives. Genetic Algorithms finds many solutions in few iterations and is based on the best solutions to find the following improvements. Simulated annealing depends largely on the start sequence, just like the heuristics, but once you find a feasible solution the probability of accepting non-feasible solutions decreases.

The use of heuristics turned out to be much simpler in this TSP problem of few variables, but we could realize the effectiveness of the metaheuristics and how it can help greatly by increasing the variables, for example, when trying to apply these same metaheuristic algorithms to a more complex TSP problem, or problems derived from it, such as the vehicle routing problem (VRP) and all its variants.

ACKNOWLEDGMENT.

The authors thank the support received through the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT), who supports the author M.I. I. Jacob Ortega Gómez with scholarship number 701658. At the same time, we appreciate the determination and effort of the Mexican Association of Logistics and Supply Chain, A.C. [AML] and the Instituto Mexicano del Transporte [IMT] for the development of the internationally recognized collaboration platform that is currently the International Congress of Logistics and Supply Chain [CiLOG].

REFERENCES.

[1] Cañari, R., & Cirila, A. (2005). Conceptos, algoritmo y aplicación al problema de las N – reinas (TESIS). Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad Ciencias Matemáticas.

[2] Espinosa et al. (2016). Problema del agente viajero. *Ingeciencia*, 57-65.

[3] Gallego et al. (2015). Técnicas Heurísticas y Metaheurísticas de Optimización. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

[4] García S., A. (02 de Mayo de 2019). Academia. Obtenido de <https://www.academia.edu/16335751/Metaheuristic>

[5] Glover et al. (2006). Principles of Tabu Search. To appear in *Approximation Algorithms and Metaheuristics*. Chapman & Hall/CRC.

[6] Glover, F. (1986). Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence. *Computers and Operations Research*, 533-549.

[7] Glover, F., & Laguna, M. (1997). *Tabu Search*. Kluwer Academic Publishers.

[8] Holland, J. H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. MA, USA: MIT Press Cambridge.

[9] Khan Academy. (01 de Mayo de 2019). Obtenido de <https://es.khanacademy.org>: <https://es.khanacademy.org/math/multivariable-calculus/applications-of-multivariable-derivatives/optimizing-multivariable-functions/a/maximums-minimums-and-saddle-points>

[10] Menna, S. H. (2014). Heurísticas y Metodología de la Ciencia. *Mundo Siglo XXI*, 67-77.

[11] Moreno et al. (2007). Análisis comparativo entre dos algoritmos heurísticos para resolver el problema de planeación de tareas con restricción de recursos (RCPS). *Dyna*, 171-183.

[12] Muñoz et al. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El Hombre y la Máquina*, 52-67.

[13] Peralta et al. (2015). Aplicación de recocido simulado en problemas de optimización combinatoria. *Narraciones de Ciencia y Tecnología*, 23-28.

[14] Sadiq, S., & Habib, Y. (1999). *Iterative Computer Algorithms with Applications in Engineering*. Wiley.

[15] Stockdale, M. L. (2011). El problema del viajante: un algoritmo heurístico y una aplicación (Tesis). Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.

[16] Taha, H. A. (2012). *Investigación de Operaciones*. México: Pearson.

Comparación de la red neuronal perceptron multicapa y red neuronal de base radial: modelo de predicción y clasificación.

Jannete Montserrat Silva Núñez
Departamento de estudios Multidisciplinarios Universidad de Guanajuato. Yuriria Guanajuato, México.
jm.silvanunez@ugto.mx

Roberto Baeza Serrato
Departamento de estudios Multidisciplinarios Universidad de Guanajuato. Yuriria Guanajuato, México.
r.baeza@ugto.mx

Resumen—Esta investigación presenta un comparativo de funcionamiento de una red neuronal perceptrón multicapa y una red neuronal de base radial para aplicaciones de predicción y clasificación. La estructura de la red multicapa y la red de base radial consiste en dos neuronas en la capa de entrada, tres neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida. Se realizaron las etapas de entrenamiento, prueba y validación. Para realizar la predicción se utilizaron como variables de entrada las compras y las emisiones de CO₂ de los principales proveedores. Como variable de salida se tomó el número de pedidos para cada proveedor. En la clasificación de proveedores se utilizaron las mismas variables de entrada y como variable de salida las etiquetas A, B y C, obtenidas en el algoritmo k medias de la red de base radial. Los resultados de la red de base radial son más fiables y serán utilizados como herramienta de predicción de huella de carbono y clasificación de proveedores.

Palabras Clave— redes neuronales, red neuronal perceptrón multicapa, red neuronal de base radial, modelos de predicción, modelo de clasificación, comparación de redes neuronales.

I. INTRODUCCIÓN

Redes neuronales artificiales son redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico [1]. Las RNA funcionan de manera semejante a las redes biológicas; comenzando con el procesamiento de datos, es decir las conexiones de entradas (neuronas), se da una propagación por medio de señales transferidas entre neuronas, mediante enlaces sinápticos [2].

Las redes neurales clasifican mejor que las técnicas estadísticas, incluso en la condición a priori más favorable a estas, es decir, cuando existen altas correlaciones entre los predictores con el criterio pero bajas correlaciones entre los predictores [3]. Las redes neuronales artificiales son más eficaces en la disminución del error de imputación que otras técnicas de análisis ampliamente utilizadas cuando existe un nivel de correlación no nulo con otras variables registradas [4]. La construcción de una red de funciones base radial se basa en la determinación de sus diferentes parámetros como el número de neuronas de su capa oculta, la posición, el ancho y el peso de conexión de cada función que opera dentro de dicha neurona [5]. Las redes multicapa se forman con un grupo de capas simples en cascada. La salida de una capa es la entrada de la siguiente capa [6].

En años recientes, el método ABC es utilizado por empresas medianas cuyos gastos indirectos se consideran cantidades importantes que repercuten en el costo del producto [7]. Un pronóstico de ventas es una técnica que permite calcular las proyecciones de ventas de una manera rápida y confiable, utilizando como fuentes de datos, ya sea las transacciones de inventarios o la facturación de ventas realizadas [8].

Hasta ahora, la investigación existente utiliza un mismo planteamiento: la separación de las empresas en dos categorías, sanas y fracasadas.

Aunque estos modelos llegan a proporcionar tasas iniciales de éxito aceptables, su uso posterior muestra una cierta inestabilidad predictiva y escasa fiabilidad en contextos diferentes a los iniciales [9].

En el presente artículo se muestra una comparación entre las redes neuronales de base radial y las redes perceptrón multicapa para las tareas de predicción y de clasificación en el sector de las Pymes, con el objetivo de seleccionar aquella que realice un pronóstico con mayor fiabilidad y a su vez demostrar la utilidad de las redes neuronales en la industria del comercio.

II. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presenta una búsqueda relevante de aplicaciones de redes neuronales multicapa y de base radial, tales como en [10] estudian la predicción de ventas mediante el uso de redes neuronales, compara los resultados obtenidos con los pronósticos de un método estadístico clásico y establece los entornos más adecuados para su uso. En [11] realizan la comparación y selección de un método para pronosticar las ventas de forma eficiente.

Los resultados muestran que la red neuronal artificial obtuvo un mejor desempeño logrando el menor error cuadrático medio, de esta forma es posible establecer un panorama adecuado para el uso de la inteligencia artificial dentro de la industria. En [12] utilizan una red neuronal artificial para predecir las ventas de periódicos para un proveedor en el área de Sungai Petani, Malasia. Desarrollo un prototipo que aplique una red neuronal artificial para que pueda predecir la tendencia futura y la venta diaria futura. En [13] diseñan un modelo basado en redes neuronales artificiales para el pronóstico de los precios de dos de las principales acciones transadas en mercado de valores colombiano. Se utilizan dos estructuras de redes. Los resultados muestran un buen comportamiento de las redes neuronales con bajos

errores en su desempeño tanto en aprendizaje como en predicción. En [14] utilizan redes neuronales y GA para construir un sistema inteligente de predicción de ventas para hacer una predicción con respecto a las ventas de una parte electrónica con tres meses de anticipación.

En [15] desarrollan un modelo para el pronóstico del precio de la energía eléctrica en Colombia mediante el uso de redes neuronales artificiales. Se utilizan dos estructuras de redes incluyendo como entradas la serie de precios diarios en la primera y la serie de precios más el nivel medio de los embalses en la segunda. En [16] muestran la potencia de las redes neuronales como herramienta para el pronóstico del precio anual del cobre. Se construyeron modelos híbridos combinando modelos ARIMA y redes neuronales. Los resultados revelaron un mejor desempeño de los modelos de pronóstico basados en redes neuronales. Se concluye que las redes neuronales, aunque requieren un mayor esfuerzo en su diseño, pueden ser una herramienta valiosa para el pronóstico del precio del cobre. En [17] se desarrolló un modelo de red neuronal para la predicción de los niveles de ventas y los pronósticos de ventas producidos por la red se compararon con las cifras de ventas reales, así como con los pronósticos realizados por los gerentes de marketing.

En [18] presentan un estudio comparativo entre la predicción de precios en bolsa de valores utilizando redes neuronales y neuro-difusas. Se muestra una metodología aplicable a la predicción del comportamiento de cualquier tipo de acción, basada en el cálculo preliminar de la correlación entre el precio y otras variables de mercado. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios en cuanto al porcentaje de error del valor estimado frente al valor real. En [19] resaltan la aplicabilidad de las redes neuronales artificiales al mercado de divisas. En [20] realizan la predicción de la quiebra y la estimación de los rendimientos de carteras de valores; compara su capacidad predictiva con la de los métodos multivariantes utilizados habitualmente en dichos contextos.

La literatura mencionada demuestra aplicaciones de redes neuronales capaces de realizar pronósticos de predicción o clasificación en diversas áreas de la industria. Este artículo contribuye a dar sustento en el arte.

III. METODOLOGIA

La presente investigación está integrada por cinco etapas, las cuales parten desde la identificación del caso de estudio donde se recopilaban los datos a analizar, se ordenaron y posteriormente se comenzó a desarrollar la red de base radial seguida de la red multicapa (Figura 1). A partir de los resultados de ambas herramientas se realizó una comparación, la cual se encuentra plasmada en las conclusiones.

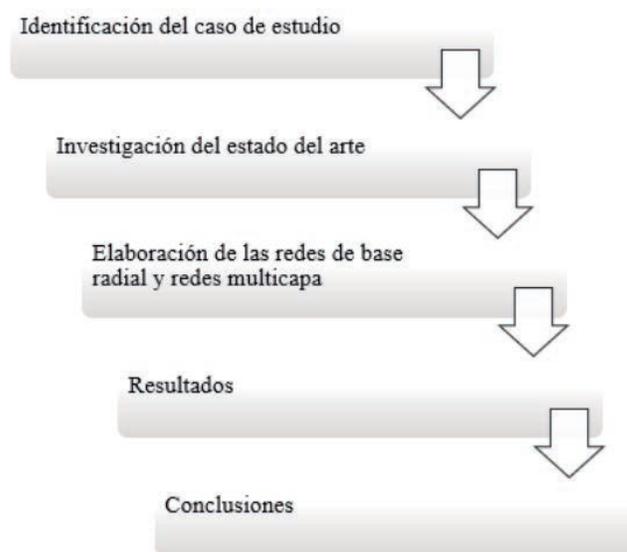


Figura 1. Metodología

IV. RESULTADOS

Las redes neuronales son capaces de realizar tres aplicaciones: predicción, clasificación, y reconocimiento de patrones. De las cuales se realizaron dos de ellas con datos recabados en una tienda naturista, una de predicción y otra de clasificación.

Utilizando como base los datos de compras a proveedores en especie y monetariamente, así como la huella de carbono que expiden al realizar dichas actividades, donde:

Como variables de entrada tenemos que X1 corresponde a las compras realizadas anualmente a los proveedores durante un año; X2 es la huella de carbono que expide cada proveedor al surtir la mercancía anualmente; la variable de salida T1 para el modelo de predicción es la cantidad de artículos comprados por proveedor durante un año, mientras que para el modelo de clasificación T1 corresponde al indicador ABC siendo “A” mas importante, “B” regular, “C” menos importante.

A. Red multicapa de predicción

Las redes perceptrón multicapa tienen una estructura que consta de tres capas:

La capa de entrada, la cual corresponde a las variables obtenidas para el entrenamiento de la red, la capa oculta, donde se realizan los respectivos cálculos dando paso a la capa de salida, en la que se muestra la respuesta deseada del entrenamiento.

La red cuenta con tres neuronas en la capa oculta, dos neuronas en la capa de entrada y una en la neurona de salida (Figura 1).

Para elaborar la red multicapa de predicción se le asignan las transformaciones a X1 y X2 las cuales resultan de los datos obtenidos en compras a proveedores y huella de carbono respectivamente, el valor deseado (T1) para realizar la red multicapa de predicción es la cantidad de productos anuales.

A partir de esta información se desarrolla la red, a los pesos (W) y bias (B) se les otorga un número aleatorio en el primer renglón. A partir del segundo renglón se calculan los pesos, dando como resultados que las neuronas mismas que serán necesarias para calcular la variable de salida al realizar las operaciones con los pesos restantes.

Una vez obtenido esto, se comienza con la propagación hacia atrás (Figura 2).

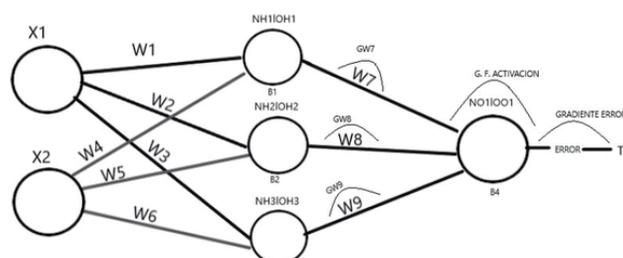


Figura 2. Estructura de la Red Perceptrón Multicapa (RPM)

Los resultados de las primeras iteraciones para los patrones de entrenamiento los podemos observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Red perceptrón multicapa

Iteración	X1	X2	W1	W2	W3	W4	W5	W6	B1	B2	B3	NH1
1	1.000	0.179	0.086	0.002	0.642	0.723	0.987	0.019	0.363	0.261	0.789	1.273
2	0.225	0.126	0.084	0.001	0.641	0.723	0.987	0.019	0.361	0.260	0.787	0.574
3	0.248	1.000	0.083	0.001	0.641	0.723	0.987	0.019	0.360	0.259	0.785	0.677
4	0.022	0.205	0.083	0.000	0.641	0.722	0.987	0.018	0.359	0.259	0.784	0.398
5	0.015	0.094	0.083	0.000	0.641	0.722	0.986	0.017	0.355	0.257	0.781	0.377
6	0.007	0.198	0.083	0.000	0.641	0.722	0.986	0.017	0.352	0.256	0.777	0.376
7	0.000	0.001	0.083	0.000	0.641	0.721	0.986	0.016	0.348	0.255	0.774	0.348
8	0.000	0.000	0.083	0.000	0.641	0.721	0.986	0.016	0.344	0.253	0.770	0.344

Iteración	OH1	NH2	OH2	NH3	OH3	W7	W8	W9	B4	NO1	OO1	TI
1	0.800	1.625	0.836	1.735	0.850	0.951	0.165	0.073	0.445	0.708	0.670	0.291
2	0.702	0.991	0.729	0.946	0.720	0.935	0.153	0.061	0.424	0.637	0.654	0.402
3	0.714	1.477	0.814	1.717	0.848	0.924	0.145	0.053	0.410	0.661	0.659	0.633
4	0.672	0.873	0.705	0.818	0.694	0.919	0.144	0.052	0.408	0.604	0.647	0.093
5	0.668	0.804	0.691	0.714	0.671	0.899	0.127	0.034	0.377	0.532	0.630	0.070
6	0.667	0.849	0.700	0.793	0.689	0.878	0.109	0.017	0.344	0.472	0.616	0.063
7	0.662	0.734	0.676	0.617	0.650	0.856	0.091	-0.002	0.311	0.398	0.598	0.020
8	0.660	0.730	0.675	0.615	0.649	0.833	0.073	-0.019	0.277	0.331	0.582	0.000
Iteración	EO1	Gerror1	Gfactiv1	Gfactiv2	Gfactiv3	Gfactiv4	Gw7	Gw8	Gw9	GOH11001	GOH21001	GOH31001
1	0.155	0.557	0.129	0.185	0.151	0.190	0.557	0.798	0.726	0.347	0.608	0.080
2	0.091	0.427	0.142	0.213	0.216	0.233	0.549	0.717	0.670	0.335	0.591	0.064
3	0.021	0.204	0.137	0.170	0.182	0.196	0.596	0.845	0.710	0.327	0.579	0.053
4	0.263	0.725	0.149	0.216	0.227	0.238	0.551	0.709	0.658	0.324	0.575	0.050
5	0.271	0.737	0.156	0.222	0.231	0.241	0.544	0.687	0.653	0.306	0.552	0.029
6	0.270	0.736	0.161	0.218	0.228	0.239	0.549	0.704	0.657	0.288	0.530	0.007
7	0.292	0.764	0.169	0.226	0.234	0.243	0.538	0.666	0.647	0.270	0.506	-0.015
8	0.298	0.772	0.176	0.227	0.234	0.243	0.537	0.665	0.647	0.250	0.482	-0.038
Iteración	gacum1	gacum2	gacum3	gw1	gw2	gw3	gw3	gw4	gw5	gw6		
1	0.047	0.034	0.031	1.000	1.000	1.000	1.000	0.179	0.179	0.179		
2	0.040	0.028	0.026	0.225	0.225	0.225	0.225	0.126	0.126	0.126		
3	0.019	0.013	0.012	0.248	0.248	0.248	0.248	1.000	1.000	1.000		
4	0.068	0.048	0.043	0.022	0.022	0.022	0.022	0.205	0.205	0.205		
5	0.071	0.049	0.045	0.015	0.015	0.015	0.015	0.094	0.094	0.094		
6	0.072	0.049	0.044	0.007	0.007	0.007	0.007	0.198	0.198	0.198		
7	0.077	0.051	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001		
8	0.078	0.051	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		

Para comprobar el porcentaje de aprendizaje de la red se realiza una validación y prueba con los datos de dos proveedores que no hayan sido utilizados en la etapa de entrenamiento (Tabla 2) de manera que, si la red es capaz de predecir de manera exacta los datos con los que no fue

entrenada, se puede decir que aprendió en un 100%, de lo contrario, si la variable de salida (OO1) no se acerca a la variable deseada (T1) la red no esta correcta, y no puede ser utilizada para establecer pronósticos independientemente de los datos que se le asignen a X1 y X2.

Tabla 2. (RPM) Predicción: validación

VALIDACIÓN												
Iteración	X1	X2	W1	W2	W3	W4	W5	W6	B1	B2	B3	NH1
	0.443	0.130	0.261	-0.773	-1.056	0.061	-2.585	-2.373	0.649	0.819	0.554	0.773
VALIDACIÓN												
OH1	NH2	OH2	NH3	OH3	W7	W8	W9	B4	NO1	OO1	TI	ECM
0.684	0.141	0.535	-0.222	0.445	0.518	-2.840	-2.667	0.805	-1.545	0.176	1.000	0.340

Tabla 3. (RPM) Predicción: prueba

PRUEBA												
Iteración	X1	X2	W1	W2	W3	W4	W5	W6	B1	B2	B3	NH1
	0.134	0.205	0.261	-0.773	-1.056	0.061	-2.585	-2.373	0.649	0.819	0.554	0.697
PRUEBA												
OH1	NH2	OH2	NH3	OH3	W7	W8	W9	B4	NO1	OO1	T1	ECM
0.667	0.186	0.546	-0.074	0.482	0.518	-2.840	-2.667	0.805	-1.685	0.157	0.138	0.000

En este caso la red multicapa de predicción tiene un error cuadrático medio de 0.34, mientras que en la etapa de prueba, (Tabla 3) el error cuadrático medio corresponde a cero.

B. Red de base radial de predicción

Por otro lado, la red de base radial funciona a con base en centros, los cuales se obtienen de multiplicar las variables antes mencionadas de X1 y X2 por la distancia recorrida hacia el centro correspondiente, la variable de salida se mantiene igual. En la figura 3 se aprecia la estructura de la red.

Dado que es una comparación entre la red perceptrón multicapa y la red de base radial, se le asignan los mismos datos para X1 y X2, así como la variable de salida.

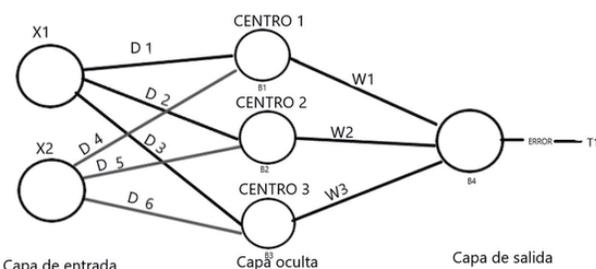


Figura 3. Estructura de la Red de Base Radial (RBR)

El resultado de la multiplicación entre las variables de entrada y la distancia se le conoce como neuronas, mismas que serán utilizadas para entrenar a red en su propagación hacia adelante (Tabla 4).

Tabla 2. (RPM) Predicción: validación

Iteración	neurona 1	neurona 2	neurona 3	W1	W2	W3	Bias	Agregación	Activación	T	Gradiente Error	Gradiente activación
1	1.000	0.000	0.007	2.000	1.000	-3.000	0.000	1.979	0.879	0.291	0.587	0.107
2	0.008	0.303	0.522	1.984	1.000	-3.000	-0.016	-1.263	0.220	0.402	-0.182	0.172
3	0.005	0.054	0.959	1.984	1.002	-2.996	-0.008	-2.817	0.056	0.633	-0.577	0.053
4	0.000	0.993	0.036	1.984	1.003	-2.989	0.000	0.888	0.708	0.093	0.616	0.207
5	0.000	0.998	0.028	1.984	0.971	-2.990	-0.032	0.853	0.701	0.070	0.631	0.210
6	0.000	0.996	0.025	1.984	0.938	-2.991	-0.065	0.794	0.689	0.063	0.626	0.214
7	0.000	0.978	0.016	1.984	0.905	-2.992	-0.099	0.739	0.677	0.020	0.657	0.219
8	0.000	0.962	0.013	1.984	0.870	-2.992	-0.134	0.663	0.660	0.000	0.660	0.224

De igual manera la red debe ser validada y probada con datos de los dos proveedores, que se utilizaron en la validación y prueba de la red multicapa. En la tabla podemos observar que el error cuadrático medio es de 0.113, menor comparado con la red multicapa en la etapa de

prueba los resultados arrojan un error cuadrático medio de 0.002 en la red de base radial, y la red multicapa mostraba el 0.00. Esto quiere decir, que la red de base radial en esta aplicación mantiene un mayor aprendizaje debido a un entrenamiento adecuado.

Tabla 5. (RBR) Predicción: validación

VALIDACION												
<i>X1</i>	<i>X2</i>	<i>Neurona 1</i>	<i>Neurona 2</i>	<i>Neurona 3</i>	<i>W1</i>	<i>W2</i>	<i>W3</i>	<i>Bias</i>	<i>Agregación</i>	<i>Activación</i>	<i>T</i>	<i>ECM</i>
1.341	2.900	0.074	0.004	0.000	0.000	0.888	0.708	0.093	0.097	0.524	1.000	0.113

Tabla 6. (RBR) Predicción: prueba

PRUEBA												
<i>X1</i>	<i>X2</i>	<i>Neurona 1</i>	<i>Neurona 2</i>	<i>Neurona 3</i>	<i>W1</i>	<i>W2</i>	<i>W3</i>	<i>Bias</i>	<i>Agregación</i>	<i>Activación</i>	<i>T</i>	<i>ECM</i>
0.476	0.487	0.002	0.879	0.081	-1.598	-3.729	0.052	0.711	-2.566	0.071	0.138	0.002

C. Red multicapa de clasificacion

Se utiliza los mismos datos para las variables de entrada para desarrollar la red multicapa de clasificación, sólo que en la variable de salida se otorgará el número clasificador:

Para los proveedores más importantes (A) 0.25, regulares (B) 0.5; y los menos importantes 0.75 (C) como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Red perceptrón multicapa clasificación

<i>OO1</i>	<i>T1</i>
0.72948844	0.25
0.69987362	0.75
0.70762415	0.75
0.68209216	0.5
0.67586581	0.5
0.67046501	0.5
0.66357754	0.5
0.65830857	0.5

Tabla 8 tiene la etiqueta C y su valor resultante en la etapa de entrenamiento ronda en el parámetro establecido de 0.7, lo cual significa que la red lo clasificó de manera correcta.

Tabla 8. (RPM) Clasificación: validación

VALIDACION		
<i>OO1</i>	<i>T1</i>	<i>ECM</i>
0.79218503	0.75	0.000889788

Podemos confirmarlo en la etapa de prueba (Tabla 9), donde, el valor deseado corresponde a la clasificación B y el dato resultante es de 0.4 es decir, muy aproximado al valor esperado. De esta manera podemos constatar que la red multicapa clasifica en un 100%.

Tabla 9. (RPM) Clasificación: validación

PRUEBA			<i>Clasificación</i>
<i>OO1</i>	<i>T1</i>	<i>ECM</i>	
0.4880582	0.5	7.13033E-05	Correcta

Posteriormente se hace la validación, donde observamos que la red aprende correctamente si el valor resultante (OO1) es cercano a la variable de salida (T1). Lo mismo ocurre para el periodo de prueba. En dado caso que la red no aprenda correctamente, la variable resultante tendría un valor diferente a la variable de salida deseada, ubicando el proveedor en un punto que no le corresponde, el proveedor que se clasifico en la

D. Red de base radial de clasificacion

La red de base radial de clasificación conserva los mismos datos para las variables de entrada, pero utilizando la clasificación 0.25 (A), 0.5 (B) y 0.75 (C). podemos observar dicha clasificación en la Figura 4, donde se aprecian los tres grupos en indicador azul, naranja y gris.

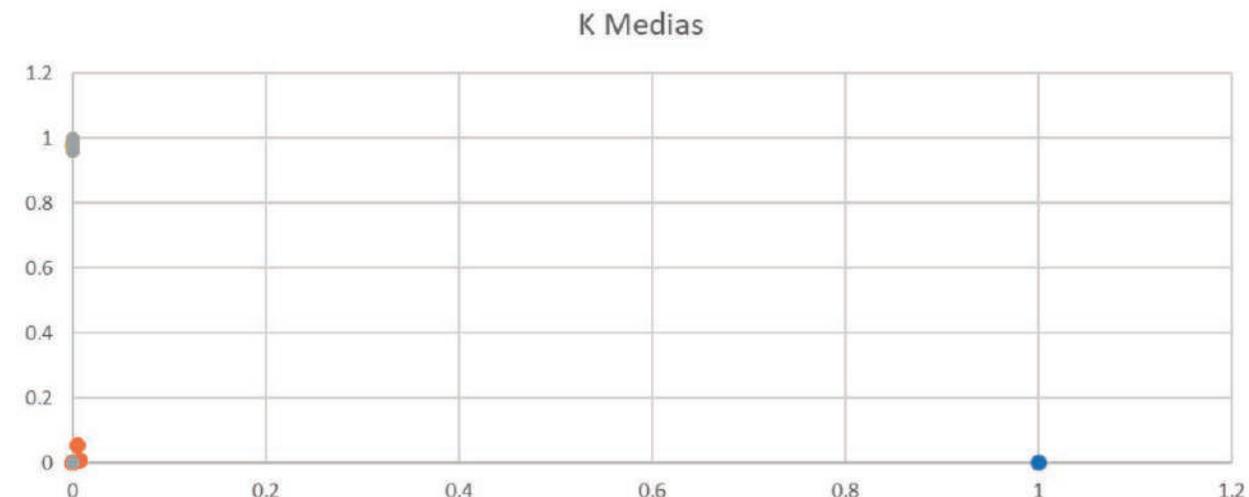


Figura 4. K Medias.

Tabla 10. Red de base radial clasificación

Iteración	Neurona 1	Neurona 2	Neurona 3	W1	W2	W3	Bias	Agregación	Activación	T	Gradiente Error	Gradiente activación
1	1.000	0.000	0.000	1.000	-1.000	-1.000	2.000	0.999	0.731	0.250	0.481	0.197
2	0.008	0.008	0.008	0.984	-1.000	-1.000	1.976	1.952	0.876	0.750	0.126	0.109
3	0.005	0.054	0.959	0.985	-1.000	-1.000	1.973	0.955	0.722	0.750	-0.028	0.201
4	0.000	0.993	0.036	0.985	-0.999	-0.998	1.974	0.945	0.720	0.500	0.220	0.202
5	0.000	0.998	0.028	0.985	-0.990	-0.997	1.963	0.926	0.716	0.500	0.216	0.203
6	0.000	0.996	0.025	0.985	-0.980	-0.997	1.952	0.909	0.713	0.500	0.213	0.205
7	0.000	0.978	0.016	0.985	-0.970	-0.996	1.941	0.915	0.714	0.500	0.214	0.204
8	0.000	0.962	0.013	0.985	-0.960	-0.996	1.930	0.914	0.714	0.500	0.214	0.204

Para la red de base radial se hace el periodo de validación con los dos proveedores, esta arroja un resultado muy cercano de 0.755 al valor deseado 0.750 (Tabla 11) al cual le corresponde la clasificación de C, si bien, la red clasificó correctamente dicho proveedor. Sin embargo, comparando el valor resultante en la red multicapa de 0.792, con el valor obtenido en la red

de base radial de 0.755 nos percatamos que esta última arroja un patrón mucho más cercano a la variable de salida.

El error cuadrático medio es de 0.00001 menor al error cuadrático medio de la red multicapa, el cual arrojo una cifra de 0.0008.

Tabla 11. (RBR) Clasificación: validación

VALIDACION												ECM
X1	X2	Neurona 1	Neurona 2	Neurona 3	W1	W2	W3	Bias	Agregación	Activación	T	
1.341	2.900	0.002	0.000	0.383	-2.193	-1.118	0.079	1.102	1.128	0.755	0.750	0.0000125

Lo mismo sucede en la etapa de prueba, el valor deseado corresponde a la clasificación B de 0.5, la red lo ubica correctamente, y comparando el valor resultante de 0.53 con el valor resultante de la red

multicapa de 0.48 el margen obtenido en la red de base radial es más aproximado al valor deseado. El error cuadrático medio corresponde a 0.00045 es decir, la red de base radial clasifica de manera correcta.

Tabla 12. (RBR) Clasificación: prueba

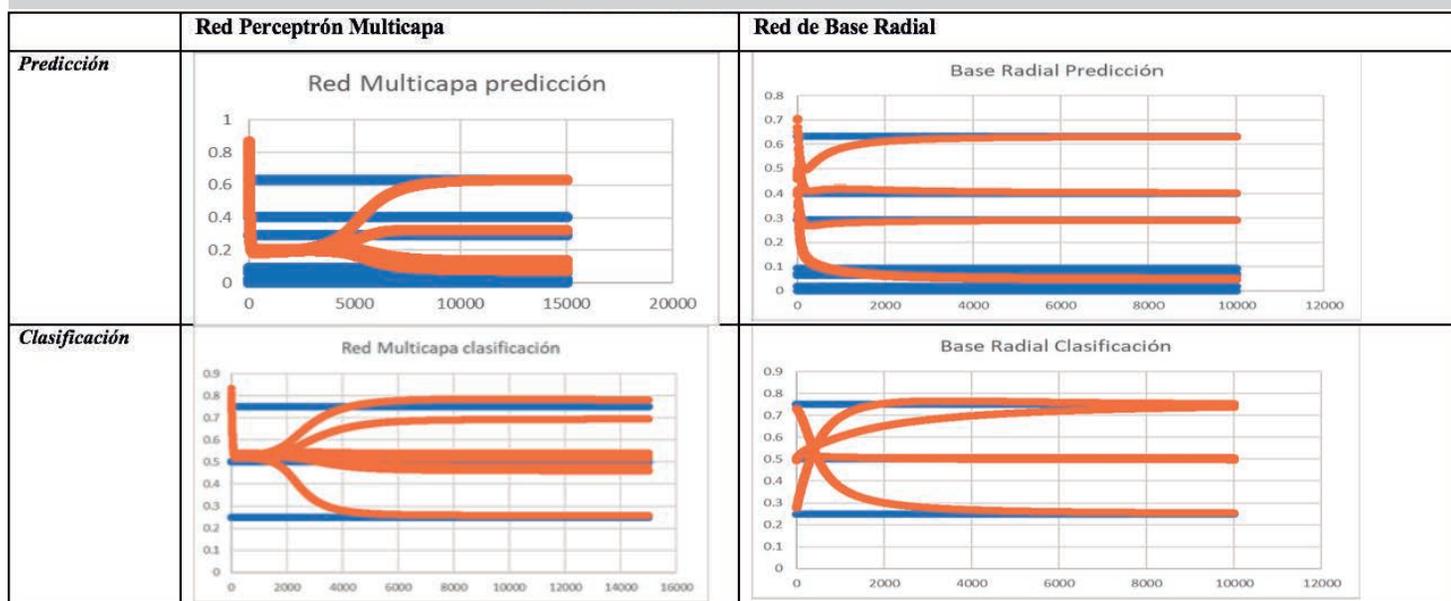
PRUEBA												
X1	X2	Neurona 1	Neurona 2	Neurona 3	W1	W2	W3	Bias	Agregación	Activación	T	ECM
0.476	0.487	0.002	0.879	0.081	-2.281	-1.188	-0.008	1.171	0.120	0.530	0.500	0.00045

E. Conjunto de redes

Gráficamente nos podemos percatar que la red entrena adecuadamente a través de las figuras que aparecen en la Tabla 13, donde se aprecia la clasificación de los datos. Como podemos notar la figura de ambas redes inician como una línea que converge a la línea meta, de no mostrar este comportamiento, la red tendría un aprendizaje deficiente. Por otro lado, se observa como las redes de base radial convergen de manera más pronta obteniendo los resultados fiables para cada

uno de los patrones de entrenamiento, clasificando los datos en la iteración cien aproximadamente, mientras que la red multicapa clasifica de manera correcta, pero en la iteración cinco mil aproximadamente. Por lo tanto, la red de base radial funciona de una mejor manera tanto para predicción como para clasificación, esto debido a que durante el entrenamiento de la red de base radial, se aplica como filtro de clasificación el algoritmo K medias, contrario a la red multicapa donde los datos se introducen de manera directa.

Tabla 13. Comparación de redes



F. Periodo de validación y prueba

La etapa de validación y prueba también la podemos observar gráficamente; si el punto OO1 se encuentra a la misma distancia del punto T1, la validación y/o prueba es correcta, de lo contrario, la red presenta un mal aprendizaje. Para las cuatro

redes desarrolladas, tanto perceptrón multicapa como base radial, se aprecia un aprendizaje correcto, pues, la variable resultante OO1 en color naranja, y la variable deseada T1 en color azul, se encuentran a la misma distancia entre sí (Tabla 14)

Tabla 13. Comparación de redes

Perceptrón Multicapa	Validación	Prueba
Clasificación		
Predicción		
Base Radial	Validación	Prueba
Clasificación		
Predicción		

G. Comparación de resultados

Con base en los resultados obtenidos por las diferentes redes, se aprecia el comportamiento de estas, la línea azul corresponde al valor deseado (T1) mientras que la línea naranja ilustra el valor resultante tanto para la predicción como para la clasificación. En la tabla se muestra que la red de base radial de predicción realiza un pronóstico más acertado que la red multicapa en este caso, pues, en el proveedor ubicado en el punto numero

2 la distancia entre lo pronosticado y el valor real es más amplia en la red multicapa que en la red de base radial.

Por otro lado, en las redes de clasificación sucede el mismo comportamiento, la red de base radial sigue una secuencia casi exacta en el pronóstico dado y el de clasificación, mientras que la red multicapa clasifica los puntos uno y dos de manera no tan exacta (Tabla 15).

Tabla 15. Comparación de redes

Perceptrón Multicapa	Validación	Prueba
Clasificación		
Predicción		
Base Radial	Validación	Prueba
Clasificación		
Predicción		

V. CONCLUSIONES

Las redes neuronales funcionan como el cerebro humano al momento de dividir, clasificar, predecir, son útiles para la toma de decisiones ya que nos ayudan a determinar pronósticos con base en indicadores numéricos tomados de datos reales del entorno. Su aplicación en las pequeñas y medianas empresas contribuyen a disminuir el índice de fracaso, aumentar las ventas o tomar decisiones respecto a diversos factores que enfrentan.

Comúnmente, la red perceptrón multicapa realiza un pronóstico más acertado debido a que utiliza el algoritmo “backpropagation” mientras que para desarrollar la red de base radial se necesita

desarrollar el algoritmo K medias previamente. Cabe destacar también que la red perceptrón multicapa es más utilizada por su simplicidad, y exactitud. Sin embargo, para esta aplicación la red de base radial desarrolla un pronóstico más acertado en cuanto a las compras anuales por proveedores, ya que las líneas de predicción T1 y OO1 siguen un patrón mucho más cercano entre sí. Corroboramos este comportamiento en la etapa de validación y prueba donde nos damos cuenta de que el error cuadrático medio para las redes de base radial es menor a diferencia de la red de multicapa, cuyo margen de error es mayor, o la cercanía al valor deseado en las redes de clasificación a pesar de que ambas lo realizan de manera correcta; este artículo

demuestra alto rendimiento de las redes de base radial, teniendo una etapa de entrenamiento eficiente.

Como trabajos futuros se desarrollará un sistema difuso capaz de valorar el servicio por medio de etiquetas a la tienda naturista, a través de diversas variables calificadas previamente por los clientes.

RECONOCIMIENTOS

Se reconoce a la empresa “La milagrosa de Yuriria” por facilitar el acceso a la información pertinente en la presente investigación, destacando la participación de los empleados por su apoyo en la búsqueda de datos, agradecimientos a la dueña de la organización quien estuvo en toda la disponibilidad de brindar acceso a los datos reales.

REFERENCIAS

- [1] D. Matich, “Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones,” Universidad Tecnológica Nacional, México, 2001.
- [2] D. Ramírez, E. Giraldo, and J. Jiménez, “Acercamiento a redes neuronales artificiales Madaliney Base Radial aplicándolas a un decodificador binario de 9 bits,” 2014.
- [3] A. Pitarque, J. Ruiz, and J. Roy, “Las redes neuronales como herramientas estadísticas no paramétricas de clasificación,” *Psicothema*, 12(Su2), 2000.
- [4] J. Navarro, and J. Losilla, “Análisis de datos faltantes mediante redes neuronales artificiales,” *Psicothema*, 12(3), 2000.
- [5] M. Bouami, “Desarrollo y optimización de nuevos modelos de redes neuronales basadas en funciones de base radial,” Doctoral dissertation, Tesis Doctoral Universidad de Granada, Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, 2005.
- [6] X. Olabe, “Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones. Publicaciones de la Escuela de Ingenieros,” 1998.
- [7] M.López, A. Gómez, and S. Marín, “Sistema de costos ABC en la mediana empresa industrial mexicana. Cuadernos de Contabilidad,” 12(30), pp. 23-43, 2011.
- [8] E. Toro, G. Mejía, and S. Isaza, “Pronóstico de ventas usando redes neuronales,” *Scientia et technica*, vol 10, No 26, 2004.
- [9] J. Arquero, M. Abad, and S. Jiménez, “Procesos de fracaso empresarial en PYMES. Identificación y contrastación empírica,” *Revista Internacional de la Pequeña y Mediana Empresa*, 1 (2), pp.64-77, 2009.
- [10] S. Nojek, P. Britos, B. Rossi, and R. García, “Pronóstico de Ventas: Comparación de Predicción basada en redes neuronales versus método estadístico,” *Reportes Técnicos en Ingeniería del Software*, 5(1), pp 1-12, 2003.
- [11] E. Ruelas, and J. Laguna, “Comparación de predicción basada en redes neuronales contra métodos estadísticos en pronósticos de ventas. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias,” 4(12), pp. 91-105, 2014.
- [12] A. Fakharudin, M. Mohamad and M. Johan, "Newspaper Vendor Sales Prediction Using Artificial Neural Networks," International Conference on Education Technology and Computer, Singapore, pp. 339-343, 2009.
- [13] F. Villada, N. Muñoz, and E. García, “Aplicación de las Redes Neuronales al Pronóstico de Precios en el Mercado de Valores” *Información tecnológica*, 23(4), pp 11-20, 2012.
- [14] N. Baba and H. Suto, (2000) "Utilization of artificial neural networks and GAs for constructing an intelligent sales prediction system," Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks. IJCNN. Neural Computing: New Challenges and Perspectives for the New Millennium, Como, Italy, vol.6, pp. 565-570, 2000.
- [15] E. Cruz, J. Hernan, and P. Medina, “Pronóstico del Índice General de la Bolsa de Valores de Colombia usando redes neuronales” *Scientia et technica*, 15(41), pp.129-134, 2009.
- [16] C. Foix, and R. Weber, “Pronóstico del precio del cobre mediante redes neuronales”.*Ingeniería de Sistemas*, 21, pp. 63-86, 2007.
- [17] I. Jagielska, (1993) "A neural network model for sales forecasting," Proceedings The First New Zealand International Two-Stream Conference on Artificial Neural Networks and Expert Systems, Dunedin, New Zealand, pp. 284-287, 1993.

[18] E. Toro, A. Molina and A. Garces "Pronóstico de bolsa de valores empleando técnicas inteligentes". *Tecnura*, 9(18), pp. 57-66, 2006.

[19] F. Duque, W. Trejos, and M. Henao, "Pronóstico de las tasas de cambio. una aplicación al yen japonés mediante redes neuronales artificiales" *Scientia et technica*, 1(30), pp. 233-238, 2006.

[20] A. Sánchez, "Dos aplicaciones empíricas de las redes neuronales artificiales a la clasificación y la predicción financiera en el mercado español," *RAE: Revista Asturiana de Economía*, (28), pp. 61-87, 2003.

Propuesta para el diseño conceptual de cadenas de suministro sustentables mediante un procedimiento de modelación y validación.

*JM.en I. Javier Gómez Maturano.
Candidato a Doctor en Ingeniería de Sistemas.
Universidad Nacional Autónoma de México.
Ciudad de México, México.
ingmaturano2010@comunidad.unam.mx*

*Dra. Mayra Elizondo Cortés.
Profesora de tiempo completo en Facultad de Ingeniería.
Universidad Nacional Autónoma de México.
Ciudad de México, México.
mayra.elizondo.cortes@comunidad.unam.mx*

Resumen— La satisfacción de los requerimientos de la población deben darse dentro de los límites naturales que los ecosistemas establecen, sin agotar las reservas de recursos naturales que durante cientos de años se han mantenido. Por ello, el propósito tradicional de la cadena de suministro debe ampliarse para no comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades. Es así como en la gestión de la cadena de suministro surge un primer grupo de problemas orientados a corregir su operación para atenuar los impactos negativos a los entornos económico, social y medioambiental. El diseño y rediseño de cadenas de suministro que sean sustentables es uno de los problemas que emergen en el campo de su gestión, en el que el empleo de herramientas participativas que incorporen los conocimientos, la experiencia y las preferencias de varios stakeholders se vuelve necesario. El objetivo de este trabajo es proponer un procedimiento de modelación y validación (M&V) de sistemas conceptuales, enriquecido con algunas herramientas y técnicas de diseño participativas, que sirva para diseñar y rediseñar cadenas de suministros sustentables. La aportación principal es la propuesta de una forma explícita y concreta de modelar conceptualmente cadenas de suministros sustentables, útil para sus gestores.

Palabras Clave— Diseño de cadenas de suministro, modelación y validación, modelos conceptuales, cadena de suministro

I. ¿SE PUEDE COMENTAR DE GESTIÓN SUSTENTABLE DE LA CADENA DE SUMINISTRO?

Las Cadenas de Suministro [CS] tienen un papel importante para impulsar los Objetivos del Desarrollo Sustentable [ODS] en el mundo. Particularmente, pueden contribuir para el logro de los objetivos nueve y doce: industria, innovación e infraestructura (9 ODS); producción y consumo responsable (12 ODS).

El cambio climático, el agotamiento de los recursos naturales, la búsqueda de la eficiencia energética, el aseguramiento del Estado de derecho y la lucha contra la discriminación, la inseguridad y la corrupción, comienzan a formar parte de los problemas por resolver en el campo de la Gestión de la Cadena de Suministros [GCS]. Otros tópicos periféricos, que inciden en las CS son los flujos migratorios extraordinarios, los cambios en los paradigmas políticos, la fractura de bloques comerciales y hasta la viralización de las noticias en las redes sociales [1].

El agotamiento de los recursos naturales se asocia con la forma en que los bienes son producidos a partir de materias primas vírgenes, vendidos, utilizados, y finalmente desechados como residuos [2]. Este es el patrón de producción y consumo que se impulsa en las CS tradicionales. El ritmo de consumo de recursos naturales es 1.5 veces más rápido que lo que la naturaleza tarda en renovarlos [3]. Dicha situación se agrava pues parte importante de estos materiales se convierten rápidamente en desechos, un ejemplo se da en las CS alimentarias, en las que el 31 % de los alimentos se desechan a lo largo de la cadena [2].

En 2015, se producían alrededor de 680 millones de toneladas de desechos en las ciudades al año. Se estimaba que para los próximos 10 años la cifra llegaría a 2, 200 millones de toneladas anuales [4]. En treinta años, México ha duplicado su producción de Residuos Sólidos Urbanos [RSU], pasando de 60 mil toneladas diarias en 1990 a 126 mil [5] y [6].

En este contexto, emergen líneas de investigación en el campo de la GCS que buscan resolver las

problemáticas señaladas e impulsar los ODS. comportamiento. Una de ellas es la ampliación del alcance de la CS tradicional, que va de los primeros proveedores a los últimos clientes, que se hace posible a través de la incorporación de nuevas funciones en la GCS que permiten establecer flujos inversos y circulares de materiales, información y otros recursos, desde el consumidor final hasta los proveedores.

Las cadenas de suministro de ciclo cerrado [CSCC] buscan la circularidad de la producción, la reducción del volumen de consumo de materias primas y la prevención de residuos, lo que permite que las empresas ahorren en materias primas, energía y mano de obra.

Se estima que, a escala mundial, los ahorros para las empresas representarían cientos de miles de millones de dólares al año si implementan CSCC [4]. El lector puede consultar [7], [8], [9] y [42] para mayor detalle.

Las CSCC requieren de la puesta en marcha de cadenas de suministro inversas [CSI] para cerrar el ciclo de los flujos de materiales y generación de valor [10]. Las CSI buscan evitar el desperdicio de materia y energía al revalorizar los residuos para integrarlos nuevamente al ciclo productivo. El lector puede consultar [11] y [12] para ampliar su visión sobre CSI.

Ahora bien, los objetivos tradicionales de la GCS se concentran en indicadores de carácter económico y técnico-operativo, lo que deja de lado las problemáticas de la dimensión social y medioambiental, que son elementos esenciales de la sustentabilidad. Esto también ha aplicado en un principio en las CSCC y en las CSI. Los objetivos de la GCS propuestos por autores más citados en la literatura relacionados son:

1. Maximización de la producción de valor y su entrega al cliente final [13], [14], [15] y [44];
2. Desarrollar una ventaja competitiva sostenible [16];

3. Mejorar el desempeño a largo plazo de las empresas individuales como un todo [17];
4. Buscar el menor costo posible en el suministro de bienes y servicios [18], [19] y [20];
5. Satisfacer los requerimientos de los consumidores en forma eficiente mediante la creación y entrega de mercancías o un servicio al cliente [13], [18], [19] y [20].

Estos objetivos son insuficientes si lo que se persigue es que la CS sea sustentable.

El redireccionamiento de la GCS para lograr tener productos y servicios amigables con el ambiente y socialmente responsables requiere cambios en el diseño y configuración de las CS [21] y de la inclusión de ODS.

El enfoque de sustentabilidad dominante en la GCS está guiado por el principio de creación de valor económico con menores impactos negativos tanto en el ámbito social y ambiental [22].

Los objetivos relacionados con la GCS son causar menos desperdicio y menos consumo de recursos en cada eslabón de la CS. Son consistentes con este enfoque los estudios de eco-eficiencia de la CS, mejoras en la eficiencia en la producción de los proveedores, el reciclaje, down-cycling, las cadenas de suministro de ciclo cerrado e inversas [22].

Por su parte, enfoques como la ecoeficiencia/eco-efectividad, la producción limpia, la ecología industrial, la evaluación del ciclo de vida, la iniciativa de reportes globales, la responsabilidad social corporativa, la familia de normas ISO 14000 y 26000, se emplean de forma recurrente en la GCS, para corregir las operaciones de la CS y atenuar los impactos negativos a los entornos social y medioambiental [23].

Estas herramientas sólo se centran en el uso eficiente de recursos [22]. En la literatura de cadenas de suministro y desarrollo sustentable domina un enfoque de sustentabilidad débil [10]: con una posición antropocéntrica, soportado en el principio de sustituibilidad, que busca la internalización de los costos provocados por las externalidades negativas, haciendo una valorización económica de los servicios de la naturaleza.

Este enfoque eficientista reduce los aspectos sustentables a aspectos de rendimiento táctico operativo, en lugar de permitir una visión estratégica en la GCS. La corrección en la operación de un sistema, como lo es la CS [24], tiene un límite, que es el funcionamiento óptimo a partir del fin para el que fue diseñado el sistema. Una CS diseñada bajo los objetivos tradicionales de la GCS tiene una capacidad reducida de mejora en términos de sustentabilidad, puesto que el diseño inicial está enfocado en el desempeño económico.

Lo anterior se ejemplifica en el caso de los fabricantes de automóviles BMW y Daimler, que en su línea de automóviles Smart orientados a la movilidad sustentable, no bastó con la mejora de su CS basada en el combustible fósil, sino que además, se requirió el reemplazo de ciertos integrantes de la CS, incluyendo los proveedores de electricidad y motores eléctricos para los coches y proveedores de software que les permitieran alcanzar los objetivos medioambientales y sociales que se habían planteado [22].

Incluir la sustentabilidad en la GCS obliga a cuestionar el diseño convencional de la CS, el producto o servicio tal como se produce y consume bajo el modelo de producción lineal, lo que además requiere un rediseño fundamental de la oferta de la empresa focal, la red de proveedores y el modelo de negocio [22].

Para tener una Cadena de Suministro Sustentable [CSS] se sugiere la innovación de los sistemas de producción de bienes y del rediseño de las cadenas de valor bajo el marco de sustentabilidad [22]. De hecho, la inclusión de la CSI y la configuración de CSCC son líneas de trabajo que apuntan a la sustentabilidad.

Rediseñar las unidades de negocio para que las CS operen bajo criterios de sustentabilidad es un problema de carácter estratégico recurrente en la literatura de CSS [21]. La GCS sustentable debe ocuparse de un conjunto más amplio de objetivos de rendimiento que los que sugieren los autores clásicos [25].

Las siguientes definiciones permiten identificar cómo se ha ido redefiniendo el papel de la GCS para hacerla sustentable:

- *La GCS sustentable es la integración estratégica y transparente de varias empresas que buscan objetivos sociales, económicos y ambientales mediante la coordinación sistémica de los principales procesos empresariales interorganizacionales para mejorar el desempeño económico a largo plazo de la empresa individual y sus cadenas de suministro (Carter y Rogers, 2008: pág. 368 citado en [21]).*
- *GCS sustentable es la gestión de los flujos de material, información y capital, así como la cooperación entre empresas a lo largo de la cadena de suministro, al tiempo que se toman metas de las tres dimensiones del desarrollo sustentable, ambientales y sociales, que se derivan de los requerimientos de los clientes y de las partes interesadas [25].*

Como puede verse en estas definiciones, pese al creciente interés desde el campo de la GCS en la sustentabilidad y dada la complejidad inherente del concepto, el término no deja de estar sujeto a ambigüedad e interpretaciones diversas.

La sustentabilidad, y en especial, el desarrollo sostenible, se cuentan entre los conceptos más ambiguos y controvertidos de la literatura [26].

En el campo de la GCS, las normas de sustentabilidad y los certificados verdes en la práctica, se convierten en nuevas formas de proteccionismo comercial, disfrazadas de competencia por la calidad ambiental y la conservación ecológica [27].

De hecho, en la GCS existe polisemia del término sustentabilidad lo que conlleva a que se desarrollen prácticas heterogéneas y contradictorias llamadas comúnmente sustentables.

Por ello, la GCS sustentable requiere de constructos que permitan discernir entre prácticas sustentables y estrategias comerciales. Aunque la GCS se dice sustentable, hasta ahora sólo se incluyen aspectos eficientistas y de sustituibilidad.

Por sí misma, desde el punto de vista conceptual, la sustentabilidad adolece de ambigüedad en el campo de la GCS.

Un sistema conceptual es necesario para entender el comportamiento de las CS y sus implicaciones sustentables, con el fin de diseñar nuevos sistemas más que sólo mejorar el funcionamiento de los existentes.

En este trabajo se plantea el modelado de sistemas conceptuales como una estrategia de diseño de CSS y la validación del sistema modelado, como una forma de reducir la incertidumbre del diseño y, a su vez, aumentar la posibilidad real de lograr la sustentabilidad en la CS.

Asimismo, este documento se inscribe en la conversación actual sobre el diseño de cadenas de suministro sustentables, partiendo del modelado de sistemas conceptuales, y continúa la discusión sobre diseño, modelado y validación de CSS presente en [28], [29], [30] y [31].

II. MODELACIÓN Y VALIDACIÓN DE SISTEMAS CONCEPTUALES PARA EL DISEÑO DE CSS

El diseño y planeación de CSS constituye una línea de trabajo en el campo de GCS, el que eso se logre mediante un procedimiento de Modelación y Validación [M&V] es la propuesta que se discute en este trabajo.

El diseño o reconfiguración de una cadena de suministro se considera como un objetivo estratégico en la GCS. Tradicionalmente, el diseño de la CS consiste en determinar el número, la ubicación y las capacidades de las plantas de fabricación y centros de distribución, el conjunto de proveedores a seleccionar y el flujo efectivo de material a lo largo de la CS [18]. El diseño de estos elementos y sus relaciones se encuentran en un nivel táctico-operativo y generalmente adoptan la forma de modelos matemáticos de la red de suministro para su optimización mediante funciones objetivo de minimización de costos y tiempos, y en términos

sustentables, buscando la reducción de la huella de carbono e hídrica.

El diseño a nivel estratégico tiene un mayor alcance tanto temporal como estructural, involucra la gestión y coordinación de los procesos de la CS buscando la integración entre las empresas para el cumplimiento de los propósitos de generación de valor, mejora del desempeño, reducción de costos o desarrollo de una ventaja competitiva [43]. Dos modelos conceptuales ampliamente difundidos en el campo de la GCS que han servido de base para el diseño de CS son: el modelo Balanced Scorecard [32] y el modelo SCOR [19]. Estas propuestas son ejemplos de diseños de CS basados en modelos conceptuales más que en modelos matemáticos.

Jiménez y Hernández [24] son de los primeros autores en ocupar el enfoque de sistemas para construir un marco de modelación de la CS, centrándose en sus tres funciones básicas: Aprovechamiento, fabricación y distribución; y en dos actividades clave, almacenamiento y transporte. Aunque no llegan a plantear un modelo conceptual terminado como Balanced Scorecard o SCOR, el modelado a partir del enfoque de sistemas inspira el presente trabajo.

En términos sistémicos, un sistema comprende una combinación compleja de recursos en forma de seres humanos, materiales, equipos, hardware, software, instalaciones, datos, información, servicios, etc., integrados de tal manera que cumplen un requisito operacional específico [33].

En la literatura de la GCS es recurrente considerar que la CS es un sistema que cumple con las siguientes características:

- a) constituye una combinación compleja de recursos;
- b) está contenido dentro de alguna forma de jerarquía;
- c) se puede dividir en subsistemas y componentes relacionados, el alcance depende de la complejidad y la(s) función(es) que realiza;

- d) debe tener un propósito;
- e) debe responder a una necesidad funcional identificada.

La modelación de los componentes y factores de una CS como sistema es común en la literatura, no así la modelación de los entornos de la CS y del suprasistema al que pertenece. La porción de la realidad que puede afectar al sistema, o ser afectada por éste, es lo que se denomina ambiente o entorno del sistema y se puede dividir en entorno contextual y entorno transaccional [34]. El entorno contextual es la porción de la realidad que sólo indirectamente afecta o es afectada por el sistema, mientras que el entorno transaccional es el que directamente afecta o puede ser afectado por el sistema.

En este sentido, un diseño de CSS puede verse como un sistema conceptual, es decir, una serie de elementos abstractos organizados a partir de un conjunto de especificaciones y planes, que permiten el desarrollo de sistemas físicos [33]. Un sistema conceptual es una representación del mundo o una parte de él [35], dicha representación suele ser una simplificación que permite experimentar con los factores que son relevantes para el analista y que en el mundo real no sería factible crear [36]. Un sistema conceptual es una representación de la realidad, pero también es un instrumento para comunicar ideas, conceptos, percepciones y soluciones.

La modelación de un sistema conceptual implica una mezcla imaginativa de conocimiento previo, conocimiento del funcionamiento de la realidad e información obtenida a partir de observaciones reales, una amalgama que depende crucialmente no solo del conocimiento sino también de las habilidades “artesanales” de quien modela [37].

Los sistemas conceptuales no pueden ser considerados un producto final, pues debe haber retroalimentación, que constituye la modificación de la modelación inicial hecha a la luz del conocimiento adquirido conforme se avanza en las fases del proceso de solución del problema [38].

Por su parte, la validación permite darle confianza al sistema conceptual ya que es un proceso mediante el cual, un investigador se puede asegurar a sí mismo y a otros, que una teoría o modelo es una descripción de los fenómenos seleccionados de la realidad y que es adecuada para los usos que se le darán, al igual para los grupos de interés involucrados [37].

La validación se relaciona con la pregunta a cerca de qué tan fidedigno y qué tan útil es un sistema conceptual; es la forma en que las teorías y modelos describen los aspectos que se acotaron a partir de la realidad [37], [35]. En un sentido estricto, validar sistemas conceptuales implica operacionalizar los conceptos, esto es, asegurar un significado, ligar conceptos con observaciones y conectar ideas con hechos [39]. Tradicionalmente los sistemas conceptuales son validados contra los datos colectados, a partir de experimentos controlados. Esto permite contestar la pregunta: ¿Es este modelo una representación apropiada de la realidad? [40].

Sin embargo, para los sistemas conceptuales que representan sistemas que aún no existen, como es el caso de CSS que se están diseñando, la validación mediante resultados experimentales es imposible ya que el proceso de validación de este tipo puede volverse considerablemente complejo, costoso y dilatado. Por ello, para poder validar se necesita considerar cinco elementos: la identificación de stakeholders; la formulación de los objetivos del sistema; la determinación de los factores críticos; la confianza en el modelo y; los elementos de costo.

La M&V de sistemas conceptuales constituye una herramienta útil para el diseño de CSS, pues además de modelar el funcionamiento interno de la CS, permite la modelación de las relaciones de la CS con sus entornos y con el suprasistema. Ante un problema de diseño, la modelación permite la caracterización de los elementos del sistema para hacer un análisis interno, mientras que la identificación de las relaciones del sistema con su entorno y con el sistema mayor al que pertenece, permite el análisis externo.

III. PROCEDIMIENTO M&V PARA EL DISEÑO DE CSS

A la luz de la discusión hecha en los apartados anteriores, se propone un procedimiento de M&V de sistemas conceptuales para diseñar cadenas de suministro sustentables.

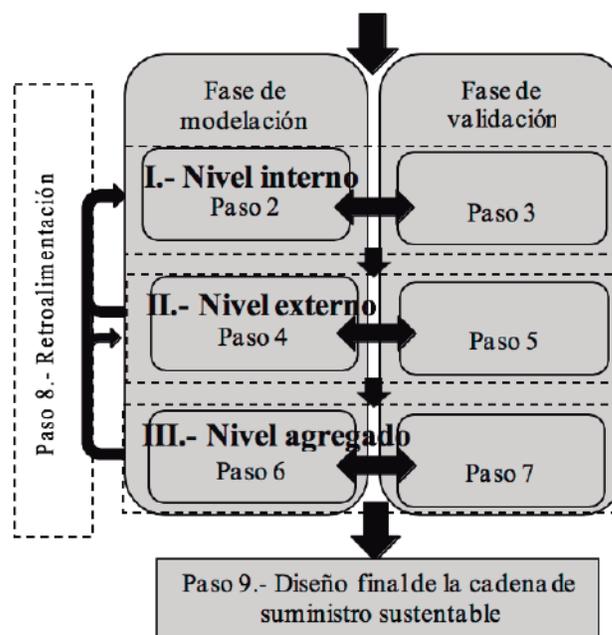


Figura1. Procedimiento de modelación y validación para el diseño de CSS

El procedimiento se muestra en la Figura 1 y consta de nueve pasos relacionados, partiendo del planteamiento de un problema de diseño para CSS. Una vez planteado el caso de diseño, se procede a operar entre dos fases interactivas, una fase de modelación y la otra de validación. El diseño se construye mediante la interacción de las fases de M&V en tres niveles del sistema conceptual: I nivel interno, II nivel externo y III nivel agregado.

En cada nivel se desarrolla un proceso M&V que implica tomar decisiones interconectadas: La identificación de los elementos relevantes del funcionamiento de la CS relacionados en todo momento, dentro de su entorno económico, social y medioambiental; así como la selección de criterios para diferentes tipos de validez. Estos tres niveles se retroalimentan (paso 8) para hacer las correcciones necesarias en el sistema conceptual y poder obtener al final del

procedimiento un diseño de cadena de suministro sustentable que responda de manera fidedigna al problema planteado.

A continuación, se describe con detalle cada paso del procedimiento de M&V para el diseño de CSS.

FASE DE MODELACIÓN.

La modelación del sistema conceptual involucra lo que el especialista que está haciendo el diseño, sabe sobre la operación de la cadena de suministro y las implicaciones que su operación tiene en términos sustentables. En esta fase de modelación se organiza la información obtenida de la realidad (problemática), en una imagen mental estructurada de acuerdo con el bagaje de conocimientos, experiencias o formación científica del diseñador o diseñadores.

FASE DE VALIDACIÓN.

La exactitud, o grado de correspondencia del sistema conceptual con la realidad se establece mediante el proceso de validación.

En esta fase se busca determinar el grado de correspondencia del sistema conceptual con fenómenos observados en la realidad.

El proceso de comparación está soportado en la consulta a expertos sobre la operación de la CS y la sustentabilidad. Para cada nivel, la fase de validación interactúa con la fase de modelación mediante la aplicación de técnicas participativas con los agentes de la CS o sus stakeholders.

I.- Nivel interno.

En esta etapa se aplica la M&V para obtener el sistema conceptual de la CS convencional; es decir, se obtiene una representación funcional de la CS, mediante la identificación de sus componentes y estructura, la identificación de sus agentes y necesidades, así como de los recursos disponibles. Esta modelación parte del planteamiento de un problema y de la identificación de necesidades operativas.

II.- Nivel externo.

Consiste en una representación válida del suprasistema del que forma parte el sistema

conceptual de la CS a nivel interno y de las relaciones con los entornos con los que interactúa. Debe tenerse en cuenta que todo sistema forma parte de otro, por lo que se busca identificar y representar al sistema del que formará parte la cadena de suministro sustentable.

III.- Nivel agregado.

Se refiere a la combinación, estructuración y representación de componentes internos y externos, de tal manera que implica una configuración válida y factible del sistema conceptual.

El objetivo de esta etapa es obtener un sistema conceptual de la CS con características internas y externas que den cumplimiento a los objetivos de la CSS. Además, se busca dar confianza al modelo mediante la identificación de sus factores críticos como la generación de residuos, el consumo de energía, la huella de carbono o la huella hídrica.

Paso 1.- Planteamiento del problema.

En esta etapa se identifica una "insatisfacción" o "deseo" de corrección de la operación actual de la CS. Estas insatisfacciones pueden ser internas, provenientes de los agentes de la CS:

Proveedores, fabricantes, distribuidores o clientes.

Pero también la insatisfacción puede surgir de fuentes externas a la operación de la CS, provenir de la sociedad civil, grupos sociales, ONG's, gobiernos u otros stakeholders. En este punto se presenta una descripción completa del problema en términos cualitativos y cuantitativos específicos con suficiente detalle como para justificar el avance hacia el próximo paso. Más específicamente, se debe plantear las siguientes preguntas: ¿Cuál es la naturaleza y la magnitud del problema de sustentabilidad o no sustentabilidad en la CS? ¿Cuáles son los riesgos asociados si el problema no se aborda? ¿Qué significa sustentabilidad para esta CS?

Paso 2.- Modelación interna.

Para hacer una modelación interna de la cadena de suministro, debe construirse el sistema conceptual mediante la identificación de sus componentes. Un elemento esencial del diseño es el desarrollo de una descripción funcional del

sistema que sirva de base para la identificación de los recursos necesarios para que el sistema logre sus metas. Como modelo general para guiar el diseño se presenta la Figura 2, en la cual se muestran 6 bloques o subsistemas componentes de la CS, que incluyen tanto las funciones tradicionales, como los nuevos alcances discutidos en la primera parte de este documento. Para cada uno de los seis subsistemas componentes se debe obtener un listado de recursos necesarios para el funcionamiento de la CS.

Paso 2A.- Desagregación funcional del sistema

En este punto, el objetivo es especificar el "qué" debe hacer la CSS, lo que se necesita lograr en comparación con "cómo" se debe hacer.

El análisis funcional, es un proceso iterativo de desglose de requisitos desde el nivel interno de la CS hasta el de sus subsistemas, como el aprovisionamiento, la producción o distribución, presentes en la CS tradicional pero también se pueden integrar los subsistemas de una CSI como la adquisición, revalorización y reintegración, para tener una modelación de una CSCC.

Necesariamente, el diseñador o diseñadores deben establecer previamente el alcance de la modelación.

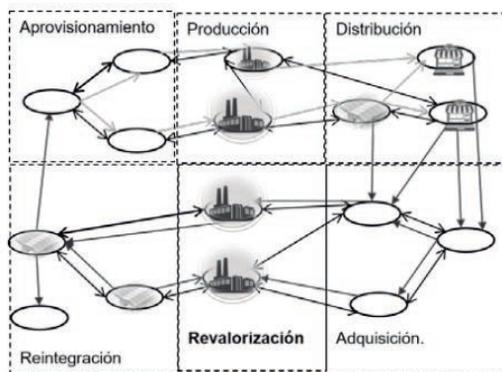
En la Figura 2 se presenta un modelo general de los subsistemas funcionales de una CSCC, el cual se puede acotar conforme al alcance del diseño. Esta desagregación debe hacerse en la medida de la estructura jerárquica que sea necesaria para identificar los factores críticos y restricciones del diseño para diversos agentes de la CS.

Paso 2B.- Especificación de necesidades y recursos. Se realiza un análisis de necesidades, con el objetivo de traducir un "deseo" que se define ampliamente por uno o varios requisitos más específicos con respecto al nivel de operación de la CS.

Esta identificación de necesidades se puede realizar a través de un enfoque amplio el cual involucre al cliente, proveedores, fabricantes y distribuidores.

Para esto, se pueden emplear métodos como la realización de encuestas y entrevistas, así como la utilización de listas de verificación adecuadas, la aplicación de distintas herramientas de análisis de procesos, así como otras técnicas y métodos relacionados. En este punto también se hacen las descripciones de los recursos necesarios para que la CS pueda desarrollar sus funciones.

La especificación incluye las necesidades de recursos humanos, materiales, tecnológicos y financieros requeridos en la operación de la CS.



- Componentes:**
- Flujo directo de bienes.
 - Flujo Inverso de bienes
 - Flujo de información
 - Subsistemas

Tabla 1. Identificación y análisis de necesidades y recursos de la CSS

Función: aprovisionamiento, producción, etc. (ver figura 2).				
Actividades de la función	Necesidades identificadas de recursos			
	Humanos	Tecnológicos	Materiales	Financieros
Actividad 1				
Actividad 2				
...				
Actividad n				

La matriz mostrada en la Tabla 1 se propone para apoyar este paso de la modelación interna. La matriz se llena para cada función modelada, por ejemplo, en la adquisición de residuos para una empresa recicladora de chatarra, algunas de las actividades componentes serían la recolección, clasificación, compactación, almacenamiento,

Figura 2. Modelo General de desagregación funcional de CS

transporte, limpieza, etc. Para cada actividad (1, 2, 3, ..., n) se identifican necesidades de recursos humanos, materiales, tecnológicos, financieros o cualquier otro específico de la CS que se modela. Las necesidades operativas identificadas en la función particular que se modela son establecidas a partir de esta matriz.

Paso 3. Validación de la modelación interna

El objetivo es adquirir un alto grado de confianza, tan pronto como sea posible, de que el sistema finalmente funcionará según lo previsto.

Para garantizar que se establece un buen sistema conceptual desde el principio, se deben identificar todas las funciones posibles seleccionando aquellas funciones y actividades que mayor valor aportan en la CS y cuya relación con la sustentabilidad o no sustentabilidad es crucial. Por ejemplo, para la CS de una compañía cervecera, el suministro de agua es crucial tanto para la cadena de valor que se da en la CS como para la población y el medio ambiente; en este caso, las actividades modeladas de suministro de agua deberán analizarse conforme a los criterios técnicos y operativos requeridos para cumplir el propósito funcional de la CS.

Para esta validación, se propone la técnica participativa denominada: Investigación basada en el diseño, la cual aborda problemas complejos en contextos reales en colaboración con profesionales e investigadores del tema [41]. El empleo de esta técnica busca someter a la opinión de expertos el sistema conceptual del funcionamiento de la CS. Dicha técnica participativa busca dar soporte a esta etapa de la modelación.

Paso 4.- Modelación externa

Es este paso se busca la representación de aquellos elementos externos que pueden afectar o son afectados por la CSS. Se obtiene de este paso una representación de las relaciones que tendrá la CS con el suprasistema y sus entornos. Dos actividades deben realizarse en este punto:

Paso 4A.- Identificación del suprasistema y entornos. El suprasistema al que servirá la CS deberá identificarse en esta etapa, así como sus relaciones con cada función de la CS. Además,

deben establecerse las relaciones con las dimensiones de la sustentabilidad: social, económica y medioambiental pero además, es necesario incluir un marco normativo que sea aplicable a la CS particular. Al respecto, debe considerarse que el marco normativo constituye el conjunto de leyes, reglamentos, normas, etc., que deben observarse en la operación de la CS.

En la Figura 3, se muestra un modelo general sobre el que se pueden representar los elementos relevantes de los entornos que están relacionados con la sustentabilidad de la CS. Este modelo base está compuesto de dos entornos, uno transaccional y el otro contextual, en el que pueden situarse los elementos asociados con cada dimensión de la sustentabilidad. El entorno transaccional es el entorno de primer orden, en el que se incluyen las relaciones con aquellos sistemas y elementos con los que se vincula directamente la CS, con los que hacen transacciones directas, como los grupos financieros en el ámbito económico y la comunidad circundante en el ámbito social. El entorno contextual incluye aquellos elementos externos que en última instancia afectan la operación de la CS, por ejemplo, una recesión económica, el agotamiento de los mantos acuíferos en una región, o la inversión de la pirámide poblacional de una ciudad o país.

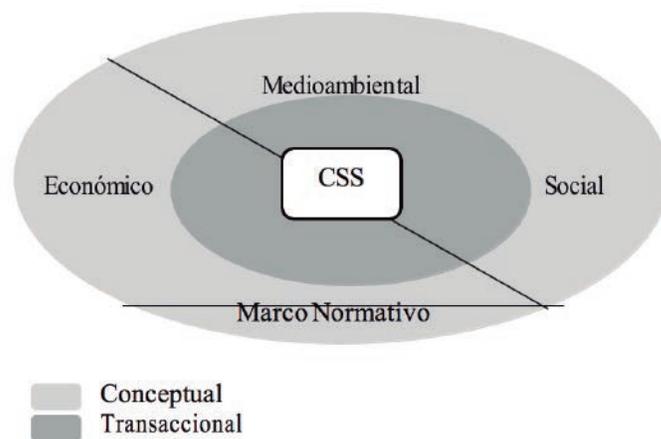


Figura 3. Elementos para el modelado de entornos en CSS

Paso 4B.- Identificación de stakeholders

Los stakeholder son cualquier persona o entidad que es afectada o concernida por las actividades de la CS. En esta etapa se busca identificar a todos los *stakeholders*; entender sus necesidades, intereses y expectativas; balancear, reconciliar y sintetizar esos aspectos; integrar las necesidades de éstos con las estrategias de la CS; identificar la importancia del poder, la influencia y el interés. Dicho análisis de *stakeholders* puede guiarse con el modelo general de la Figura 3, utilizando una matriz como la propuesta en la Tabla 2.

Tabla 2. Identificación y análisis de *stakeholders* en CSS

Dimensiones	Transaccional		Contextual	
	Poder	Influencia	Poder	Influencia
Social	Interés	Necesidad	Interés	Necesidad
Económico	Poder	Influencia	Poder	Influencia
	Interés	Necesidad	Interés	Necesidad
Medioambiental	Poder	Influencia	Poder	Influencia
	Interés	Necesidad	Interés	Necesidad
Marco Normativo	Poder	Influencia	Poder	Influencia
	Interés	Necesidad	Interés	Necesidad

Paso 5.- Validación de la modelación externa

La exactitud, o grado de correspondencia del modelo con la realidad se establece mediante la etapa de validación. En esta etapa se pueden emplear las siguientes técnicas participativas para validar el diseño de la CSS:

- Investigación acción participativa. Consiste en que un grupo o comunidad recolectan y analizan información, y actúan sobre sus problemas con el propósito de encontrarles soluciones y promover transformaciones políticas y sociales [41].
- Indagación contextual. Es un método inmersivo y contextual de observación y entrevista. Resulta útil para validar la identificación de stakeholders. Ver descripción en la Tabla 3.

Paso 6.- Modelación agregada

La modelación agregada se emplea para desarrollar conceptos preliminares y establecer relaciones básicas, basados en los diversos

componentes internos y externos del sistema conceptual. Aquí se definen más precisamente los “cómo”, en respuesta a los requisitos de la CSS. Se modela una configuración que puede ser representativa de la forma que tomará la CSS; aunque una configuración final ciertamente no se debe suponer en este punto.

El sistema modelado será objeto de análisis, evaluación, refinamiento, optimización, simulación y prescripción adicionales. En esta alternativa de diseño integrado que inicialmente se estructura, es esencial que los parámetros de rendimiento técnico, las medidas, los objetivos y las metas asociadas, se alineen adecuadamente con los componentes identificados de sustentabilidad.

Paso 7.- Validación agregada

El objetivo es que el sistema conceptual agregado de la CSS adquiera un alto grado de confianza sobre si el sistema finalmente funcionará según lo previsto. Si bien, la validación podría estar apoyada por una simulación computarizada de un modelo prototipo de preproducción, este procedimiento opta por una validación mediante las técnicas participativas mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3. Técnicas participativas para la validación agregada del sistema conceptual

Validación	Herramienta	Descripción
Formulación de los objetivos del sistema	<i>Brainstorm</i> con organizadores gráficos	Esta herramienta permite reconocer el flujo de materiales, los factores asociados a las dimensiones de sustentabilidad y la desagregación de los procesos [41]. Además, al integrar distintos grupos de <i>stakeholders</i> pueden precisarse sus necesidades en objetivos específicos.
Determinación de los factores críticos	Indagación contextual	Esta herramienta permite identificar detalladamente los objetivos de los agentes y <i>stakeholders</i> , así como los factores críticos para cada entorno y en cada dimensión [41]. La indagación contextual revela una estructura de trabajo subyacente (e invisible) en primera instancia, que se requiere para establecer las necesidades no declaradas de los <i>stakeholders</i> .

Paso 8. Retroalimentación

Mediante este paso se determina la coherencia y relevancia del sistema conceptual obtenido (interno, externo o agregado). La retroalimentación, en un sentido más amplio, constituye la modificación de la conceptualización inicial hecha a la luz de lo aprendido. Es decir, del conocimiento adquirido conforme se avanza en los niveles de diseño. Esta propuesta es un marco constructivo de M&V que pasa del nivel interno de funcionamiento al establecimiento de relaciones con elementos externos, teniendo realimentaciones que hacen adaptativo y confiable al procedimiento de diseño, hasta conseguir un diseño final de la CS.

Paso 9. Diseño final de la cadena de suministro sustentable Este paso es el producto de la interacción de las fases de M&V en los niveles interno, externo y agregado. El diseño final se obtiene una vez que los tres procesos de M&V se han retroalimentado sin que se haga necesaria ninguna modificación o adaptación del sistema conceptual obtenido.

El diseño final es un sistema conceptual de la CSS en el que se representan las funciones que se desarrollarán y los atributos operativos que debe poseer el sistema para alcanzar la sustentabilidad. Constituye una secuencia funcional de actividades y de los atributos que deben desarrollarse en cada dimensión de la sustentabilidad: económico, medioambiental, social, y de marco normativo.

En la Figura 4, se muestra un diseño final de CSS enfocada a la valorización de los desperdicios metálicos. Este diseño final se ejemplifica con la secuencia de actividades necesarias para suministrar residuos metálicos a una empresa recicladora de chatarra; es decir, una cadena de suministro inversa. En este ejemplo, la adquisición de chatarra sólo incluye tres bloques de actividades y el modelado sólo incluye el canal inverso, ver Figura 2, hasta llegar a la función de revalorización.

Para este tipo de CS se identifican tres procesos clave para el suministro de desperdicios metálicos.

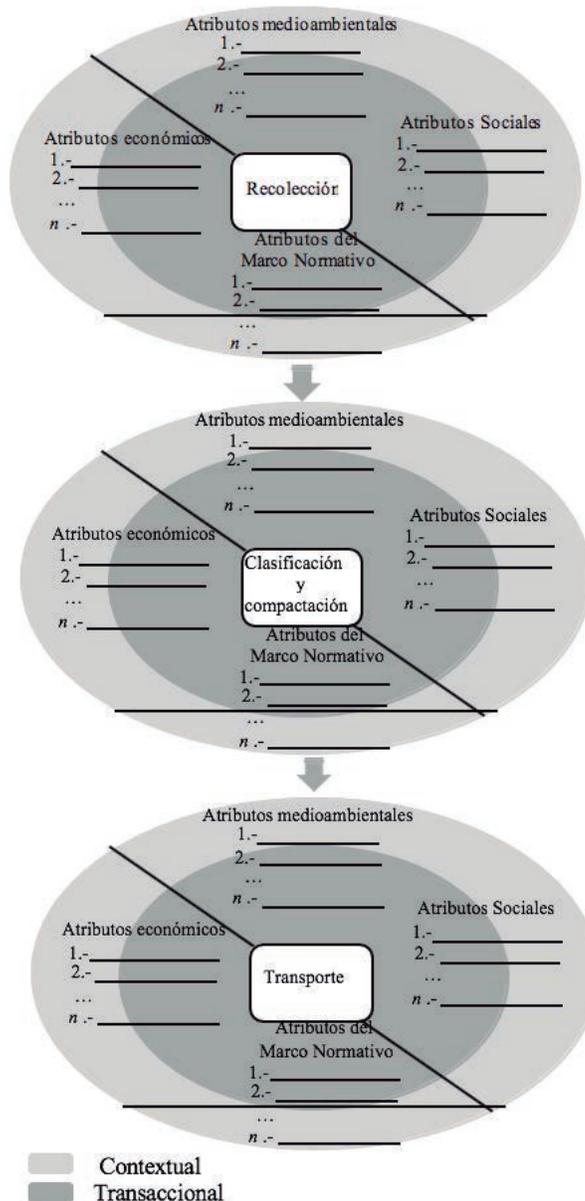


Figura 4. Diseño Final de CSS

Como se observa en la Figura 4, el suministro inicia con la recolección del desperdicio, que consiste en acopiar desde diferentes fuentes de desperdicio el metal. Una vez recolectado, el desperdicio se clasifica y compacta en un centro de acopio para su posterior transporte.

Los tres procesos deben poseer los atributos listados en cada dimensión de la sustentabilidad. De esta manera, cada proceso deberá tener atributos sociales, económicos, normativos y medioambientales.

Estos atributos sese incluyen a nivel transaccional y contextual (Figura 4).

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La propuesta aquí presentada, constituye un procedimiento para operacionalizar los principios de sustentabilidad en la gestión de la cadena de suministro.

El tema es relevante ante las condiciones contextuales actuales: agotamiento de recursos naturales, contaminación del medioambiente, fenómenos meteorológicos extremos, disrupción social, pobreza y desigualdad.

Ante el auge mediático de los problemas medioambientales, la necesidad de volver verdes a los procesos de la CS y sustentables a las cadenas de suministro, se hace indispensable el análisis conceptual riguroso, con el fin de no sobre simplificar los conceptos en el afán de hacerlos operativos o caer en trampas comerciales.

La corrección de la operación de una cadena de suministro que ha sido diseñada bajo el principio de maximizar el desempeño económico tiene una brecha muy estrecha para moverse hacia esquemas operativos genuinamente sustentables. En el campo de la GCS los esfuerzos hacia la sustentabilidad adoptan un enfoque de eficiencia, el cual es el más débil de los enfoques de sustentabilidad tal como se ha discutido en [22].

En este trabajo se ha elevado a un nivel estratégico el tema de la sustentabilidad en la GCS, al proponer que sólo a través de un diseño de CS que tome la sustentabilidad como eje conductor para la definición de sus procesos, podrá establecerse una relación sostenible con sus entornos. Únicamente un diseño de cadenas de suministro que incluya el desempeño social y medioambiental puede llegar a ser sustentable, tomando un enfoque fuerte del término.

En este trabajo se retoma la visión de Seuring & Müller [25] respecto a la variedad de impulsores de la GCS sustentable y a la necesidad de estructurarlos en el análisis de desempeño de la CS. Por lo tanto, cuando la gestión de la cadena de suministro pretenda incluir metas de sustentabilidad, deberá considerar el rediseño de sus funciones.

El procedimiento que se estableció en esta propuesta está fuertemente influenciado por el pensamiento de sistemas y las herramientas de M&V, lo que constituye su principal diferenciador. Se inspira en etapas de desagregación funcional y construcción de sistemas, como las presentadas en [33], [34], [38] y [45], para una línea de trabajo en la que son escasos estos esfuerzos: la GCS y el desarrollo sustentable.

La fuerza de la propuesta se presenta en la interacción de las fases de M&V, ampliamente ocupadas en procesos de solución de problemas. Los distintos marcos de modelación que se emplean en la GCS tienen cabida en esta propuesta, pues, aunque sus marcos principales son el prescriptivo y normativo, modelos descriptivos como la simulación, así como marcos constructivos pueden aplicarse para obtener el diseño final de CS.

Sin duda, el mayor reto de esta propuesta está en su empleo efectivo en las prácticas de la GCS. Al respecto, es parte del trabajo futuro de esta investigación su aplicación para el diseño de una CS concreta. Ya se tienen avances en este sentido, pues la propuesta que se ha desarrollado forma parte de una investigación doctoral que en su última etapa ha planteado el diseño conceptual de una cadena de suministro inversa para la valorización de residuos sólidos urbanos en la CDMX que sea sustentable.

De tal manera, en un tiempo cercano se tendrán elementos para comenzar a juzgar la aplicabilidad práctica y limitaciones de la propuesta presentada.

REFERENCIAS

- [1] KPMG, México (2018). Desarrollo sostenible en México. KPMG. <http://www.pactomundial.org.mx/site/wp-content/uploads/2018/03/KPMG-Estudio-Desarrollo-Sostenible-en-Mexico2018.pdf>
- [2] Ellen Macarthur Foundation, M. & C. (2016). Hacia una Economía Circular. 22. Retrieved from https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf.
- [3] PNUMA OMS (2015). Perspectiva mundial de la gestión de residuos Resumen para los responsables de la toma de decisiones Perspectiva mundial de la gestión de residuos. Unesco, 1(1), 1–5. Retrieved from http://web.unep.org/ietc/sites/unep.org.ietc/files/GWMO_summary_Spanish_1.pdf
- [4] BM (2016). Basura Cero-Los residuos sólidos en el epicentro del Desarrollo Sostenible. Banco Mundial, 1
- [5] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2005). Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales. SEMARNAT, Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. México.
- [6] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales. SEMARNAT, Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. México.
- [7] Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603–626.
- [8] Kocabasoglu, C., Prahinski, C., & Klassen, R. D. (2007). Linking forward and reverse supply chain investments: the role of business uncertainty. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1141-1160.
- [9] Guide, V. D. R., Harrison, T. P., & Van Wassenhove, L. N. (2003). The challenge of closed-loop supply chains. *Interfaces*, 33(6), 3-6.
- [10] Gómez Maturano, J. (2018). Las cadenas de suministro y el desarrollo sostenible: una revisión de la literatura. *Revista Universitaria Ruta*, 20(II), 37–56.
- [11] Agrawal, S., Singh, R. K., & Murtaza, Q. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76-92.
- [12] Nakashima, K., & Gupta, S. M. (2013). Modeling Supplier Selection in Reverse Supply Chains. In S. M. Gupta (Ed.), *Reverse Supply Chain: Issues and analysis* (p. 401). New York: Taylor & Francis Group.
- [13] Chopra, S., & Meindl, P. (2008). Administración de la cadena de Suministro: estrategia. Planificación Y Operación.
- [14] Lambert, D. M., Cooper, M. C., & Pagh, J. D. (1998). Supply chain management: implementation issues and research opportunities. *The international journal of logistics management*, 9(2), 1-20.
- [15] La Londe, B. J., & Masters, J. M. (1994). Emerging logistics strategies: blueprints for the next century. *International journal of physical distribution & logistics management*, 24(7), 35-47.
- [16] Croom, S., Romano, P., & Giannakis, M. (2000). Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. *European journal of purchasing & supply management*, 6(1), 67-83.
- [17] Mentzer, J.T., Min, S. and Zacharia, Z.G. (2000). The nature of interfirm partnering in supply chain management. *Journal of Retailing*, 76(4), pp. 549–568.
- [18] Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E., & Shankar, R. (2008). *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies and case studies*. Tata McGraw-Hill Education.
- [19] Supply Chain Council, 2008. SCOR: The Supply Chain Operations Reference Model. Version 9.0. The Supply Chain Council, Inc.
- [20] Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros*. McGraw-Hill.
- [21] Varsei, M., Soosay, C., Fahimnia, B., & Sarkis, J. (2014). Framing sustainability performance of supply chains with multidimensional indicators. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(3), 242–257. <https://doi.org/10.1108/SCM-12-2013-0436>.
- [22] Schaltegger, S., & Burritt, R. (2014). Measuring and managing sustainability performance of supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(3), 232–241. <https://doi.org/10.1108/SCM-02-2014-0061>.
- [23] Baumgartner, R. J. (2011). Critical perspectives of sustainable development research and practice. *Critical Perspectives of Sustainable Development Research and Practice Utrecht 2009*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.01.005>

- [24] Jiménez, J. E., & Hernández, S. (2002). Marco conceptual de la cadena de suministro : un nuevo enfoque logístico. Instituto Mexicano Del Transporte, (215), 1–272.
- [25] Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>
- [26] Gallopín, G. (2003). Sostenibilidad y desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico. In *Serie Medio Ambiente y Desarrollo*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [27] Leff, E., Argueta, A., Boege, E., & Gonçalves, C. P. (2002). Más allá del desarrollo sostenible: la construcción de una racionalidad ambiental para la sustentabilidad: una visión desde América Latina. *PISANTY*, 1, 479–578.
- [28] Bendul, J. C., Rosca, E., & Pivovarova, D. (2017). Sustainable supply chain models for base of the pyramid. *Journal of Cleaner Production*, 162, S107-S120.
- [29] Abdala, E. C., & Barbieri, J. C. (2014). Determinants of Sustainable Supply Chain: an analysis of mensuration models of pressures and socio-environmental practices. *Journal of Operations and Supply Chain Management*, 7(2), 110-123.
- [30] Seuring, S. (2013). A review of modeling approaches for sustainable supply chain management. *Decision support systems*, 54(4), 1513-1520.
- [31] Hassini, E., Surti, C., & Searcy, C. (2012). A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 69-82.
- [32] Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2001). Transforming the balanced scorecard from performance measurement to strategic management: Part I. *Accounting horizons*, 15(1), 87-104.
- [33] Blanchard, B. S., & Blyler, J. E. (2016). System Engineering Management. In *ReVision* (5ta.). Retrieved from <http://books.google.com/books?id=Gf7Lx4I9XKQC&pgis=1>
- [34] Lara Rosano, F. (1990). Metodología para la planeación de sistemas: un enfoque prospectivo. *Cuaderno de Planeación Universitaria*, 4(2), 38-67.
- [35] Shanks, G., Tansley, E., & Weber, R. (2003). Using ontology to validate conceptual models. *Communications of the ACM*, 46(10), 85. <https://doi.org/10.1145/944217.944244>.
- [36] Checkland, P. B. (1995). Model validation in soft systems practice. *Systems Research*, 12(1), 47–54. <https://doi.org/10.1002/sres.3850120108>.
- [37] Miser, H. J. (1993). A foundational concept of science appropriate for validation in operational research. *European Journal of Operational Research*, 66(2), 204–215. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)90313-C](https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)90313-C)
- [38] Sagasti, F. R., & Mitroff, I. I. (1973). Operations research from the viewpoint of general systems theory. *Omega*, 1(6), 695–709.
- [39] Adcock, R., & Collier, D. (2001). Standard for Qualitative and Quantitative Measurement Validity : *American Political Science Review*, 95(3), 529–546. <https://doi.org/10.1017/S0003055401003100>.
- [40] Hazelrigg, G. A. (1999). On the Role and Use of Mathematical Models in Engineering Design. *Journal of Mechanical Design*, 121(3), 336. <https://doi.org/10.1115/1.2829465>.
- [41] Hanington, B., & Martin, B. (2012). Universal methods of design 100 ways to research complex problems, develop innovative ideas, and design effective solutions. Rockport Publishers.
- [42] Lebreton, B. (2007). *Strategic Closed-Loop Supply Chain Management*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 156 pp.
- [43] Ballou, R. H. (2008). *LOGISTICA Administración de la cadena de suministro*. The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [44] Christopher, Martin (1992). *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Costs and Improving Service*. Pitman, London.
- [45] Gelman, O., & Negroe, G. (1981). Papel de la planeación en el proceso de conducción. *Boletín IMPOS*, Instituto Mexicano de Planeación y Operación de Sistemas, 11(61), 1-17.

Diseño y desarrollo de una red neuronal multicapa para pronosticar las emisiones de CO₂ de la empresa RaSa

Patricia Pito Soto¹, Estudiante de Licenciatura en Gestión Empresarial, Departamento de estudios disciplinarios, Universidad de Guanajuato, campus Irapuato- Salamanca, Sede Yuriria, Av. Universidad S/N, Col Yacatitas 38944, Yuriria, Guanajuato. México. p.pitosoto@ugto.mx

Roberto Baeza Serrato², Profesor investigador, Departamento de estudios disciplinarios, Universidad de Guanajuato, campus Irapuato- Salamanca, Sede Yuriria, Av. Universidad S/N, Col Yacatitas 38944, Yuriria, Guanajuato. México. r.baeza@ugto.mx

RESUMEN—El objetivo de la presente investigación es el diseño y desarrollo de una red neuronal multicapa para pronosticar las emisiones anuales de CO₂ por producto de la mercería RaSa de Uriangato Guanajuato. La investigación se centra en una pequeña empresa dedicada a la comercialización de productos para empresas textiles de la región sur de Guanajuato. La metodología utilizada consta de seis etapas para su desarrollo:

1) Recopilación de los datos operacionales con 20 clientes, 2) Codificación de las variables de entrada, 3) Desarrollo de la propagación hacia adelante, 4) Desarrollo del algoritmo backpropagation, 5) validación de la red, 6) prueba de la red. La estructura de la red neuronal multicapa está conformada por tres neuronas en la capa de entrada, tres neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida. Se ingresaron como variables de entrada la cantidad de ventas (x1), número de productos vendidos anualmente (x2) y distancia recorrida en kilómetros (x3). La neurona de salida representa el pronóstico de las emisiones de co₂ por producto. Como resultado se obtiene un pronóstico excelente basado en el comportamiento de los datos de la salida de la red observando un aprendizaje del 100 %.

Palabras clave— red neuronal multicapa; backpropagation; gradiente; propagación hacia adelante; coeficiente de aprendizaje;

I. INTRODUCCIÓN

Es bien sabido que los gases de efecto invernadero (GEI) son necesarios para mantener la temperatura de la Tierra a niveles que sostengan la vida [1]. Sin embargo, las crecientes cantidades de emisiones de GEI como el CO₂ causan un clima extremo, olas de calor, inundaciones y tormentas, lo que resulta en una pérdida creciente de vida humana y lesiones por desastres naturales causados por el cambio climático [2]. La implementación de la política de compensación del valor de los recursos desempeña un papel más positivo en la mejora de la calidad del medio ambiente [3].

Actualmente las redes neuronales artificiales se han convertido en soluciones muy buscadas en varias áreas que requieren inteligencia artificial en tareas como el pronóstico de datos y la clasificación [4]. Tienen la capacidad de aproximar funciones no lineales con precisión arbitraria mediante métodos de aprendizaje [5]. Debido a esta propiedad, las redes neuronales se han utilizado ampliamente para la identificación y control de sistemas no lineales [6]. La red neuronal más utilizada y casi exclusivamente utilizada para aplicaciones comerciales es la red neuronal de propagación hacia atrás *Back Propagation Neuronal Network* (BPNN), se utiliza un algoritmo dinámico de propagación hacia atrás para actualizar los parámetros de la estructura propuesta y para mejorar el rendimiento del algoritmo de aprendizaje discreto [7].

Es altamente utilizada por su precisión en predicciones como se muestra en el desarrollo de una red neuronal artificial que predice la producción de petróleo en la Compañía Estatal de Petróleo de la República de Azerbaiyán, con un 99% de precisión [8]. La red neuronal es útil en series de tiempo como predicción precisa de los valores futuros de los datos de series para la toma de decisiones estratégicas [9]. Así mismo la red predice futuros errores de control para aproximar cualquier tipo de relación basada en los valores presentes y pasados del error de control [10]. *Artificial neuronal network* (ANN) pueden predecir

ser útiles para informes financieros fraudulentos en compañías de pequeña capitalización de mercado como se realizó en Malasia obteniendo un 94.87 por ciento a otros métodos [11]. El uso de ANN va también para la predicción de temperaturas en secciones transversales de madera rectangulares, bajo exposición al fuego [12]. En esta investigación predecir la suma de las concentraciones de NO y NO₂ en la parte posterior del reactor durante el tratamiento de escape diésel basado en técnica de plasma no térmico (NTP) [13].

El presente estudio se centra en la pequeña empresa con giro de mercería de nombre RaSa, con operaciones en el centro del municipio de Uriangato al sur de Guanajuato.

La empresa es reconocida por los empresarios locales como uno de los mejores proveedores para los fabricantes de ropa, puesto que oferta una gran variedad de productos de buena calidad y aun bajo precio, tales como botones, cierres, hilo, tela, metales, elásticos. La empresa RaSa además ofrece el servicio de entregas a domicilio a todos sus clientes dentro y fuera del municipio, lo cual genera una problemática preocupante que se refiere a las altas emisiones de CO₂ causadas por las distancias recorridas con los vehículos de reparto. Por lo anterior se desarrolla la presente investigación con la finalidad de ayudar a la empresa a registrar sus emisiones de CO₂ en un periodo anual y por producto. La aplicación de una red neuronal multicapa para predecir las emisiones de los gases mencionados otorga a la empresa un panorama general con respecto al tema de la contaminación. Con el objetivo que la empresa conozca la gravedad del problema y pueda tomar las mejores decisiones que solucionen la problemática principal y aporten al cuidado medioambiental de la región.

II. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presenta una revisión de la literatura en aplicaciones de predicción, tales como en [14] donde utilizan una red neuronal perceptrón multicapa para reducir el consumo de energía y emisiones de CO₂. En [15] proporciona emisiones de CO₂. En [15] proporciona un método de red

neuronal de regresión general que podría utilizarse para explorar la dinámica del uso de energía en oficinas y opciones competitivas de construcción de edificios y oficinas bajos en carbono. [16] Diseña un monitoreo predictivo de emisiones para una unidad de procesamiento de gas natural de una planta utilizando redes neuronales artificiales diseñado para predecir la tasa de emisión de CO_2 , CH_4 y NO_2 de cada fuente de emisión individual. [17] Desarrolló una artificial neuronal network (ANN) modular para predecir las emisiones diésel de los motores de servicio pesado. [18] Llevó a cabo un análisis experimental del motor para el rendimiento y emisiones de combustible a través de redes neuronales artificiales. [19] Desarrolla una red neuronal artificial para aplicar en el sector automotriz y áreas diferentes de tecnología y superar dificultades como minimizar el costo, el tiempo y el desperdicio de mano de obra. [20] Recurre a una red neuronal artificial para implementar un pronóstico de emisiones de CO_2 a corto plazo aplicada al sector de cereales en la región de Apulia sur de Italia. [21] Pronostica el gas venenoso CO_2 que surge del consumo de energía, por artificial neural network (ANN). [22] Evalúa el potencial de la aplicación de la técnica artificial neural network (ANN) a la predicción de las emisiones de CO_2 , hollín y NO_2 en motores diésel de inyección directa impulsados por n-heptano. [23] Analiza efectos en parámetros de rendimiento y emisión de un motor diésel (DI) de un cilindro alimentado con diésel bajo flujos variables de gas natural comprimido (GNC) por un modelo de red neuronal artificial (ANN).

[24] Desarrolla modelos de regresión lineal y redes neuronales artificiales (ANN) para predecir las demandas de energía de calefacción y refrigeración, el consumo de energía y las emisiones de CO_2 de los edificios de oficinas en Chile. En [25] mediante el uso de ANN y el sistema adoptivo de inferencia neuro-difusa (ANFIS) predicen alteraciones de la resistencia del carbón. [26] Calcula la solubilidad en equilibrio del CO_2 para evaluar rendimiento de disolventes de absorción en procesos de captura de CO_2 , por

redes neuronales de propagación hacia atrás. [27] Aplican ANN, para predecir la eficiencia de almacenamiento del secuestro de CO_2 en acuíferos salinos profundos. [28] Utilizó ANN para pronosticar eficientemente el futuro del clima de las regiones de Girne y Larnaca en Chipre. [29] Utilizan una red neuronal de perceptrón multicapa (MLP).

Con el objetivo de predecir la suma de las concentraciones de NO y NO_2 . Las aplicaciones anteriores, dan soporte y sustento científico a la presente investigación demostrando que las redes neuronales multicapa, son actualmente las herramientas de inteligencia artificial más utilizadas en los diferentes campos de la ciencia para la predicción o pronóstico de datos.

El presente artículo científico reporta resultados importantes en la aplicación de la herramienta y se concluye que puede aportar una metodología más al estado del arte aplicada al sector industrial que pone atención en las emisiones del CO_2 y el cuidado ambiental.

III. METODOLOGÍA

La metodología de la siguiente investigación está conformada por siete pasos. Ver Figura 1.

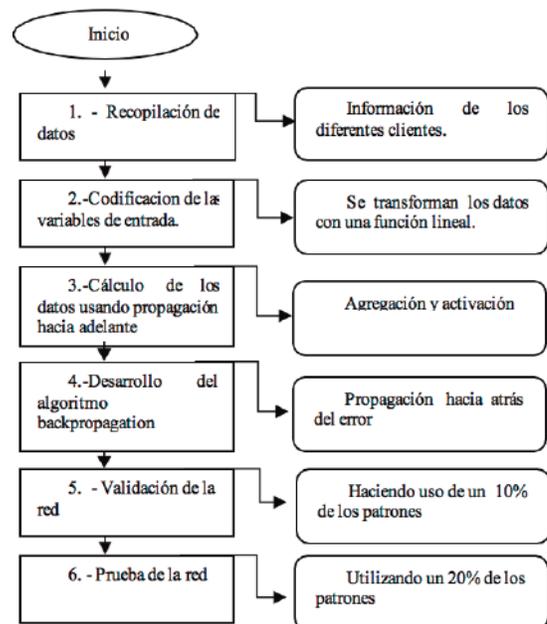


Figura 1. Metodología de la investigación

IV. RESULTADOS

Se recopilaron los datos de clientes, donde las tres primeras entradas corresponden a las variables de entrada.

Ver Tabla 1.

Tabla 1. Recopilación de datos			
Cantidad de ventas	No. productos vendidos anual	Distancias en Km	KG de CO ₂ anual por producto
x1	x2	x3	x4
80,000	192	0.45	0.00
60,000	288	1.90	0.07
60,000	192	44.30	4.27
30,000	144	2.10	0.26
15,000	96	4.50	0.78
14,000	240	3.80	0.23
12,000	96	3.10	0.58
12,000	144	2.70	0.26
10,000	48	2.60	0.78
8,000	288	2.50	0.13
7,000	336	2.60	0.11
6,000	144	2.70	0.90
6,000	240	0.60	0.00
5,000	96	1.70	0.20
5,000	144	2.10	0.26
4,000	48	2.80	0.78
4,000	96	3.40	0.58
2,000	48	2.00	0.78
2,000	192	2.30	0.20
1,000	240	2.00	0.16

Se realizó la codificación de los datos de los 20 clientes. Se utilizaron como variables de entrada, la cantidad de ventas representadas en x1, el número de productos vendidos en un periodo en x2, las distancias recorridas desde la empresa RaSa hasta cada cliente como x3. Utilizando el total de kilogramos de co2 por producto en x4.

Se utilizó una escala de 0 y 1 para el cálculo de la pendiente y la ordenada y procedes al

procesamiento de estos. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Preprocesamiento de datos									
x1	x2	x3	x4	1	0	x1	x2	x3	x4
80,000	192	0.45	0.00	Pendiente	Ordenada	1	0.5	0	0
60,000	288	1.90	0.07	1.265	-0.012	0.747	0.833	0.033	0.015
60,000	192	44.30	4.27			0.747	0.500	1.000	1.000
30,000	144	2.10	0.26	x2		0.367	0.333	0.038	0.061
15,000	96	4.50	0.78	Pendiente	Ordenada	0.177	0.167	0.092	0.182
14,000	240	3.80	0.23	0.003	-0.166	0.165	0.667	0.076	0.054
12,000	96	3.10	0.58			0.139	0.167	0.060	0.136
12,000	144	2.70	0.26	x3		0.139	0.333	0.051	0.061
10,000	48	2.60	0.78	Pendiente	Ordenada	0.114	0.000	0.049	0.183
8,000	288	2.50	0.13	0.022	-0.010	0.089	0.833	0.047	0.030
7,000	336	2.60	0.11			0.076	1.000	0.049	0.026
6,000	144	2.70	0.90	x4		0.063	0.333	0.051	0.211
6,000	240	0.60	0.00	Pendiente	Ordenada	0.063	0.667	0.003	0.000
5,000	96	1.70	0.20	0.234	0	0.051	0.167	0.029	0.046
5,000	144	2.10	0.26			0.051	0.333	0.038	0.061
4,000	48	2.80	0.78			0.038	0.000	0.054	0.183
4,000	96	3.40	0.58			0.038	0.167	0.067	0.136
2,000	48	2.00	0.78			0.013	0.000	0.035	0.183
2,000	192	2.30	0.20			0.013	0.500	0.042	0.046
1,000	240	2.00	0.16			0	0.667	0.035	0.037

A. Estructura de la red

La estructura de la red neuronal multicapa consta de tres entradas; la cantidad de ventas, número de productos vendidos anualmente, distancia en kilómetros, tres neuronas en la capa oculta y una en la capa de salida; kilogramos producidos anualmente por producto. Ver Figura 2.

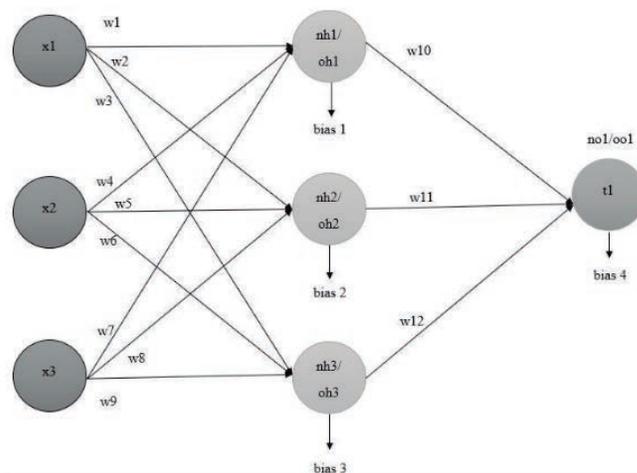


Figura 2. Estructura de la red 3-3-1

Las entradas de la red neuronal multicapa están representadas por la letra x_1 , x_2 y x_3 , cada una tiene tres pesos; w_1 , w_2 , w_3 , w_4 , w_5 , w_6 , w_7 , w_8 y w_9 , los cuales se dirigen a las tres neuronas ocultas; nh_1/oh_1 , nh_2/oh_2 y nh_3/oh_3 , de estas a su vez sale un peso w_{10} , w_{11} y w_{12} el cual se dirige a la salida de la red; t_1

Se desarrolló la propagación hacia adelante que consiste en el cálculo de los pesos representados por w_1 , w_2 , w_3 , w_4 , w_5 , w_6 , w_7 , w_8 , w_9 , w_{10} , w_{11} y w_{12} y procediendo al cálculo de los $bias_1$, $bias_2$

y $bias_3$ de manera aleatoria, entradas y salidas de neuronas en la capa oculta, así como en la única neurona en la capa de salida. Se estableció el *target* que representa el pronóstico deseado, el cual está representado por t_1 .

Lo anterior, representa los cálculos para las primeras iteraciones de los 14 patrones de entrenamiento iniciando el aprendizaje de la red. Ver Tablas 3 y 4.

Tabla 3. Primera parte de la propagación hacia adelante

	x_1	x_2	x_3	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	$bias_1$	$bias_2$
1	1.00	0.50	0.00	0.05	0.31	0.48	0.33	0.92	0.88	0.08	0.62	0.35	0.77	0.44
2	0.75	0.83	0.03	0.04	0.31	0.48	0.33	0.92	0.88	0.08	0.62	0.35	0.77	0.43
3	0.75	0.50	1.00	0.04	0.31	0.47	0.33	0.92	0.88	0.08	0.62	0.35	0.77	0.43
4	0.37	0.33	0.04	0.04	0.31	0.47	0.33	0.92	0.88	0.08	0.62	0.36	0.77	0.43
5	0.18	0.17	0.09	0.04	0.31	0.47	0.33	0.92	0.87	0.08	0.62	0.36	0.77	0.43
6	0.16	0.67	0.08	0.04	0.31	0.47	0.33	0.92	0.87	0.08	0.62	0.36	0.77	0.43
7	0.14	0.17	0.06	0.04	0.31	0.47	0.33	0.91	0.87	0.08	0.62	0.36	0.77	0.42
8	0.14	0.33	0.05	0.04	0.31	0.47	0.33	0.91	0.87	0.08	0.62	0.35	0.77	0.42
9	0.11	0.00	0.05	0.04	0.31	0.47	0.33	0.91	0.87	0.08	0.62	0.35	0.77	0.42
10	0.09	0.83	0.05	0.04	0.31	0.47	0.33	0.91	0.87	0.08	0.62	0.35	0.77	0.42
11	0.08	1.00	0.05	0.04	0.31	0.47	0.33	0.91	0.86	0.08	0.62	0.35	0.77	0.41
12	0.06	0.33	0.05	0.04	0.31	0.47	0.33	0.91	0.86	0.08	0.62	0.35	0.77	0.41
13	0.06	0.67	0.00	0.04	0.31	0.47	0.33	0.91	0.85	0.08	0.62	0.35	0.77	0.41
14	0.05	0.17	0.03	0.04	0.31	0.47	0.33	0.91	0.85	0.08	0.62	0.35	0.77	0.41

Tabla 4. Segunda parte de la propagación hacia adelante

$bias_3$	nh_1	oh_1	nh_2	oh_2	nh_3	oh_3	w_{10}	w_{11}	w_{12}	$bias_4$	no_1	oo_1	t_1
0.03	0.97	0.73	1.21	0.77	0.95	0.72	0.07	0.49	0.94	0.23	1.33	0.79	0.00
0.02	1.07	0.75	1.45	0.81	1.13	0.75	0.04	0.46	0.91	0.19	1.29	0.78	0.02
0.02	1.04	0.74	1.74	0.85	1.16	0.76	0.02	0.44	0.89	0.16	1.23	0.77	1.00
0.02	0.89	0.71	0.87	0.71	0.50	0.62	0.03	0.45	0.90	0.17	1.06	0.74	0.06
0.01	0.84	0.70	0.69	0.67	0.28	0.57	0.00	0.42	0.88	0.14	0.92	0.72	0.18
0.01	1.00	0.73	1.13	0.76	0.69	0.67	-0.01	0.41	0.86	0.11	0.98	0.73	0.05
0.00	0.83	0.70	0.66	0.66	0.23	0.56	-0.04	0.38	0.84	0.08	0.77	0.68	0.14
-0.01	0.88	0.71	0.80	0.69	0.37	0.59	-0.06	0.36	0.82	0.05	0.74	0.68	0.06
-0.01	0.78	0.68	0.48	0.62	0.06	0.51	-0.08	0.34	0.80	0.01	0.58	0.64	0.18
-0.02	1.05	0.74	1.23	0.77	0.76	0.68	-0.10	0.32	0.79	-0.01	0.70	0.67	0.03
-0.02	1.10	0.75	1.38	0.80	0.89	0.71	-0.13	0.29	0.76	-0.05	0.63	0.65	0.03
-0.03	0.88	0.71	0.77	0.68	0.30	0.58	-0.15	0.27	0.74	-0.08	0.41	0.60	0.21
-0.03	0.99	0.73	1.04	0.74	0.57	0.64	-0.17	0.25	0.73	-0.11	0.42	0.60	0.00
-0.04	0.83	0.70	0.59	0.64	0.14	0.53	-0.20	0.22	0.70	-0.14	0.24	0.56	0.05

Se calcularon los valores de la segunda mitad de la red mediante el algoritmo *backpropagation*, obteniendo el valor de los gradientes mediante la primera derivada de las salidas de las neuronas en la capa oculta y en la capa de salida. Se ajustaron los valores de los pesos con ayuda de un

coeficiente de aprendizaje de 0.25. Una vez llegado a este punto se observa el buen funcionamiento de la red, como se aprecia en el error cuadrático medio dando como resultado un 0.0015. Ver Tablas 5 y 6.

Tabla 5. Primera parte del algoritmo *backpropagation*

EO1	G. E. 1	G.F.A 1	GW10	GW11	GW12	GOH1/OO1	G. Acu. 1	G.FA2	GW1	GW2	GW3
0.392	0.885	0.101	0.696	0.814	0.636	0.983	0.088	0.212	1.000	1.000	1.000
0.377	0.869	0.103	0.708	0.853	0.640	0.967	0.086	0.207	0.747	0.747	0.747
0.005	-0.105	0.094	0.822	0.905	0.816	0.951	-0.009	0.146	0.747	0.747	0.747
0.320	0.800	0.120	0.609	0.774	0.619	0.953	0.091	0.238	0.367	0.367	0.367
0.221	0.666	0.129	0.576	0.748	0.621	0.939	0.081	0.244	0.177	0.177	0.177
0.320	0.800	0.124	0.629	0.821	0.625	0.926	0.092	0.233	0.165	0.165	0.165
0.241	0.694	0.141	0.562	0.740	0.612	0.910	0.089	0.246	0.139	0.139	0.139
0.293	0.766	0.143	0.579	0.766	0.613	0.897	0.098	0.244	0.139	0.139	0.139
0.194	0.622	0.157	0.534	0.705	0.606	0.881	0.086	0.249	0.114	0.114	0.114
0.314	0.792	0.146	0.627	0.835	0.617	0.868	0.100	0.234	0.089	0.089	0.089
0.312	0.790	0.150	0.643	0.854	0.620	0.850	0.101	0.230	0.076	0.076	0.076
0.164	0.573	0.169	0.563	0.761	0.610	0.831	0.081	0.246	0.063	0.063	0.063
0.307	0.783	0.170	0.590	0.804	0.604	0.817	0.109	0.242	0.063	0.063	0.063
0.250	0.708	0.186	0.534	0.727	0.601	0.797	0.105	0.249	0.051	0.051	0.051

Tabla 5. Primera parte del algoritmo *backpropagation*

Goh2/Oo1	G.Acu2	Gfa3	Gw4	Gw5	Gw6	Goh3/Oo1	G.Acu.3	Gfa4	Gw7	Gw8	Gw9	Goh2/Oo1	G.Acu.2	ECM
0.831	0.075	0.152	0.500	0.500	0.500	0.156	0.014	0.231	0.000	0.000	0.000	0.831	0.075	0.0006
0.812	0.072	0.126	0.833	0.833	0.833	0.142	0.013	0.231	0.033	0.033	0.033	0.812	0.072	0.0025
0.793	-0.008	0.086	0.500	0.500	0.500	0.128	-0.001	0.150	1.000	1.000	1.000	0.793	-0.008	0.0001
0.796	0.076	0.175	0.333	0.333	0.333	0.130	0.012	0.236	0.038	0.038	0.038	0.796	0.076	0.0000
0.777	0.067	0.189	0.167	0.167	0.167	0.115	0.010	0.235	0.092	0.092	0.092	0.777	0.067	0.0001
0.761	0.076	0.147	0.667	0.667	0.667	0.102	0.010	0.234	0.076	0.076	0.076	0.761	0.076	0.0000
0.740	0.073	0.192	0.167	0.167	0.167	0.086	0.008	0.237	0.060	0.060	0.060	0.740	0.073	0.0000
0.722	0.079	0.179	0.333	0.333	0.333	0.071	0.008	0.237	0.051	0.051	0.051	0.722	0.079	0.0000
0.701	0.068	0.208	0.000	0.000	0.000	0.054	0.005	0.239	0.049	0.049	0.049	0.701	0.068	0.0000
0.684	0.079	0.138	0.833	0.833	0.833	0.040	0.005	0.236	0.047	0.047	0.047	0.684	0.079	0.0005
0.660	0.078	0.125	1.000	1.000	1.000	0.022	0.003	0.236	0.049	0.049	0.049	0.660	0.078	0.0000
0.635	0.062	0.182	0.333	0.333	0.333	0.003	0.000	0.238	0.051	0.051	0.051	0.635	0.062	0.0000
0.616	0.082	0.157	0.667	0.667	0.667	-0.011	-0.002	0.239	0.003	0.003	0.003	0.616	0.082	0.0000
0.590	0.078	0.198	0.167	0.167	0.167	-0.031	-0.004	0.240	0.029	0.029	0.029	0.590	0.078	0.0059
													Total	0.0015

Se graficaron los datos obtenidos de la red. Se puede apreciar la predicción exitosa emulando perfectamente el comportamiento de la red. Ver Figura 3 y Figura 4.



Figura 3. Gráfica funcionamiento de la red

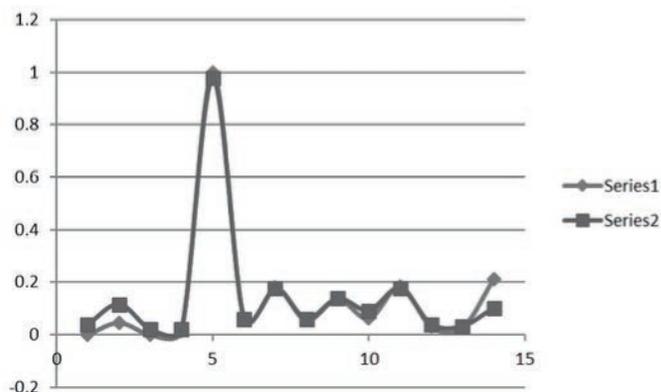


Figura 4. Comparativo últimas iteraciones de la red

Etapa de validación de la Red
Se desarrolló la etapa de validación de la red con

cuatro clientes nuevos, analizando el funcionamiento de la red. Ver Tabla 7.

Tabla 7. Primera parte de la validación

x1	x2	x3	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	BIAS1	BIAS2
0.05	0.33	0.03	-0.72	0.24	-0.58	-0.46	1.05	-0.64	3.20	-4.24	2.70	-0.39	0.60
0.03	0	0.05	-0.72	0.24	-0.58	-0.46	1.05	-0.64	3.20	-4.24	2.70	-0.39	0.60
0.03	0.16	0.06	-0.72	0.24	-0.58	-0.46	1.05	-0.64	3.20	-4.24	2.70	-0.39	0.60
0.01	0	0.03	-0.72	0.24	-0.58	-0.46	1.05	-0.64	3.20	-4.24	2.70	-0.39	0.60

Durante la segunda parte de validación se continúa con el cálculo desde vías 3 hasta

obtener la salida y compararla con el *target* 1. Ver Tabla 8.

Tabla 8. Segunda parte de la validación

bias3	nh1	oh1	nh2	oh2	nh3	oh3	w10	w11	w12	b4	no1	oo1	t1	ECM
-0.22	-0.46	0.39	0.80	0.69	-0.36	0.41	3.79	-5.28	3.24	-1.44	-2.30	0.09	0.06	0.0004
-0.22	-0.25	0.44	0.38	0.59	-0.10	0.47	3.79	-5.28	3.24	-1.44	-1.38	0.20	0.18	0.0002
-0.22	-0.28	0.43	0.50	0.62	-0.17	0.46	3.79	-5.28	3.24	-1.44	-1.62	0.17	0.14	0.0005
-0.22	-0.29	0.43	0.45	0.61	-0.14	0.47	3.79	-5.28	3.24	-1.44	-1.54	0.18	0.18	0.0000
													Total	0.00029

Se graficaron los datos obtenidos de la parte de validación de la red.
Se observa un funcionamiento del 100% total de la misma, comprobando de esta manera una vez más que la red funciona en un 100% para el pronóstico que se requiere. Ver Figura 5.

Etapa de prueba de la Red
Se llevó a cabo la parte de prueba resultando exitosa de acuerdo con el valor obtenido del parámetro error cuadrático medio y con un valor de 0.00023. Prueba del buen funcionamiento de la red. Ver tablas 9 y 10.

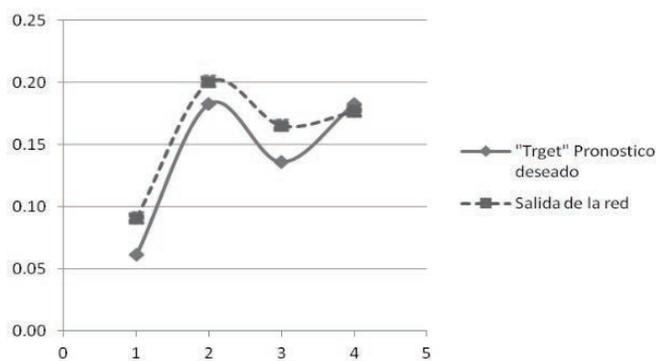


Figura 5. Validación de la red

Se graficaron los datos obtenidos de la parte de prueba de la red dando como resultado la Figura 6 donde se muestra su excelente funcionamiento.

Tabla 9. Primera parte de la prueba de la red

x1	x2	x3	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	bias1	bias2
0.01	0.50	0.04	-0.73	0.24	-0.59	-0.46	1.06	-0.64	3.21	-4.25	2.71	-0.39	0.60
0.00	0.67	0.04	-0.73	0.24	-0.59	-0.46	1.06	-0.64	3.21	-4.25	2.71	-0.39	0.60

Tabla 10. Segunda parte de la prueba de la red

bias3	nh1	oh1	nh2	oh2	nh3	oh3	w10	w11	w12	b4	no1	oo1	t1	ECM
-0.22	-0.50	0.38	0.95	0.72	-0.44	0.39	3.79	-5.28	3.24	-1.44	-2.55	0.07	0.05	0.0004
-0.22	-0.59	0.36	1.15	0.76	-0.55	0.36	3.79	-5.28	3.24	-1.44	-2.92	0.05	0.04	0.0001
													Total	0.00023

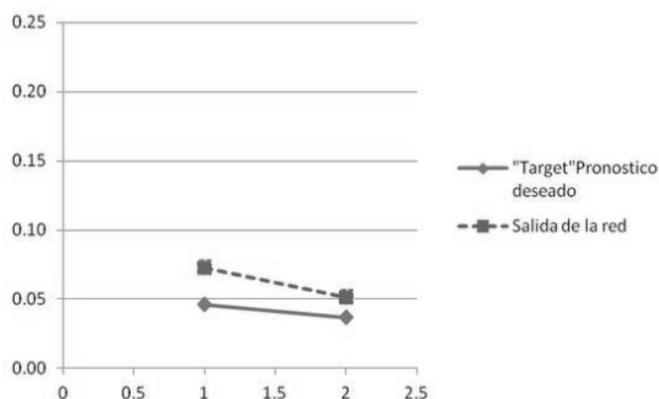


Figura 6. Gráfica de prueba de la red

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de esta investigación fueron exitosos. El entrenamiento de la red pronostica con una fiabilidad significativa al tener un indicador del ECM de 0.0015. La red representa un beneficio para la empresa al tener una herramienta inteligente para predecir la cantidad de emisiones de CO₂ producidas por productos anuales.

Con esta información, se puede lograr analizar las actividades logísticas donde existe una mayor cantidad de emisión de estos gases.

La empresa tendrá un mayor control en sus diferentes actividades y elección de transporte de sus mercancías para lograr controlar y disminuir las mismas en periodos de tiempo de libre elección.

La estructura de la red fue de 3 neuronas en la capa de entrada, 3 neuronas en la capa oculta y 1 neurona en la capa de salida. Se utilizaron 14 patrones en la etapa de entrenamiento, 4 patrones para la etapa de validación y 4 patrones para la etapa de prueba.

En cada una de las etapas se obtuvieron resultados positivos garantizando la fiabilidad de los resultados. Se obtuvieron resultados del indicador ECM de 0.0015, 0.00029 y 0.00023 respectivamente, garantizando así, la fiabilidad del pronóstico de emisiones de CO₂ por productos anuales vendidos.

Con esta investigación se logra otorgar a la empresa RaSa una ventaja competitiva con respecto a las demás empresas de la región, además de distinguirla como una empresa que se preocupa por el medio ambiente. Se agradece a la empresa RaSa por su disposición de brindar la información requerida para esta investigación, de

no haber sucedido así la aplicación de la herramienta no hubiera sido posible, esperando que la información obtenida de la misma logre utilizarse para hacer alguna mejora significativa.

REFERENCIAS

- [1] Mikayilov et al.(2018)"The impact of economic growth on CO2 emissions in Azerbaijan",Elsevier, Vol 197,pp 15.
- [2] Chiroma et al. (2015), "Global Warming: Predicting OPEC Carbon Dioxide Emissions from Petroleum Consumption Using Neural Network and Hybrid Cuckoo Search Algorithm", Plos One, pp 21.
- [3] Xu et al.(2018) "The impacts on CO2 emission reduction and haze by coal resource tax reform based on dynamic CGE model", Elsevier, Vol 58.
- [4] Mohamed B., Issam A. Mohamed A y Abdellatif B., (2015) "ECG Image Classification in Real time based on the Haar-like Features and Artificial Neural Networks" en Elsevier Science Direct. 2015, Volume 73, Procedia Computer Science, pp. 32-39.
- [5] Brown, M. and Harris, C. (1994), Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control, Prentice-Hall, Hemel Hempstead. [Google Scholar].
- [6] Mitchell D. y Pavur R., (2002) "Using modular neural networks for business decisions", en Emerald Insight. 2002, Management Decision, Vol. 40 Issue: 1, pp.58-63.=
- [7] Kumar R., Srivastava S y Gupta J.R.P., (2016) "Time Series Prediction Using Focused Time Lagged Radial Basis Function Network" en IEEE Electronic Library. 2016, International Conference on information Technology (InCITe) – The next Generation It summit, pp. 4.
- [8] LeylaMuradkhanli (2018), "Neural Networks for Prediction of Oil Production", Elsevier, Vol 51, pp3.
- [9] Olawoyin y Chen. (2018) "Predicting the Future with Artificial Neural Network", Elsevier, Vol 140, pp 10.
- [10] M. Suárez et al.(2006) "A predictive control scheme based on neural networks",Emerald, Vol 35,pp 1579-1606.
- [11]NormahOmar et al.(2017) "Predicting fraudulent financial reporting using artificial neural network", Journal of Financial Crime, Vol. 24 Issue: 2, pp.362-387.
- [12] Paulo Cachim, (2019) "ANN prediction of fire temperature in timber", Journal of Structural Fire Engineering, Vol. 10 Issue: 2, pp.233-244
- [13]Allamsetty y Mohapatro (2019),"Prediction of NO and NO2 Concentrations in NTP Treated Diesel Exhaust Using Multilayer Perceptrons", Elsevier, Vol 158, pp 4566- 4571.
- [14] Kialashaki y Reisel.(2014), "transport energy demand modeling of the united states using artificial neural networks and multiple linear regressions",ASME, 10,pp.
- [15] Ye et al, (2017),"Modeling energy-related CO2 emissions from office buildings using general regression neural network",ELSEVIER, Vol 129,pp168-174.
- [16] Alkhatib, (2016), "Design of a predictive emission monitoring system for natural gas plant using artificial neural network", the petroleum institute, Microform Edition © ProQuest LLC,177,pp.
- [17] Morris, (2011), "Development of an Artificial Neural Network to Predict In-Use Engine Emissions", UMI, ProQuest LLC, 190 pp.
- [18] Jusri et al, (2018) "A review on the application of response surface method and artificial neural network in engine performance and exhaust emissions characteristics in alternative fuel", ELSEVIER, Vol 90, range pp 665-668.
- [19] Og̃uz et al, (2010), "Prediction of diesel engine performance using biofuels with artificial neural network:,ELSEVIER, Vol 37, pp 8.
- [20] Gallo el al, (2014), "A Neural Network Model for Forecasting CO2 Emission", Ag Econ search reach in agricultural & applied economics,Elsevier, Vol 6, total pp 6.
- [21] Baareh, (2013), "Solving the Carbon Dioxide Emission Estimation Problem: An Artificial Neural Network Model",Scientific Reseach, Elsevier,Vol 6, range pages 338-342,total pp 5.
- [22] Taghavifar et al, (2016), "Appraisal of artificial neural networks to the emission analysis and prediction of CO2, soot, and NOx of n-heptane fueled engine",Elsevier, Vol 112, part 2.
- [23] Paul et al, (2018), "Artificial Neural Network-Based Prediction of Performances-Exhaust Emissions of Diesohol Piloted Dual Fuel Diesel Engine Under Varying Compressed Natural Gas Flowrates", ASME, Vol 140,pp 9
- [24] Mejías edisel al (2016),"Comparison of linear regression and artificial neural networks models to predict heating and cooling energy demand, energy consumption and CO2 emissions" Elsevier,Vol 118, pp,13.

[25] Sampath, et al (2018), "Application of neural networks and fuzzy systems for the intelligent prediction of CO₂-induced strength alteration of coal", Elsevier, Vol 135, pp 14.

[26] Chen et al,(2015), "Artificial neural network models for the prediction of CO₂ solubility in aqueous amine solutions", Elsevier, vol 39, pp 11.

[27] Kim et al, (2016)," Prediction of storage efficiency on CO₂ sequestration in deep saline aquifers using artificial neural network",Elsevier,Vol 185, pp 13.

[28] Abdullahi y Elkiran, (2017),"Prediction of the future impact of climate change on reference evapotranspiration in Cyprus using artificial neural network", Elsevier, Vol 120, pp 8.

[29] Kshirsagar y Anand, (2017),"Artificial neural network applied forecast on a parametric study of Calophyllum inophyllummethyl ester-diesel engine out responses", Elsevier, Vol 189.

Un modelo p-mediana modificado para optimizar la ubicación de instalaciones considerando la planta matriz

Miguel Ángel Solís-Jiménez

División de Ingeniería Industrial Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco. TecNM, ITSH. Huatusco, Veracruz, México
miguel_solis@itshuatusco.edu.mx

Luis Antonio Calderón-Palomares

División de Ingeniería Industrial Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco. TecNM, ITSH. Huatusco, Veracruz, México
luis_antonio_palomares@itshuatusco.edu.mx

Ana Laura Piña-Martínez Escuela de Ingeniería y Ciencias

Tecnológico de Monterrey, ITESM
Atizapán, Estado de México, México
A01318253@itesm.mx

Resumen— El uso de la programación lineal entera en un modelo de decisión de la distribución, contribuye a un mejor análisis y entendimiento de las interacciones entre las principales variables de la cadena de valor logística. El presente modelo general de la distribución de la cadena de valor logística considera los procesos de producción, así como también los factores económicos y costos logísticos operando en las diferentes etapas de una compañía de agua purificada. El modelo tiene una aplicación general para empresas repartidoras de bienes y servicios, y sirve como apoyo en la elección de políticas y escenarios de operación. Se contemplan condiciones operativas propias de la industria en México, específicamente de las empresas purificadoras de agua embotellada. Se pretende evaluar las diferentes condiciones operativas que optimicen los puntos de entrega, centros de distribución y plantas de producción considerando una visión holística para cumplir con los objetivos de un sistema de distribución, considerando sus variaciones aleatorias y su impacto en el sistema global para tomar las acciones preventivas y correctivas que permitan mejorar la logística de operación. Lo anterior se ejemplifica con unas adecuaciones que se realizan sobre el modelo de la P- mediana donde se muestra cómo se aplicaría esta variación no considerando la fuente o planta matriz como una opción centro de distribución. El modelo mejorado ofrece ventajas fundamentales respecto al resto de técnicas revisadas en la literatura, como introducir en el modelo la información obtenida haciendo más óptima la red de distribución, además permite la intervención del decisor en la resolución del modelo, recogiendo de este modo no sólo los datos objetivos sino también las preferencias y previsiones del propio tomador de decisiones.

Palabras Clave— modelo de la p-mediana; ubicación de instalaciones; optimización.

I. INTRODUCCION

Los problemas logísticos de localización consisten en ubicar uno o varios servicios para cubrir la demanda de una serie de puntos conocidos, usualmente denominados puntos de demanda, buscando optimizar alguna medida de efectividad, sin embargo, la teoría de ubicación de instalaciones es relativamente reciente, a pesar de que los problemas relacionados con la ubicación de diferentes tipos de instalaciones han acompañado al hombre a lo largo de la historia [1], toda vez que éste se ha tenido que enfrentar a decidir en dónde ubicar sus instalaciones, teniendo en cuenta la relación que éstas tendrán con otras instalaciones o con los clientes a los que se pretende servir.

En términos generales, los problemas de localización tratan de averiguar la ubicación de las instalaciones de una entidad dígase, empresa, almacén, instalación o cliente, de modo que se minimicen los costos o se maximicen los beneficios.

La formulación de estos problemas puede incluir consideraciones geográficas, políticas, sociales, económicas, personales, dentro de las que se pueden mencionar: cercanías de fuentes de materia prima, disponibilidad de recursos, existencia de competidores o cercanía entre instalaciones, entre otras. Sin embargo, el diseño, desarrollo y solución de modelos que representen de manera adecuada la realidad y que sirvan de herramienta para tomar la mejor decisión de ubicación está relacionado con los trabajos realizados por Hakimi [2] (1964-1965) para el problema de localización de instalaciones, fabricas, almacenes, sucursales, estaciones, etc., en el que el problema de la p -mediana y sus extensiones se han utilizado para ubicar óptimamente estas entidades.

Dos de estos modelos más utilizados en localización de redes son el problema de la p -mediana y el problema de p -centro.

El primero consiste en minimizar la suma total de las distancias ponderadas al calcular la ubicación de p -centros de servicio de forma que minimice la

distancia total (o media) ponderada recorrida para atender toda la demanda (eficiencia), mientras que el segundo trata de minimizar la máxima distancia ponderada desde un centro de servicio hasta sus usuarios asignados al tratar de encontrar la localización de p -centros de servicio de forma que se minimice la máxima distancia entre un punto demanda y su centro de servicio más próximo (equidad).

El objetivo de la p -mediana hace que sea eficiente pero no equitativo, mientras que la cota implícita en el problema del p -centro lo convierte en equitativo, pero no eficiente [3].

La mayor parte de aplicaciones anteriormente mencionadas parten de modelos deterministas, en los cuales los datos del problema son perfectamente conocidos. Sin embargo, la incertidumbre en los pesos de los vértices o de las aristas es inherente a la mayoría de los problemas, bien porque dichos datos son una estimación de un comportamiento futuro del cual no se poseen datos históricos, bien porque el entorno económico es no predecible mediante las técnicas estadísticas al uso o bien porque otros factores externos no controlables por el decisor influyen en ellos [4].

La mediana de p y las extensiones de la misma a menudo modelan situaciones del mundo real, como la ubicación de plantas industriales, almacenes e instalaciones públicas [5].

El problema de la p -mediana, con datos deterministas, ha sido extensamente estudiado. El problema de la mediana p es uno de los modelos básicos en la teoría de la ubicación discreta. Como con la mayoría de los problemas de ubicación, se clasifica como NP-duro [6] y, por lo tanto, los métodos heurísticos se utilizan generalmente para resolverlo [7].

Una recopilación de estos estudios se puede consultar en los trabajos de Krarup y Pruzan [8] donde aparecen los planteamientos y métodos de resolución tanto de la p -mediana como de otros problemas relacionados. Sin embargo, en muchos problemas reales los datos, es decir, las

demandas asociadas a los vértices y/o las distancias que se asocian a las aristas, no son conocidos con exactitud.

Por ejemplo, si una empresa desea acceder a nuevos mercados, las demandas serán estimadas a partir de alguna investigación de mercado.

Si las aristas representan carreteras y los pesos asociados, el tiempo que se tarda en recorrerlas, es imposible conocerlos con exactitud, dado que el tiempo dependerá de las circunstancias del tráfico, el estado de la carretera, etc [9].

Los trabajos a cerca del ruteo de vehículos para problemas de mensajería y envío de pequeños paquetes, están orientados a mejorar principalmente dos indicadores: el tiempo de llegada, orientado al servicio; y los costos de operación, orientando a la eficiencia [10].

Considerando lo anterior se debe señalar que el problema de la p-mediana es fundamental para gran parte de la teoría de localización discreta. Está motivado por una serie de situaciones reales, como por ejemplo tener que instalar varias plantas en algunos puntos de un sistema de transporte para minimizar los costos de producción y envío o tener que instalar diferentes hospitales en una ciudad para que la mayor parte de su población quede cubierta en caso de necesitar uno.

En definitiva, el problema de la p-mediana trata de localizar p instalaciones dentro de una red de manera que se minimice la distancia ponderada entre los puntos de demanda y la instalación abierta más cercana [11].

En mercados que exigen gran competitividad, la administración de los negocios se enfrenta a decisiones y problemas que deben resolverse de manera estratégica para el mantenimiento exitoso de las compañías. Entre esas decisiones es de gran relevancia satisfacer las necesidades de los clientes externos en cuanto a la calidad del producto y al servicio, siendo el cumplimiento en las entregas un elemento de gran impacto (Davis-Sramek, Mentzer yStank, 2008), citado en [12].

II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Derivado de la información que precede a un estudio de factibilidad para la instalación de una empresa purificadora de agua, se plantea el siguiente escenario donde solo se tiene como datos principales las distancias entre la planta matriz y sus posibles centros de distribución. La empresa busca determinar quiénes de sus clientes, pueden fungir como centros de distribución. Para esto, el encargado de logística y reparto determinó las distancias en kilómetros que existen entre los distintos clientes y la planta matriz.

Las distancias y el plano de las ubicaciones de los clientes se presentan a continuación en la Figura 1 y Tabla 1, respectivamente:

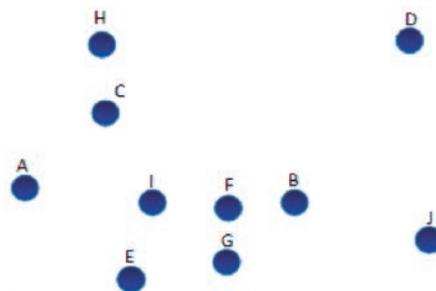


Figura 1. Localización de distintos clientes a la planta matriz

Tabla 1. Localización de distintos clientes a la planta matriz

De/ A	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0.0	63.2	35.5	107.6	43.8	47.5	54.7	59.8	30.4	97.1
B	63.2	0.0	56.2	69.5	49.0	16.1	28.0	76.6	33.0	35.3
C	35.5	56.2	0.0	76.7	66.3	46.4	64.4	27.0	36.7	91.0
D	107.6	69.5	76.7	0.0	115.1	78.8	97.0	72.0	87.7	79.2
E	43.8	49.0	66.3	115.1	0.0	36.4	23.4	93.3	31.4	71.8
F	47.5	16.1	46.4	78.8	36.4	0.0	21.0	70.3	17.1	49.7
G	54.7	28.0	64.4	97.0	23.4	21.0	0.0	89.8	28.6	48.7
H	59.8	76.6	27.0	72.0	93.3	70.3	89.8	0.0	63.2	108.9
I	30.4	33.0	36.7	87.7	31.4	17.1	28.6	63.2	0.0	66.7
J	97.1	35.3	91.0	79.2	71.8	49.7	48.7	108.9	66.7	0.0

La planta matriz será considerada por la variable $X_1(A)$. Suponga que la empresa puede acondicionar hasta 3 centros de distribución, y puede resultar que la planta matriz también sea seleccionada como centro de distribución, esto implica que en caso de que la variable X_1 , sea seleccionada como CEDI, entonces está tendrá sus propios clientes que atender, además de los otros centros que queden seleccionados.

III. METODOLOGÍA

El modelo de p -Mediana formulado originalmente en Reville y Swain [13], en su forma más general, está definido en una red de nodos y áreas donde se asume que cada nodo representa a un área local de demanda o también puede representar una ubicación potencial para la instalación de una planta. El objetivo es localizar exactamente “ p -plantas”, para reducir al mínimo la distancia total de transporte para atender toda la demanda. Se asume que las plantas no están limitadas en servicio por capacidad máxima (tienen capacidad infinita) así que cada demanda puede ser atendida por la planta más próxima. Podemos formular este modelo con las siguientes notaciones.

i, j = índices usados para referirse a un nodo o punto numerados como 1,2,3, 4,... n .

d_{ij} = distancia mínima del nodo i al nodo j . a_i = demanda en el nodo i .

X_{ij} = 1, si la demanda en i se asigna a la planta j ; 0, en caso contrario.

X_{jj} = 1, si una planta es situada en el sitio j y la semana j , se le asigna también; 0, en caso contrario.

p = número de plantas que van a ser colocadas.

Considerando lo anterior se puede formular el modelo logístico de distribución para la empresa distribuidora de agua de la siguiente manera. Este modelo pretende, además de minimizar las distancias de recorridos, tanto desde la planta a los centros de distribución como desde los centros de distribución a los clientes.

El modelo se formula con las siguientes notaciones:

i, j = Índices usados para referirse a un nodo o punto numerados como 1,2,3,4,... n .

d_{ij} = Distancia mínima del nodo i al nodo j .

X_{ij} = 1, si la demanda en i se asigna al centro de distribución j ; 0, en caso contrario.

X_{jj} = 1, si un centro de distribución es situado en el sitio j y la demanda a j , se le asigna también; 0, en caso contrario.

p = Número máximo de centros de distribución que pueden ser asignados.

X_{0101} =Distancia total de los centros de distribución hacia la planta.

A. Formulación del modelo utilizando la p -mediana

El siguiente paso es formular utilizando el método de la P - mediana. Para dicho fin se utilizarán las siguientes consideraciones:

1. En la función objetivo se debe minimizar las distancias de cada uno de los posibles centros de distribución al resto de ellos, incluyendo la planta matriz.
2. El primer juego de restricciones garantiza que cada cliente sea asignado a un centro de distribución, siempre que este sea activado como tal.
3. El segundo Juego de restricciones indican cuantos clientes podrán ser atendidos por un CEDI, para el ejemplo se considera que cada centro de distribución atenderá a tres clientes, incluyéndose el mismo.
4. La última restricción determina el número máximo de CEDIS que podrán habilitarse.
5. Todas las variables de decisión deben ser binarias, es decir indican si la localización se selecciona como CEDI y si la localización es atendida por el CEDI.

Tomando la información anterior, el modelo queda de la siguiente manera:

$$\text{Min } Z = X_{0101} + \sum_{j=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} d_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_1^{10} X_{ij} = 1 \text{ para cada } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_1^{10} X_{ij} = 1 \text{ para cada } j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

$$X_{0101} = \sum_{j=1}^{10} d_{ij} X_{ij} \text{ para cada } j = 2, 3, 4, \dots, n \quad (4)$$

$$X_{ij} \leq X_{jj} \text{ para cada } i = 1, 2, 3, \dots, n \text{ y } j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ donde } i \neq j \quad (5)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \text{ para cada } i = 1, 2, \dots, n \text{ y } j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

B. Solución e interpretación del modelo

Una vez que se tiene modelada la situación, el siguiente punto consiste en resolver el modelo, para dicho fin, se hace uso del Solver de Excel®. Se puede comentar, que las locaciones que corresponden a la variable (B), así como las locaciones (C) y (G), son las seleccionadas como centros de distribución. El centro de distribución (B) deberá atender a los mercados de (D), (F) y (J), por otra parte, el centro de distribución (C) deberá atender a los mercados de (A) y (H); por último, el centro de distribución (G) deberá atender a los mercados de (I) y (E). Lo anterior se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 2. Centro de distribución seleccionados con sus respectivos clientes

Centro de Distribución seleccionado	Clientes
B	D F J
C	A H
G	E I

Las distancias de cada centro de distribución a sus respectivos clientes son:

Tabla 3. Distancia del CEDI (B) a sus clientes

Centro de distribución	Cliente	Distancia al centro de distribución (Km)
B	D	69.5
	F	16.1
	J	35.3
Total		120.9

Tabla 4. Distancia del CEDI (C) a sus clientes

Centro de distribución	Cliente	Distancia al centro de distribución (Km)
C	A	35.5
	H	27.0
Total		62.5

Tabla 5. Distancia del CEDI (G) a sus clientes

Centro de distribución	Cliente	Distancia al centro de distribución (Km)
G	E	23.4
	I	28.6
Total		52

La distancia total recorrida para cubrir estos mercados es de 235.47km, sin contar la distancia para llevar los productos de la fuente a los centros de distribución. De manera que, incluyendo estas distancias que son 153.42km, se tiene un total de 388.88km

Tabla 6. Distancia de la matriz a los CEDIS

Centro de distribución	Cliente	Distancia al centro de distribución (Km)
A	B	63.2
	C	35.5
	G	54.7
Total		153.4

En la imagen siguiente se muestra la forma en cómo quedan relacionados los nodos del sistema de distribución.

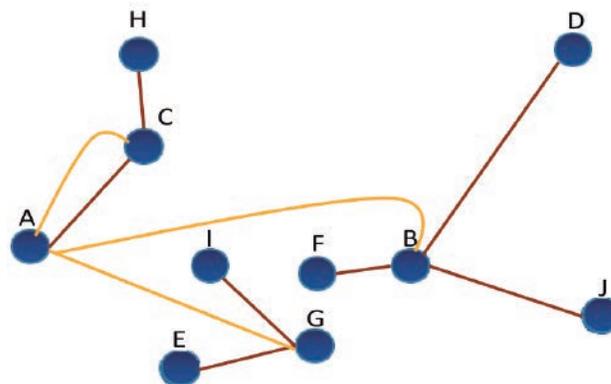


Figura 2. Estructura resultante de los nodos del sistema de distribución

C. Planteamiento sin utilizar a la planta como CEDIS

Con relación a los resultados del modelo anterior, es importante comentar que en dicho modelo se incluye al nodo A como posible centro de distribución, y de acuerdo a la solución, para la situación planteada, esta variable pudo haber salido seleccionada como centro de distribución.

En caso de que la empresa no saliera, se considera como posible centro de distribución, la variable (A), la cual tendría que salir del modelo y recalcular la situación considerando solo las otras 9 variables, ya que, si esta variable se deja, siempre existe el riesgo de ser seleccionada como centro de distribución. Ahora bien, una vez que el modelo se reestructure, sin considerar a (A), y este sea resuelto, se deberá de sumar la distancia de la planta a los centros de distribución que fueron seleccionados por el algoritmo, ya que forzosamente se deben proveer los centros de distribución de producto desde la planta de producción.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las variables (B), (C) y (G) son las seleccionadas como centros de distribución. Los clientes que atenderán cada una de estas son: (B) atenderá a (D), (F) y (J), mientras que (C) solo atiende a (H); por último (G) atiende a (I) y (E). El total de recorrido que se tiene de estos centros de distribución son 199.96km. A esta cantidad se le debe de sumar la distancia desde la matriz (A) a los nodos seleccionados como centros de distribución, la cual es 153.42km, quedando un total de 353.37km.

La imagen siguiente muestra la forma en cómo quedan distribuidos los centros de distribución y sus respectivos clientes:

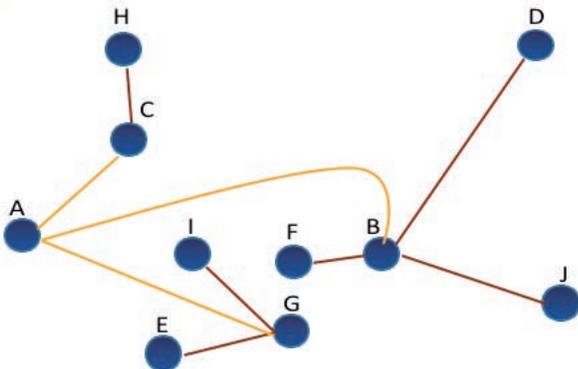


Figura 3. Estructura resultante del sistema de distribución.

D. Modelo mejorado

Partiendo de la idea presentada en el punto 3, ahora se muestra el comportamiento del modelo mejorado, el cual a diferencia del modelo anterior, si incluye a al nodo (A) como parte del modelo, pero ahora, (A) solo considera la posibilidad de entregar a los posibles centros de distribución, para dicho fin, se construye una restricción con (A) de manera que sea igual a la suma de todos los puntos donde se puede colocar un centro de distribución multiplicado por la distancia que hay desde la planta hasta los posibles centros.

Posteriormente, esta variable se lleva a la función objetivo, buscando con esto que el modelo reduzca la distancia que hay desde la planta a los posibles centros de distribución y al mismo tiempo seleccionar los mejores centros de distribución y los posibles clientes de los mismos. La forma en cómo se estructura el modelo es la siguiente:

$$Min Z = X_{0101} + \sum_{j=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} d_{ij} X_{ij} \quad (7)$$

$$\sum_2^{10} X_{ij} \leq 3 \text{ para cada } i = 2, \dots, 10 \text{ y } j = 2, \dots, 10 \text{ donde } i = j \quad (8)$$

$$X_{11} = \sum_{j=2}^{10} \sum_{i=2}^{10} d_{ij} X_{ij} \text{ para cada } i = 2, \dots, 10 \text{ y } j = 2, \dots, 10 \text{ donde } i = j \quad (9)$$

$$X_{ij} \leq X_{jj} \text{ para cada } i = 2, 3, \dots, 10 \text{ y } j = 2, 3, \dots, 10 \text{ donde } i \neq j \quad (10)$$

$$\sum_2^{10} X_{ij} = 1 \text{ para cada } j = 2, 3, \dots, 10 \quad (11)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \text{ para cada } i = 1, 2, \dots, n \text{ y } j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

El resultado del algoritmo mejorado, indica que los nodos que van a fungir como centros de distribución son (C), (I) y (F) y los clientes que atenderán cada uno de estos se pueden apreciar en la figura siguiente:

Tabla 6. Centros de distribución seleccionados con sus respectivos clientes

Centro de Distribución seleccionado	Clientes
C	D H
F	B G J
I	E

Gráficamente la distribución se puede apreciar en la Figura 4.

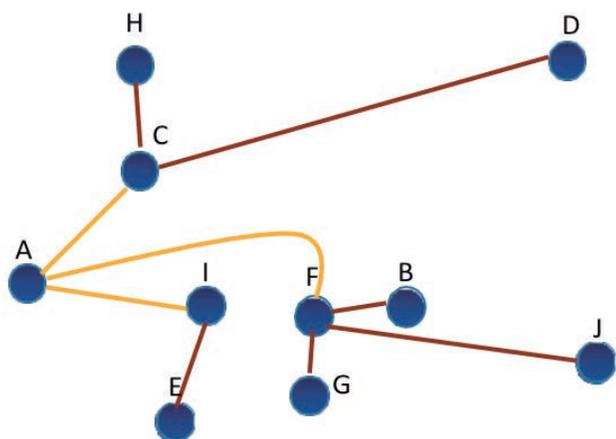


Figura 4. Resultado del algoritmo mejorado

Como puede observarse, el nodo (C) atenderá a los nodos (H) y (D), El nodo (F) atenderá a los nodos (B), (G) y (J) y por último el nodo (I) atenderá al nodo (E). Las distancias de cada CEDI a sus clientes los observamos en las tablas 8, 9 y 10.

Tabla 8. Distancia del CEDI (C) a sus clientes

Centro de distribución	Cliente	Distancia al centro de distribución (Km)
C	D	76.7
	H	27
Total		103.7

Tabla 9. Distancia del CEDI (F) a sus clientes

Centro de distribución	Cliente	Distancia al centro de distribución (Km)
F	B	16.1
	G	21
	J	49.7
Total		86.8

Tabla 10. Distancia del CEDI (I) a su cliente

Centro de distribución	Cliente	Distancia al centro de distribución (Km)
I	E	31.4
Total		31.4

Observe que la distancia recorrida en total de los CEDIS a sus clientes suman 221.9km, sin considerar la distancia de la planta matriz a estos, la cual se ve reflejada en la Tabla 11.

Tabla 11. Distancia de la matriz a los CEDIS

Centro de distribución	Cliente	Distancia al centro de distribución (Km)
A	C	35.5
	F	47.5
	I	30.4
Total		113.4

Sumando los 221.9km de los CEDIS a los clientes más los 113.4km de la planta matriz a los CEDIS, se tiene un total de 335.3 km. Esta distancia es menor a la presentada en los dos casos anteriores. Se puede apreciar para este caso en particular una mejoría en cuanto la distancia recorrida con relación al primer modelo del 13.75% y con relación al segundo modelo del 5.1%.

IV. CONCLUSIONES

El problema de la p-mediana es fundamental para gran parte de la teoría de localización discreta. Está motivado por una serie de situaciones reales, como, por ejemplo tener que instalar varias plantas en algunos puntos de un sistema de transporte para minimizar los costos de producción y envío o tener que instalar diferentes hospitales en una ciudad para que la mayor parte de su población quede cubierta en caso de necesitar uno. En definitiva, el problema de la p-mediana trata de localizar p instalaciones dentro de una red de manera que se minimice la distancia ponderada entre los puntos de demanda y la instalación abierta más cercana.

En la formulación del modelo originar la distancia total recorrida para cubrir estos mercados es de 235.47km, sin contar la distancia para llevar los productos de la fuente a los centros de distribución, de manera que incluyendo estas

distancias que son 153.42km, se tiene un total de 388.88 km. En el modelo sin utilizar la planta como CEDIS el total de recorrido que se tiene de estos centros de distribución son 199.96km.

A esta cantidad, se le debe de sumar la distancia desde la matriz (A) a los nodos seleccionados como centros de distribución, es de 153.42km, quedando un total de 353.37km.

Por último, en el modelo mejorado la distancia total en este caso será de 335.41km. Esta distancia es menor a la presentada en los dos casos anteriores. Se puede apreciar para este caso en particular una mejoría en cuanto la distancia recorrida con relación al primer modelo del 13.75% y con relación al segundo modelo del 5.1%.

El modelo mejorado ofrece dos ventajas fundamentales respecto al resto de técnicas que se comentaron anteriormente.

La primera, permite enfocarnos en la información obtenida haciendo más óptima la red de distribución, consiguiendo de este modo establecer una política adecuada para la conformación de dicha red.

La segunda es que permite la intervención del decisor en la resolución del modelo, recogiendo de este modo no sólo los datos objetivos sino también las preferencias y previsiones del propio decisor.

REFERENCIAS

[1] L. Torres Díaz, "Análisis de diferentes políticas de ubicación de una instalación en ambientes competitivos," Maestría en Ciencias, Programa de Posgrado de Ingeniería en Sistemas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 2006.

[2] "The p-neighbor k-center problem," Information Processing Letters, vol. 65, no. 3, pp. 131 - 134, 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/S0020-0190\(97\)00224-X](https://doi.org/10.1016/S0020-0190(97)00224-X).

[3] E.Toro Ocampo,R.Gallego Rendón, and C. A. Muñoz, "Comparación del desempeño del algoritmo genético de CHU-BEASLEY y el algoritmo colonia de hormigas en el problema de p-mediana," Scientia et technica, vol. 1, no. 47, p. 6, 2011, doi: 10.22517/23447214.531.

[4] M. C. Darós and M. M. Arce, "Técnicas de optimización robusta Aplicadas al problema de la p-mediana en condiciones de incertidumbre," Actas de VI Jornadas de la Asociación Española de Profesores Universitarios de Matemáticas para la Economía y la Empresa, Santiago de Compostela, 1998.

[5] "Variable neighborhood search for the p-median," Location Science, vol. 5, no. 4, pp. 207 - 226, 1997, doi: [https://doi.org/10.1016/S0966-8349\(98\)00030-8](https://doi.org/10.1016/S0966-8349(98)00030-8).

[6] O. Kariv and S. L. Hakimi, "An Algorithmic Approach to Network Location Problems. I: The p-Centers," SIAM Journal on Applied Mathematics, vol. 37, no. 3, pp. 513-538, 1979.

[7] N. Mladenovic, J. Brimberg, P. Hansen, and J. A. Moreno-Perez, "The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches," European Journal of Operational Research, vol. 179, no. 3, pp. 927-939, Jun 16 2007, doi: 10.1016/j.ejor.2005.05.034.

[8] "The simple plant location problem: Survey and synthesis," European Journal of Operational Research, vol. 12, no. 1, pp. 36 - 81, 1983, doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(83\)90181-9](https://doi.org/10.1016/0377-2217(83)90181-9).

[9] M. a. A. M. a. N. V. a. S. V. a. S. R. J. Canos Darós, "Aplicaciones económicas de la optimización robusta," Rect@, vol. Actas_5, 1997.

[10] J. J. Arboleda-Castillo, A. D. Heredia-Giraldo, and J. P. Orejuela- Cabrera, "Two-phase method for motorcycle messenger routing problem with time windows. Método de dos fases para el problema de ruteo de mensajeros en motocicleta con ventanas de tiempo," Entramado, vol. 14, no. 1, pp. 268-281, 2018-06 2018, doi: 10.18041/entramado.2018v14n1.27120.

[11] S. L. Jiménez, "Problemas de la p-mediana Aplicación," 2018.

[12] C. Pantoja, J. P. Orejuela, and J. J. Bravo, "Metodología de distribución de plantas en ambientes de agrupación celular," Estudios Gerenciales, vol. 33, no. 143, pp. 132-140, 2017.

[13] C. S. ReVelle and R. W. Swain, "Central Facilities Location," Geographical Analysis, vol. 2, no. 1, pp. 30-42, 1970, doi: 10.1111/j.1538-4632.1970.tb00142.x.

La función de pérdida como indicador de aprendizaje de una red neuronal multicapa

Iván Andrés Acevedo Arcila
Estudiante de Maestría Universidad de Guanajuato,
UG Yuriria, Guanajuato, México
ia.acevedoarcila@ugto.mx

Roberto Baeza Serrato
Profesor Investigador Universidad de Guanajuato,
UG Yuriria, Guanajuato, México
r.baeza@ugto.mx

Everardo Vargas Rodríguez
Profesor Investigador Universidad de Guanajuato,
UG Yuriria, Guanajuato, México
evr@ugto.mx

Resumen—Este artículo tiene como propósito utilizar la función de pérdida como indicador de aprendizaje (FPIA), en el desempeño de una red neuronal tipo perceptrón multicapa en Excel. La red neuronal en estudio permite clasificar los proveedores de las tiendas de conveniencia en la industria del comercio minorista de la región de Yuriria, Guanajuato, con el fin de seleccionar los proveedores idóneos para construir cadenas de suministro seguras y resistentes. La metodología utilizada consta de 4 etapas: (1) Definir variables de entrada, variables de salida y proveedores a ser evaluados, (2) Diseñar y desarrollar la red neuronal multicapa, (3) Entrenar, validar, probar y analizar la clasificación de la red obtenida, por último, (4) Comparar el desempeño de la red con el indicador del error cuadrático medio (ECM) y la función de pérdida, enfoque propuesto en la presente investigación. La arquitectura de la red utilizada es tipo 6-3-1. Se evaluaron en total 10 proveedores, 7 de ellos en la etapa de entrenamiento, 2 en la etapa de validación y 1 en la etapa de prueba, obteniéndose porcentajes de eficiencia del 100% en las tres etapas. La principal contribución del presente estudio es la conceptualización de la constante de pérdida k , como la constante de la capacidad utilizada en una hoja de cálculo de Excel. Los resultados muestran similitud en el comportamiento de los indicadores FPIA y ECM. El indicador propuesto puede ser utilizado para medir el desempeño de las redes neuronales en cualquier lenguaje de programación.

Palabras Clave— función de pérdida; indicador de aprendizaje; red neuronal; clasificación de proveedores; cadena de suministro.

I. INTRODUCCIÓN

En los entornos empresariales actuales tener una ventaja competitiva que diferencie a las empresas de la competencia, es algo necesario para sobrevivir en el mercado de cualquier sector, de ahí, la importancia del entendimiento global de la cadena de suministro para poder diseñar estrategias enfocadas a fortalecer las ventajas competitivas de la organización y agregar valor a todas las partes integradas en la cadena de valor [1] [2].

Dentro de la cadena de suministro, los proveedores cumplen un papel fundamental por su capacidad de generar valor al consumidor final tanto en las etapas de fabricación como de distribución [3]. Por tal razón, la decisión que debe tomar el departamento de compras de saber a qué proveedor comprarle es de vital importancia para las organizaciones por ser esta una actividad clave en las operaciones e influir en la rentabilidad y posición competitiva de la empresa [4].

De hecho, la selección de proveedores es considerada por investigadores y profesionales del departamento de compras como la decisión más importante a ser tomada [5], tanto así, que en la literatura existen diferentes herramientas y algoritmos que proponen evaluar fortalezas y debilidades de los proveedores con el fin de tomar la mejor decisión [6]. Aunque, uno de los inconvenientes con estas herramientas es que tienen estructuras matemáticas extensas y dificulta la aplicación en entornos locales como es nuestro caso en Yuriria, Guanajuato.

Por tal motivo, la herramienta a ser utilizada para la clasificación de proveedores es una red neuronal en Excel, con el fin de facilitar el entendimiento de las personas que deben tomar esta decisión, puesto que al ser Excel una herramienta conocida a nivel mundial brinda ventajas en la comprensión del comportamiento y visualización de una red [7].

El uso de las redes neuronales artificiales es ideal para modelar comportamientos del mundo real gracias a su enfoque algorítmico que simula el

aprendizaje de las neuronas biológicas del cerebro humano con el que se pueden resolver problemas como el de este artículo de clasificación, así como los modelos de predicción y reconocimiento de patrones [8].

Dentro de las ventajas de los enfoques algorítmicos de las redes neuronales, cabe destacar el uso del algoritmo *Backpropagation* o aprendizaje hacia atrás de la red neuronal multicapa, por su capacidad de aprender patrones más complejos mediante la discriminación no lineal [9].

A manera general, el aprendizaje en las redes neuronales está sustentado en el error que comete el perceptrón y su aprendizaje de corrección a lo largo de las iteraciones [10].

De hecho, el indicador de aprendizaje utilizado para el entendimiento y visualización de la red es el error cuadrático medio por su concepto universal estadístico sustentado en la diferencia entre el valor objetivo y el estimado [11].

El objetivo de esta investigación es proponer un indicador de aprendizaje, el cual pueda ser utilizado como comparativo con el indicador tradicional del error cuadrático medio. La validación del indicador propuesto fue aplicada en una red neuronal multicapa para la clasificación de proveedores.

La propuesta del indicador de la función de pérdida, está basado en el concepto innovador del diseño experimental tradicional en el que no solo un producto se considera de calidad por estar dentro de los límites de tolerancia, sino que también se tiene en cuenta la pérdida que sufre la sociedad a consecuencia de la mala calidad de un producto y el costo que se ve reflejado para la organización el alejarse del valor objetivo [12] [13]

II. MARCO TEÓRICO

A. Función de Pérdida de Taguchi

La función de pérdida fue desarrollada por el ingeniero japonés Genichi Taguchi, con el fin de

cuantificar los costos por la variabilidad en el proceso, entendida desde la perspectiva del fabricante como la pérdida económica por el no cumplimiento de las especificaciones objetivo y desde la perspectiva del consumidor final como la pérdida por la mala calidad de los productos adquiridos [14].

La importancia de la teoría de Taguchi radica en la creación de un lenguaje empresarial, que logre facilitar la comunicación entre los ingenieros y técnicos, mediante una expresión matemática, que permite el entendimiento de la calidad, la producción y los costos en los que incurre la empresa durante el ciclo de vida de un producto [15].

El entendimiento de la función de pérdida está definida en tres tipos:

- Nominal es mejor, entendiéndose por procesos donde hay tolerancia en ambos sentidos, el mejor ejemplo es la confección de una camisa la cual en su tamaño puede tener $\pm 0,5\text{cm}$
- Menor es mejor, se entiende por características donde el ideal es acercarse a cero, por ejemplo, el número de fallas en el funcionamiento de un nuevo producto tecnológico,
- Mayor es mejor, son características donde el ideal es que el atributo tienda a infinito, ejemplo, la distancia recorrida por un automóvil por galón de combustible [16].

La función de pérdida tipo nominal es mejor, utilizada en nuestro enfoque propuesto se puede observar en la Figura 1.

La interpretación de la Figura 1, es la base del planteamiento de Taguchi donde no importa si el valor de la muestra está dentro de los límites, porque aún sigue existiendo una pérdida por no ser el valor objetivo. De hecho, para que exista una pérdida de cero el único valor de la muestra aceptable es el *Target*, indicando que hay una alta calidad porque la muestra tomada es igual al valor

deseado. Del mismo modo, se puede apreciar que la pérdida es mayor cuando el valor de la muestra es uno de los límites, ya sea el superior USL o el inferior LSL, por sus siglas en inglés *upper specification limit* y *lower specification limit*, respectivamente.

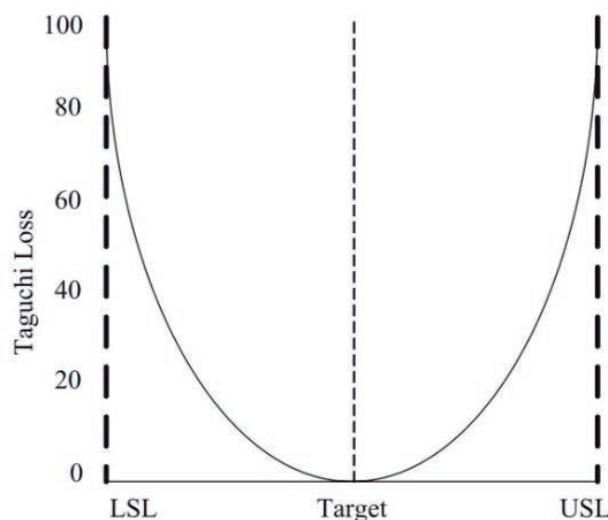


Figura 1. Función de Pérdida de Taguchi, Nominal es Mejor [17]

B. Redes Neuronales Artificiales

Las redes neuronales artificiales aparecieron por primera vez, en 1943, gracias al trabajo del neurofisiológico Warren McCulloch y Walter Pitts, donde demostraron una mayor eficiencia en la resolución de problemas de las redes frente a los algoritmos convencionales, debido a su alta capacidad de adaptación y aprendizaje [18].

El éxito de las redes neuronales artificiales se sustenta en la similitud que guardan con el funcionamiento de las neuronas biológicas en el cerebro, donde el almacenamiento de información entre conexiones, la transmisión de señales entre neuronas y el aprendizaje con el ejemplo son los factores de éxito [19].

Algunos de los elementos a destacar en el diseño de la arquitectura de una red neuronal son las neuronas que almacenan información, las cuales se observan en el caso ilustrativo de la Figura 2. Del mismo modo, las redes trabajan con pesos sinápticos w que simulan las conexiones entre neuronas y cumplen con el papel de compartir la información de aprendizaje. Los bias b ,

representan una neurona que siempre está activa y tiene como función simplificar el sistema de entrenamiento, teniendo como fin que los *outputs* coincidan con los *targets*.

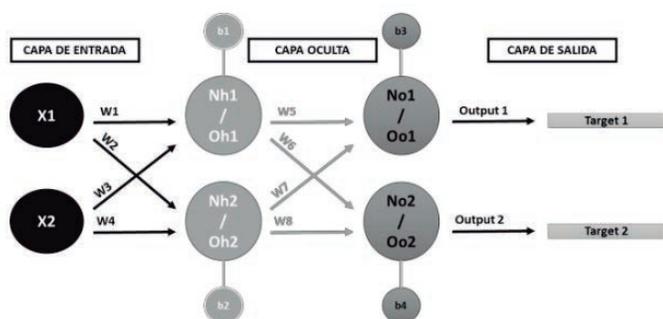


Figura 2. Arquitectura de una red neuronal artificial

El indicador de aprendizaje, el cual se utiliza tradicionalmente en el desarrollo de las redes neuronales para determinar la pérdida del error a lo largo de las iteraciones es el error cuadrático medio [20], el cual es ampliamente utilizado por su capacidad de evaluar la desviación del estado actual o bien la diferencia entre el patrón de salida y el patrón real de ingreso [21] [22].

III. ENFOQUE PROPUESTO

Para el desarrollo del indicador propuesto en este documento se relacionan tres temáticas importantes de investigación: A) La función de pérdida de Taguchi como indicador de aprendizaje, B) Las redes neuronales como herramienta de clasificación, y, C) Las hojas de Excel como parámetros de restricción en la capacidad de procesamiento de datos.

Cada una de estas temáticas cumple con un papel importante en el desarrollo del indicador y la validación del comportamiento del error en la red neuronal artificial.

Para la integración de la función de pérdida como indicador de aprendizaje en una red, la expresión matemática utilizada es tipo nominal es mejor (1), debido a que los procesos de este tipo, se caracterizan por tener valores de tolerancia en

ambos sentidos, ya sean mayores o menores al target definido en la producción; y esto guarda una relación con el aprendizaje de la red, ya que los outputs de la capa de salida pueden ser mayores o menores al target definido durante la etapa de aprendizaje.

Por lo tanto, las expresiones (1) y (2), tienen una relación basada en la similitud del valor objetivo para ambos contextos, siendo *m* el objetivo en un proceso tipo nominal es mejor, y el target como la salida esperada para una red neuronal artificial.

$$L(Y) = k*(y-m)^2 \quad (1)$$

$$L(Y) = k*(output-target)^2 \quad (2)$$

De este modo, la desviación cuadrática media para la función de pérdida $L(Y)$ en los procesos de producción quedaría relacionada y explicada por las salidas y valores objetivos en una red neuronal. Otro valor a ser tenido en cuenta es la constante *k* en $L(Y)$, donde *k* en (3), es la relación que representa la pérdida económica que sufre la organización por producto defectuoso *A*, sobre la tolerancia del producto al cuadrado Δ^2 .

$$k = A / \Delta^2 \quad (3)$$

En el enfoque propuesto es fundamental la conceptualización de la constante de pérdida *k* como la constante de capacidad utilizada. En este punto es donde tiene relevancia la capacidad y las restricciones en las hojas de cálculo de Excel, donde uno de sus límites a destacar en este enfoque son las 17.179'869.184 celdas disponibles en la hoja de cálculo; equivalentes a la multiplicación de 1'048.576 de filas por 16.384 columnas. A primera impresión parece que el número de celdas disponibles no debe ser un inconveniente por su magnitud, pero lo que nos interesa en este artículo es poder definir la capacidad utilizada y la capacidad máxima de Excel. La idea es que este parámetro pueda ser generalizado y utilizado en otros sistemas de cómputo donde también se incluyan las redes neuronales artificiales como herramienta de clasificación.

Por tal motivo, la constante de capacidad k utilizada en este caso de Excel, puede ser entendida como la razón entre la cantidad de celdas usadas para los cálculos en el desarrollo de la red y el número total de celdas disponibles en una hoja de cálculo. Haciendo una relación con el parámetro k mencionado en (3), el costo que paga la organización por producto defectuoso A puede ser entendido por el costo de tiempo y procesamiento de efectuar los cálculos en una celda de Excel, la cual estaría determinada por la cantidad de celdas utilizadas en el desarrollo de la red y que se llamará Q_r . De igual manera, la tolerancia Δ vista como el máximo rango de desviación entre los límites superior e inferior en la producción, puede ser entendida como la máxima cantidad de celdas a ser utilizadas en una hoja de cálculo la cual llamaremos Q .

De tal manera, guardando la relación con la estructura de la ecuación (3), se propone la ecuación (4) para determinar la capacidad utilizada en los sistemas de cómputo, siendo para nuestro caso el de Excel.

$$k = Q_r / Qr^2 \quad (4)$$

Por lo que, sustituyendo la ecuación (4) en (2), obtenemos la ecuación (5) que guarda relación de los conceptos de la función de pérdida, ajustada a los parámetros que definen la capacidad utilizada de Excel y finalmente obtenemos el nuevo indicador de aprendizaje que será utilizado en el desarrollo de una red neuronal artificial en Excel.

La Tabla 1 detalla la simbología de la ecuación (5).

$$L(Y) = (Q_r / Qr^2) * (output - target)^2 \quad (5)$$

Tabla 1. Simbología

<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>
$L(Y)$	Función de pérdida
Q_r	Número de celdas utilizadas en el desarrollo de la red
Q_t	Número total de celdas en una hoja de cálculo de Excel
<i>output</i>	Salida en cada iteración
<i>target</i>	Valor objetivo en cada iteración

IV. METODOLOGÍA

A. Metodología

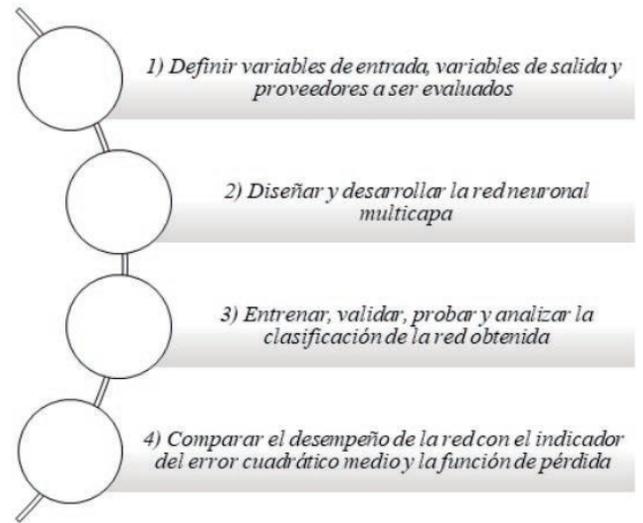


Figura 3. Metodología

B. Desarrollo

- Definir variables de entrada, variables de salida y proveedores a ser evaluados.

VARIABLES DE ENTRADA								
X1 - DISTANCIA (Kms)			X2 - ENTREGA (Días)			X3 - FINANCIAMIENTO (Días)		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
0-10	10-25	>25	1	1-4	>4	>10	4-10	<4
0,99	0,66	0,33	0,99	0,66	0,33	0,99	0,66	0,33
X4 = UTILIDAD (%)			X5 = PROMOCIÓN (%)			X6 = EXPERIENCIA (Meses)		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
>15	11-15	<11	>24	16-24	<16	>60	30-60	<30
0,99	0,66	0,33	0,99	0,66	0,33	0,99	0,66	0,33

Figura 4. Variables de entrada con su respectivo condicional.

	VALORES REALES						CLASIFICACIÓN A-B-C						PROMEDIO	VARIABLES DE SALIDA
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X1	X2	X3	X4	X5	X6		
PROVEEDOR 1	1,9	3	1	15	15	18	0,99	0,66	0,33	0,66	0,33	0,33	0,55	TIPO C
PROVEEDOR 2	2,2	1	1	15	20	36	0,99	0,99	0,33	0,66	0,66	0,66	0,72	TIPO B
PROVEEDOR 3	2,8	3	1	10	15	36	0,99	0,66	0,33	0,33	0,33	0,66	0,55	TIPO C
PROVEEDOR 4	3,5	8	8	20	25	84	0,99	0,33	0,66	0,99	0,99	0,99	0,83	TIPO A
PROVEEDOR 5	7,5	3	8	15	20	30	0,99	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,72	TIPO B
PROVEEDOR 6	8,2	3	8	15	25	72	0,99	0,66	0,66	0,66	0,99	0,99	0,83	TIPO A
PROVEEDOR 7	17,1	1	8	10	10	48	0,66	0,99	0,66	0,33	0,33	0,66	0,61	TIPO C
PROVEEDOR 8	23,7	8	1	10	10	30	0,66	0,33	0,33	0,33	0,33	0,66	0,44	TIPO C
PROVEEDOR 9	42,5	3	8	15	25	72	0,33	0,66	0,66	0,66	0,99	0,99	0,72	TIPO B
PROVEEDOR 10	355	15	15	15	30	96	0,33	0,33	0,99	0,66	0,99	0,99	0,72	TIPO B

Figura 5. Variables de salida y proveedores.

Las variables de entrada fueron definidas en conjunto por los dueños de las tiendas de conveniencia como los principales factores que se tienen en cuenta al momento de decidir a qué proveedor comprarle. Los condicionales fueron clasificados en la Figura 4, en tres tipos A, B y C con sus respectivos valores de 0.99, 0.66 y 0.33, con el fin de estandarizar todas las variables en una misma medida de evaluación.

Para definir las variables de salida en la Figura 5, se utilizó el promedio de las evaluaciones de la clasificación A-B-C de los diez proveedores que encuestados. Si el promedio tiene valores mayores a 0.8, el proveedor es considerado como una excelente selección o sea tipo A. Del mismo modo, si el promedio esta entre 0.7 y 0.8 el proveedor es considerado bueno o tipo B, por consiguiente, si el promedio es menor a 0.7 el proveedor es considerado como el de más baja calificación y no debería ser tenido en cuenta en la selección, a menos que los otros proveedores no puedan satisfacer la demanda.

• *Diseñar y desarrollar la red neuronal multicapa*

Para el diseño de la red neuronal de la Figura 6, se utilizó una arquitectura tipo 6-3-1, con 6 neuronas en la capa de entrada equivalentes a los criterios para evaluar los proveedores, 3 neuronas en la capa oculta y 1 neurona en la capa de salida

En la Figura 6, también se establecen las conexiones de los pesos sinópticos, los bias y la relación del *output* y el *target*.

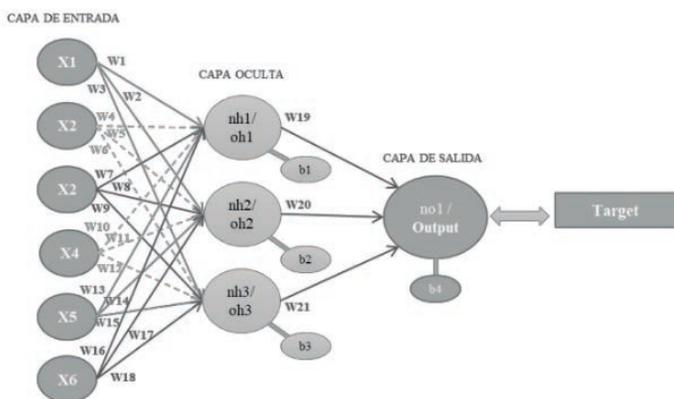


Figura 6. Arquitectura de la red tipo 6-3-1.

	IT.	X1	X2	X3	X4	X5	X6	OUTPUT	TARGET	ECM	EPIA
PROVEEDOR 4	1	0,99	0,33	0,66	0,99	0,99	0,99	0,91	0,99	0,00	0,00
PROVEEDOR 6	2	0,99	0,66	0,66	0,66	0,99	0,99	0,91	0,99	0,00	0,00
PROVEEDOR 2	3	0,99	0,99	0,33	0,66	0,66	0,66	0,91	0,66	0,03	0,02
PROVEEDOR 5	4	0,99	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,90	0,66	0,03	0,01
PROVEEDOR 1	5	0,99	0,66	0,33	0,66	0,33	0,33	0,90	0,33	0,16	0,08
PROVEEDOR 3	6	0,99	0,66	0,33	0,33	0,33	0,66	0,89	0,33	0,16	0,08
PROVEEDOR 7	7	0,66	0,99	0,66	0,33	0,33	0,66	0,89	0,33	0,16	0,08

Figura 7. Desarrollo de la red neuronal multicapa.

Una de las etapas más importantes en el desarrollo de la red neuronal es definir los patrones de entrenamiento correctos para que la red comience a entrenar. Después de muchas pruebas los patrones que alcanzan la máxima eficacia de la red están plasmados en la Figura 7. El criterio utilizado para este orden fue ubicar en las dos primeras iteraciones proveedores tipo A, como lo son el 4 y 6, seguido de dos proveedores tipo B, como fue el caso de 2 y 5, y, para completar los 7 patrones de entrenamiento equivalentes al 70% de los proveedores siguiendo las recomendaciones de la literatura, se ubican en las iteraciones 5, 6 y 7, los proveedores 1, 3 y 7 respectivamente.

• *Entrenar, validar, probar y analizar la clasificación de la red obtenida.*

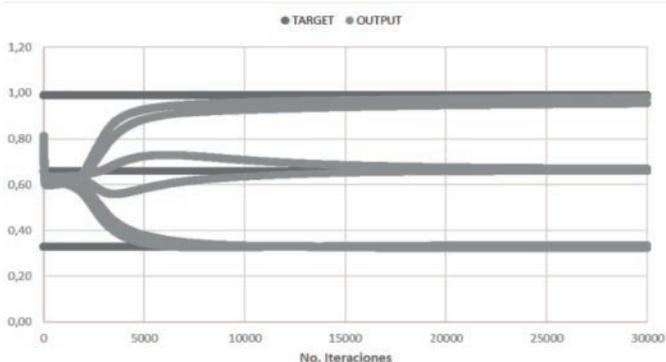


Figura 8. Aprendizaje de la red.

Después de entrenada la red, se observa en la Figura 8 su rápido aprendizaje, pues cerca de la iteración 3.000, la red comienza a abrir sus *outputs* a los *targets* propuestos. Asimismo, se puede considerar que la red aprendió a partir de la iteración 15.000 donde mantiene un comportamiento similar.

La validación y prueba de la red en la Figura 9, reivindica el aprendizaje de la red, pues en son

ambas etapas se obtuvieron resultados de eficacia del 100%. Los rangos para definir si un *output* es correcto al ser comparado con el *target* son los siguientes: Si el *output* esta entre 0.23 y 0.43 está indicando que el proveedor es tipo C, del mismo modo, si esta entre 0.56 y 0.76 el proveedor es tipo B, y, por lo tanto, si esta entre 0.79 y 0.99 es un proveedor tipo A.

VALIDACIÓN

PROV.	X1	X2	X3	X4	X5	X6	OUTPUT	TARGET
#9	0,33	0,66	0,66	0,66	0,99	0,99	0.67	0.66
#10	0,33	0,33	0,99	0,66	0,99	0,99	0.70	0.66

PROV.	CLASIFICACIÓN	RED	RESULTADO
#9	TIPO B	TIPO B	100%
#10	TIPO B	TIPO B	100%

PRUEBA

PROV.	X1	X2	X3	X4	X5	X6	OUTPUT	TARGET
#8	0,66	0,33	0,33	0,33	0,33	0,66	0.37	0.33

PROV.	CLASIFICACIÓN	RED	RESULTADO
#8	TIPO C	TIPO C	100%

Figura 9. Validación y prueba de la red

En la etapa de validación los proveedores a ser evaluados son el 9 y 10, los cuales tienen como *target* un valor de 0.66 correspondiente a una clasificación tipo B, y, en sus *outputs* los resultados son de 0.67 y 0.70 respectivamente, entrando en el rango correspondiente al proveedor tipo B, por lo que su resultado es del 100%.

Asimismo, para la etapa de prueba el proveedor evaluado fue el 8 con una clasificación tipo C, y en su salida se obtuvo un 0.37 correspondiente al rango C, afirmando el 100% de aprendizaje alcanzado por la red.

La precisión en la clasificación por parte de la red se puede observar en la Figura 10, donde se ilustra el comportamiento de la red en su última iteración. De esta manera, se puede comprobar gráficamente el correcto aprendizaje de la red, y su eficiencia se puede identificar en la casi perfecta salida de la red con la clasificación A-B-C.

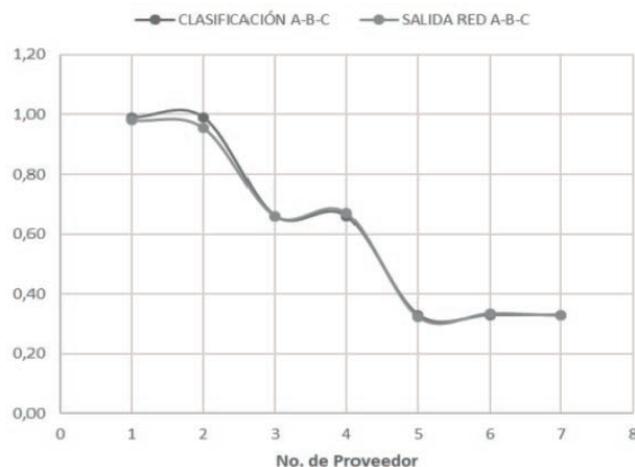


Figura 10. Última iteración de la red

- Comparar el desempeño de la red con el indicador del error cuadrático medio y la función de pérdida. El comportamiento del error para la red neuronal multicapa propuesta para la clasificación de proveedores, es ilustrado en la Figura 11 con el indicador tradicional del error cuadrático medio, mostrando un aprendizaje rápido, puesto que el indicador en las primeras iteraciones es cercano a 0,08 y rápidamente llega al 0,01 en las 5.000 primeras iteraciones. También es ilustrado el indicador de aprendizaje propuesto con la función de pérdida en la Figura 12, donde el indicador es dado en notación científica para facilitar su entendimiento visual, ya que estos valores tienen entre 5 y 7 decimales.

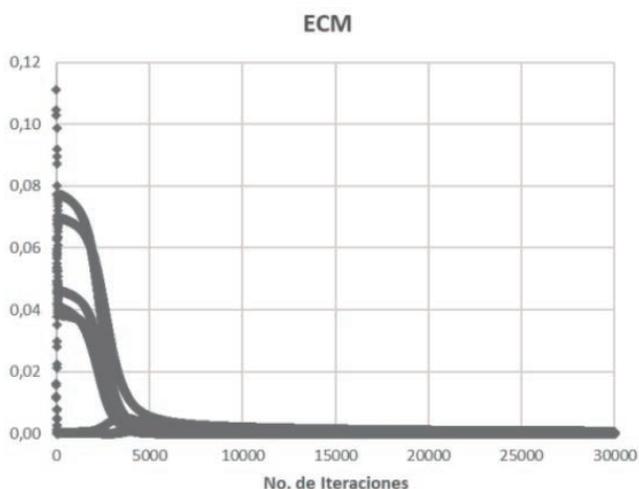


Figura 11. Comportamiento del ECM.

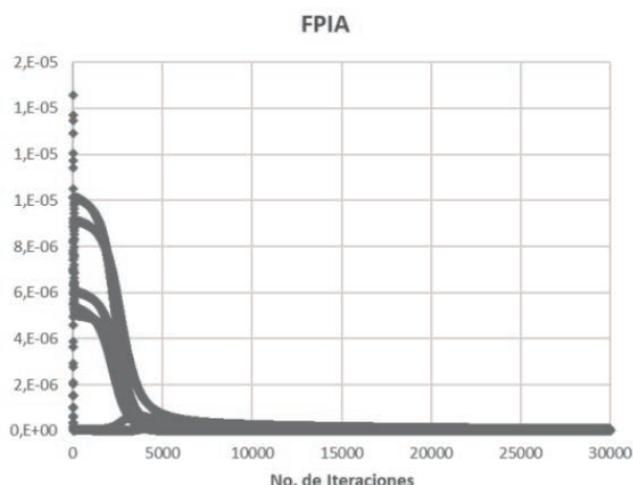


Figura 12. Comportamiento de la FPIA

Gráficamente, el error de la red neuronal tiene el mismo comportamiento en el desempeño de la red para los dos indicadores, demostrando así, su correcta interpretación y aplicación del nuevo indicador propuesta; su única diferencia, radica en las unidades del eje vertical, la cual es el valor agregado en este trabajo, ya que para nuestro indicador FPIA, las unidades reflejan, además del error, la relación de la capacidad utilizada contra la capacidad total del sistema de cómputo que en nuestro caso es la hoja de Excel.

V. RESULTADOS

A. Resumen de resultados

En este trabajo se conceptualizó la constante k de la función de pérdida de Taguchi como una constante que puede medir la capacidad utilizada en relación a la capacidad total siendo en este caso para una hoja de cálculo de Excel.

Se definió la ecuación (5) como un nuevo indicador de aprendizaje en el desarrollo de redes neuronales, integrando diferentes temáticas como lo son: La función de pérdida tipo nominal es mejor, las redes neuronales tipo perceptrón multicapa y la capacidad de Excel como herramienta para el desarrollo de la red.

La correcta aplicación y similitud en el comportamiento gráfico de la función de pérdida como indicador de aprendizaje (FPIA) con el indicador tradicional del error cuadrático medio (ECM), justifica la utilización del FPIA como indicador en el desempeño del diseño de redes neuronales en cualquier lenguaje de programación.

La red neuronal multicapa diseñada y desarrollada para la clasificación de proveedores trabaja al 100% de eficiencia en las tres etapas de entrenamiento, validación y prueba, con un total de 30.000 iteraciones. Pudiendo ser replicada en cualquier sector en pequeñas y grandes empresas, por su facilidad para la selección de los proveedores idóneos que permitan crear cadenas de suministro seguras y resistentes.

Excel es una herramienta muy eficiente para el análisis y el entendimiento del comportamiento de las redes neuronales, pues los datos a lo largo de las iteraciones se conservan y permiten ser graficados para ilustrar el aprendizaje de la red. Además, al ser Excel una aplicación práctica en su uso, facilita la comunicación de las personas dedicadas al entorno académico y el productivo.

B. Recomendaciones

Para futuros trabajos en diferentes lenguajes de programación, se sugiere prestar atención al valor de la constante k , en especial a las variables Q_r y Q_t las cuales deben estar conceptualizadas en las mismas unidades.

En el desarrollo de la red neuronal, se recomienda realizar varias pruebas con diferentes patrones de entrenamiento, puesto que después de varias pruebas se puede determinar el orden de los patrones indicado para que la red aprenda más rápido.

La definición de las variables de entrada en este caso los atributos a ser evaluados en la selección de proveedores, de preferencia deben ser evaluadas por diferentes grupos de interés y contrastados con la literatura, para que así, el diseño de la red y las expresiones matemáticas

reflejen de la mejor manera el entorno real, evitando el sesgo hacia un grupo de interés en la toma de decisiones.

REFERENCIAS

- [1] P. Michael, "Ventaja competitiva: creación y sostenimiento de un desempeño superior," Grupo Editorial Patria, 1900.
- [2] K. Manoj, V. Prem, S. Ravi, "A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain," *Computers & industrial engineering*, 2004, vol. 46, no 1, p. 69-85.
- [3] S. Roy, H. James, "Logistics Strategy: cases and concepts," West Group, 1985.
- [4] Ž. Jacek, "Comparative analysis of multiple criteria evaluations of suppliers in different industries," *Transportation Research Procedia*, Vol. 10, pp. 809-819, 2015.
- [5] K. Jitendra, R. Nirjhar, "A hybrid method for vendor selection using neural network," *International Journal of Computer Applications*, Vol. 11, No. 12, p. 35-40, 2010.
- [6] T. Ertay, A. Kahveci, R. Tabanlı, "An integrated multi-criteria group decision-making approach to efficient supplier selection and clustering using fuzzy preference relations," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 24, No. 12, p. 1152-1167, 2011.
- [7] N. Mahamad, M. Amin, "Power prediction analysis using artificial neural network in MS Excel," *Latest Trends in Renewable Energy and Environmental Informatics*, 2013, p. 54-58.
- [8] J. Clark, "Neural networks: New tools for modelling and data analysis in science," In *Scientific Applications of Neural Nets*, pp. 1-96, 1999. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [9] D. Rumelhart, J. McClelland, "Explorations in the Micro-Structure of Cognition," *Parallel Distributed Processing* 1. 1986.
- [10] A. Jain, J. Mao, K. Mohiuddin, "Artificial neural networks: A tutorial," *Computer*, 1996, no 3, p. 31-44.
- [11] W. David, "Neural network credit scoring models," *Computers & Operations Research*, 2000, vol. 27, no 11-12, p. 1131-1152.
- [12] R. Francisco, "Taguchi: La Calidad en cifras. Qualitas hodie: Excelencia, desarrollo sostenible e innovación," 2003, no 89, p. 76-78.
- [13] Y. Enrique, M. Fernando, Q. Hugo, P. Matías, "El diseño experimental y los métodos de Taguchi: Conceptos y aplicaciones en la industria farmacéutica," *Serie Documentos de Trabajo*, 2004.
- [14] T. Genichi, "Introducción a la ingeniería de calidad," Monterrey: Centro de Calidad, DGI- ITESM, 1987.
- [15] J. Lluís, "El secreto de la calidad japonesa: el diseño de experimentos clásico, Taguchi y Shainin," Marcombo. Barcelona, España, 1993.
- [16] T. Genichi, C. Subir, W. Yuin, "Taguchi's quality engineering handbook," Wiley, 2005.
- [17] K. Bryan, W. Bennie, F. Troy, "Improving customer service in the real estate industry: a property selection model using Taguchi loss functions," *Total Quality Management*, 2002, vol. 13, no 6, p. 739-748.
- [18] C. Grosan, A. Abraham, "Artificial Neural Networks. In: Intelligent Systems," *Intelligent Systems Reference Library*, Vol. 17, 2011. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [19] M. Marvin, P. Seymour, "Perceptrons: An introduction to computational geometry," MIT press, 2017.
- [20] A. Cesare, R. Cosimo, P. Vincenzo, "A neural-network based control solution to air-fuel ratio control for automotive fuel-injection systems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 2003, vol. 33, no 2, p. 259-268.
- [21] S. Guangqing, S. Chunhua, "Application of BP neural network for predicting anode accuracy in ECM," *International Symposium on Information Science and Engineering. IEEE*, 2008. p. 428-432.
- [22] X. Dongkuan, Z. Yi, C. Cheng, X. Wei, Z. Likuan, "A neural network-based ensemble prediction using PMRS and ECM," *47th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE*, 2014. p. 1335-1343

Distribución detallista de mercancías de consumo de rápido movimiento: caracterización de una unidad de análisis

Raul Soto-Peredo

*Departamento de Ingeniería de Sistemas,
Facultad de Ingeniería – UNAM. Ciudad de México
raul.soto@comunidad.unam.mx*

Reyna Isabel Gayosso García

*Departamento de Ingeniería de Sistemas,
Facultad de Ingeniería – UNAM. Ciudad de México
rgayossog@yahoo.com.mx*

Benito Sánchez-Lara

*Departamento de Ingeniería de Sistemas,
Facultad de Ingeniería – UNAM. Ciudad de México
blara@unam.mx*

Resumen — El comercio minorista tradicional en México recibe diferentes nombres: changarros, tiendas de barrio, tiendas de proximidad, pequeño minorista independiente, entre otros. En el contexto internacional Blanco & Fransoo [3] empezaron a llamar a estas unidades económicas nanostores. Como unidades económicas estas cumplen con dos funciones identificables, son fuentes de empleo como microempresas que son y son el canal de distribución dominante para las mercancías de consumo de rápido movimiento (Fast Moving Consumer Goods – FMCG), esto de acuerdo con Euromonitor International [10]. También cumplen con una función social; su permanencia en el mercado está ligada al ajuste con las necesidades, la experiencia de compra y la proximidad a sus clientes [7] y [8]. Aunado a las funciones que cumplen, por su número y dispersión detonan externalidades negativas asociadas al aprovisionamiento de las mercancías que distribuyen, entre las externalidades están: congestión y privatización del espacio público. En este contexto, el propósito de este artículo es reportar avances respecto de la caracterización de estas unidades importantes en la distribución minorista, en el ámbito mexicano, considerándolas unidades de análisis para investigaciones sobre estrategias de distribución y políticas públicas con enfoque de Logística Urbana.

Palabras Clave— comercio minorista, FMCG, logística urbana, nanostores, tienditas.

I. INTRODUCCION

El comercio minorista tradicional en México recibe diferentes nombres: changarros, tiendas de barrio, tiendas de proximidad, pequeño minorista independiente, entre otros. En el contexto internacional Blanco & Fransoo [3] llaman a estas unidades económicas *nanostores*.

Tomando en cuenta el esfuerzo que han hecho Blanco & Fransoo [3] para definir estas unidades económicas, en adelante se utilizará el término *nanostores* para referirse a ellas, aunque el propósito del presente trabajo, implique su caracterización y con ello la formulación de una definición particular. A continuación, se presenta un conjunto de rasgos o características que aportan diferentes autores respecto de las *nanostores*.

Para Blanco & Fransoo [3] las *nanostores* son negocios familiares, que se apoyan en el conocimiento empírico para su administración y realizan sus operaciones mediante el manejo de efectivo, principalmente, y crédito informal; cuentan con un piso de venta menor a 100 m², el principal producto para este tipo de negocio son las mercancías de consumo de rápido movimiento (Fast Moving Consumer Goods – FMCG) y la diversidad de productos es de unos cuantos cientos; su abasto se realiza por medio de proveedores o distribuidores directos, así como por el abasto propio por medio de mayoristas. En cuanto a sus clientes, éstos se ubican en la proximidad de la unidad de negocio, suelen ser unos cientos y realizan visitas diarias o con una alta frecuencia, habitualmente no tienen auto propio. Los mismos Blanco & Fransoo [3] destacan que el número de *nanostores* es muy grande y que geográficamente están dispersas.

Boulaksil & Belkora [5], también las llaman *nanostores* y destacan de ellas que son unidades de negocio que ofrecen servicio de 10 a 18 horas continuas.

Ramakrishnan [16], por su lado, asume a estas unidades económicas como *pequeños minoristas*

independientes (en inglés *small independent retail*) y hace un símil con las *nanostores*, particulariza en dos características: que tienen un piso de venta de hasta 50 m² y que sus clientes son los vecinos a ellas.

Castillo Girón & Ayala Ramírez [6], a partir de un estudio realizado en la zona metropolitana de Guadalajara para caracterizar las denominadas como *tienda de barrio* o *comercio tradicional*, encontraron que éstas son, en general, empresas familiares, que llevan operando entre 2 y 10 años, que cuentan con no más de 5 empleados.

Por tanto, se les puede clasificar como microempresas que tienen limitada capacidad de almacenamiento y que hacen poco o un uso nulo de tecnología.

Runyan & Droge [17] considerando que estas unidades económicas constituyen un conjunto llamado *pequeño minorista* (en inglés *small retail*) que encuentran en éste dos rasgos no muy claros: son de propiedad y operación independiente y no son dominantes en su campo de operación.

Finalmente, D'Andrea, López-Alemán & Stengel [8] son más amplios en la descripción del pequeño minorista. Consideran a este conjunto como una organización de una o más tiendas que es propiedad y está operada por un individuo o individuos, donde las operaciones permiten la participación personal cercana y continua.

Su ubicación facilita que los consumidores se desplacen a ella y puedan realizar varias visitas o compras en un mismo día. Los productos y sus presentaciones son suficientemente variados pensando en la satisfacción de los clientes, incluso ofrece productos en presentaciones que habitualmente no se encuentran en otras organizaciones, presentaciones pequeñas en volumen o peso.

Como es notorio al comercio minorista tradicional, representado por las *nanostores*, se le ha asociado un conjunto de atributos identificadores que reflejan

quiénes las poseen y conducen, además de cómo operan. Esto, deja de lado atributos más bien sistémicos, esto es, aquellos que tienen origen en las interrelaciones que tienen con clientes, proveedores y otros agentes involucrados, además de aquellos que tienen origen en la interacción que tienen con elementos contextuales.

Un aspecto relevante a considerar es el conjunto de externalidades positivas y negativas que genera su existencia y operación.

Con base en lo anterior, el propósito de este artículo es reportar avances respecto de la caracterización de las *nanostores* como unidades económicas importantes en la distribución minorista, en el ámbito mexicano, considerándolas unidades de análisis para investigaciones relacionadas a estrategias de distribución y políticas públicas con enfoque de logística urbana.

Los avances que se presentan corresponden a las características de las *nanostores* mexicanas a partir de definir las como unidades de análisis y documentar su naturaleza, rasgos e implicaciones de su funcionamiento. Además, de proponer líneas de investigación tomándolas como unidades de análisis.

II. LAS NANOSTORES MEXICANAS COMO UNIDADES DE ANÁLISIS.

Como ya se describió, son diferentes las formas de llamar a las unidades económicas encargadas de la distribución detallista de FMCG en áreas urbanas: *nanostores*, pequeños minoristas independientes, tienda de barrio, comercio tradicional, pequeño minorista, tiendas de proximidad, tiendas de abarrotes y, según INEGI [13], comercio al por menor en tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas.

Esta diversidad no facilita su descripción y estudio. Si bien hay coincidencias en algunos de los términos usados por los diferentes autores no siempre se refieren a la misma característica.

Teniendo como marco el desarrollo de estrategias de distribución detallista o en la última milla dirigidas a las *nanostores*, consideramos que estas son unidades de análisis.

Esta consideración no es la que en general se asume en los trabajos de investigación sobre distribución, en general, la distribución se aborda con una perspectiva optimizante, considerando como unidad de análisis a las propias empresas distribuidoras. La Figura 1, resume dichas consideraciones. A continuación, se explica.

Bajo un enfoque de la logística urbana, el estudio de la distribución considera agentes de su entorno pero fundamentalmente las externalidades negativas que generan estos, entre las externalidades más consideradas son:

La congestión, la seguridad vial, la emisión de contaminantes y el ahorro energético.

Con este enfoque, el principal propósito es reducir los costos logísticos de los actores privados:

Productores, transportistas, proveedores de servicios, etc., así como mitigar las externalidades negativas provocadas por ellos. La mitigación es, en general, una prioridad del sector público [11] y [20].

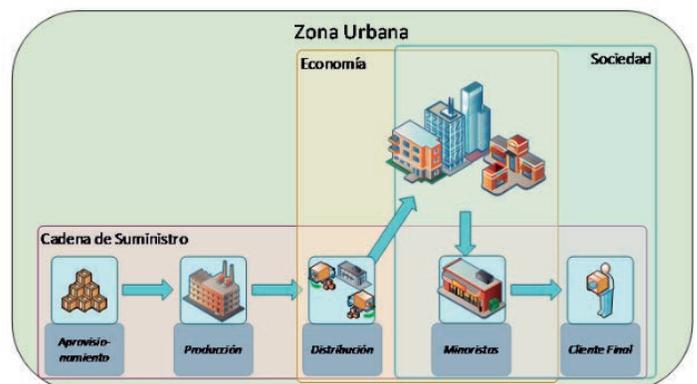


Figura 2. Interrelaciones directas de la *nanostore*

Bajo la perspectiva del problema de la distribución en la última milla, el transporte de mercancías suele estar configurado como parte de un sistema de distribución donde los actores principales son productores, distribuidores mayoristas y minoristas. Las relaciones entre estos actores se dan por contratos, los volúmenes de mercancías que se

intercambian son altos (por esta razón se excluye a las *nanostores*) por lo que se busca el uso eficiente de los vehículos utilizados para el transporte y la distribución, además de optimizar otros recursos o infraestructura [19].

Desde los enfoques señalados, el rol de las *nanostores* es el de destinatarios, pareciera que no participan, no se reconocen como unidades de análisis. Los otros agentes señalados comparten el interés de hacer llegar los bienes hasta el cliente, las *nanostores* son el último eslabón en la cadena de suministro. Los agentes privados buscan incrementar su eficiencia individual mientras que los agentes públicos (que representan el interés público) buscan reducir los costos de las externalidades, en general, a partir de soluciones de orden normativo. Esto plantea un conflicto de intereses.

Es de interés mencionar datos asociados a los agentes públicos y privados involucrados en la distribución dirigida a las *nanostores*, por ejemplo, respecto de los costos de distribución en la última milla estos constituyen aproximadamente el 30%. Por otra parte, la distribución de mercancías consume alrededor de 50% de los combustibles consumidos en las ciudades [2]. Además, considerando que la distribución de mercancías implica el uso de vehículos, en general de grandes dimensiones y peso que se asocia a externalidades como seguridad vial, congestión, accesibilidad, ruido y vibraciones, son estos vehículos los que generan entre el 30 y 50% de los contaminantes en áreas urbanas [14]. Estos datos justifican el interés por la reducción de costos y por la mitigación de las externalidades negativas.

Bajo un enfoque que incluya a las *nanostores*, esto es, microscópico, los componentes relevantes son las *nanostores* y los clientes de estas. De esta relación, surgen fortalezas en la distribución y que las hacen atractivas para los clientes, como: precio, experiencia de compra y proximidad. Véase la Tabla 1. Algunos atributos a considerar de esta relación son que las *nanostores* conforman el tejido social y asumen funciones económicas y de financiamiento

con sus clientes, a partir de los préstamos informales que otorgan y las fuentes de empleo que ofrecen.

Tabla 1. Fortalezas de las *nanostores*, producto de su relación con sus clientes

Presentación de productos vs precio.	Las <i>nanostores</i> suelen hacer ventas de productos individuales o en presentaciones “pequeñas” lo cual para sus clientes significa requerir de menos efectivo para la compra. Pareciera que son competitivas por precio, sin embargo, en términos netos los productos pueden llegar a ser más caros.
Experiencia de compra	En general, los propietarios de las <i>nanostores</i> conocen personalmente a sus clientes y les facilitan créditos informales. Además, funcionan como puntos de reunión vecinal o comunitaria.
Proximidad	Las <i>nanostores</i> les ahorran a sus clientes tiempos de traslado, tanto para hacerse de los productos como para llegar a ella. Las <i>nanostores</i> atienden a grupos pequeños de vecinos.

Fuente: Elaborado a partir de [3], [7] y [8].

Las fortalezas descritas antes determinan el nivel de servicio percibido por los clientes de las *nanostores*. Sin embargo, esta relación virtuosa puede incidir en el desempeño de la *nanostore* como negocio de una manera no virtuosa. De la misma manera incide en su ambiente local. Véase la Figura 2.

A continuación, se describen algunos aspectos a considerar:

- El proceso de aprovisionamiento de la mercancía, entre ellos el almacenaje y la propia distribución. El almacenaje facilita o limita la presencia y disponibilidad de productos, marcas o presentaciones. La distribución a la vez que genera congestionamiento se ve afectada por este mismo. Es decir, es un proceso generador y a la vez afectable de la congestión.
- El apalancamiento financiero que proveen las *nanostores* por préstamos informales sumado a los recursos financieros limitados con los que operan, restringen su capacidad de compra lo que incide en su nivel de competitividad y en la capacidad de negociación con los proveedores.

- Las pocas barreras para ingresar a este segmento de mercado puede aumentar el número de competidores y, por tanto, la competencia lo que reduce los márgenes de ganancia. La competencia incentiva desempeños eficientes y niveles de servicio competitivos. La tasa de *nanostores* creadas es alto lo mismo que su tasa de mortandad.

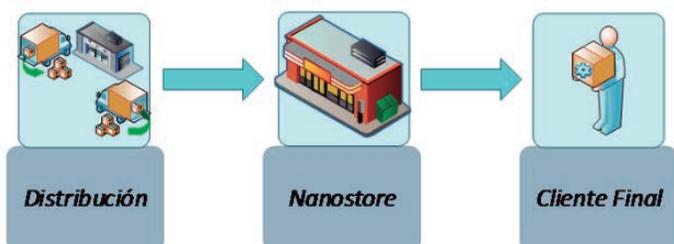


Figura 2. Interrelaciones directas de la *nanostore*

Recapitulando, los primeros dos enfoques descritos no consideran a las nanostores más que como destinatarios de las mercancías por lo que las propuestas que se hacen no están enfocadas en su mejoramiento. Con el tercer enfoque, las nanostores y su relación con el cliente final se vuelve relevante, se hace imprescindible coleccionar información sobre ellas y su participación en las cadenas de suministro de los FMCG.

III. MARCO METODOLÓGICO TENIENDO COMO UNIDAD DE ANÁLISIS A LAS NANOSTORES

Desde la perspectiva de investigación cualitativa propuesta por Yin [23] una unidad de análisis debe cumplir con tres criterios:

- de una unidad de análisis es posible coleccionar datos/información;
- a partir de la formulación de proposiciones sobre la unidad de análisis es posible identificar información relevante (para evitar coleccionar cualquier tipo de información); y,
- la definición de unidad de análisis está ligada a la forma que toman las preguntas de investigación.

Considerando a las nanostores como unidades de análisis, a continuación, se describen los elementos a tomar en cuenta para su estudio.

A. Datos/información a coleccionar

En el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) [12], se tiene la información disponible: Nombre de la unidad económica, personal ocupado (estrato), domicilio, AGEB (área geográfica delimitada que denota la entidad federativa, municipio, área geográfica e, incluso, manzana) y ubicación geográfica (latitud y longitud).

Sin embargo, se considera relevante conocer verificar y actualizar aspectos como:

Datos económicos y de localización. Se sabe que el DENUE cuenta con esta información pero la fuente es el Censo Económico 2014, dada la mortandad de las *nanostores* es de esperar error en el número y distribución. En México el 75% de nuevas empresas cierran sus operaciones antes de dos años [1], por lo que es de esperar cambios drásticos entre cada censo económico. Con estos datos es posible identificar la distribución y concentración espacial de las *nanostores*.

Entorno y proximidad. El entorno en el que se ubican las *nanostores* condiciona de alguna manera el consumo de cierto conjunto de bienes y por lo tanto el perfil de sus clientes. Es lógico pensar, por ejemplo, que las nanostores cercanas a zonas de ocio y recreo venden un mayor número de bebidas (agua embotellada, refrescos, jugos, bebidas saborizadas, etc.), las ubicadas cercanas a zonas escolares venden principalmente dulces, botanas y frituras, y las cercanas a zonas habitacionales venden más productos para el hogar, es en estos espacios donde es mayor la diversidad de productos vendidos por las *nanostores*.

Además, asumiendo que los consumidores están cada vez más ocupados, más conectados y en movimiento, naturalmente busca que los productos que adquiere le ayuden a hacer su

estilo de vida más sencillo. Los productos deben ser fáciles de usar y permitirle disponer de más tiempo [21]. En este contexto, se hace necesario identificar cómo apoyan las nanostores a los consumidores.

Desde una perspectiva socio-espacial se considera relevante coleccionar datos respecto a la interacción de las nanostores con los elementos de su entorno. Las *nanostores* como entes individuales presentan aspectos que las caracterizan y sobre los cuales habría que indagar más allá de los trabajos que se citan en la primera sección de este artículo.

Por ejemplo, en cuanto a lo laboral, las nanostores se pueden considerar como micro-empresas, esto implica que deberán tener no más de cinco trabajadores.

Otro aspecto de relevancia es el acceso que tienen los clientes a los productos en las *nanostores*, son elementos físicos los que limitan o facilitan el acceso. En este sentido, Sapient Nitro [18] utiliza este aspecto para calificar la experiencia de compra. Otros aspectos a considerar son: el tamaño del piso de venta y el espacio de almacenamiento. Estos suelen ser indicadores de la capacidad de la unidad económica para la realización de sus operaciones de venta y de aprovisionamiento. Finalmente, el equipamiento con el que cuentan las nanostores es un indicador del nivel de apalancamiento financiero y de la capacidad para ofrecer y diversificar sus servicios.

Productos y presentaciones de los mismos.

El INEGI define a las unidades económicas de acuerdo con los productos que comercializan [13]. Las nanostores se puede asemejar con un tipo de unidades económicas. Pero las *nanostores* también venden productos en presentaciones (empaques) de tamaños pequeños o a granel, esto lo hacen para adecuarse a las necesidades de sus clientes (dimensión de ajuste). Como ya se mencionó, el ajuste en las presentaciones no necesariamente se traduce en menor precio para su clientes. En este sentido, es relevante identificar la existencia de niveles de ajuste [18], esto es, identificar cómo las *nanostores* realizan el ajuste, sobre todo para productos fraccionados.

Es decir, porciones menores a las del empaque original del producto [4].

Competencia. La competencia entre *nanostores* es notoria, en una misma calle y manzana pueden coexistir un buen número de ellas. Podría decirse que la competencia entre ellas es una condición de su existencia. Pero además, en los últimos años el comercio mayorista ha venido adoptando prácticas de las nanostores. Una de estas prácticas es el establecimiento de tiendas en formatos más pequeños que aquellas que constituyen centros comerciales. Es también importante mencionar la proliferación de tiendas de conveniencia. Ambas formas de competencia han sido consideradas amenazas para las nanostores. Sin embargo, no hay evidencia contundente para señalar que estas dos formas de competencia le hayan quitado mercado a las *nanostores*. Habrá que documentar cuál ha sido la dinámica del número de *nanostores* en relación a la dinámica de su competencia.

B. Propositiones

Con base en los aspectos señalados es posible formular un conjunto de proposiciones, pero demostrarlas implica ahondar y coleccionar datos puntuales de las nanostores mexicanas. Esta formulación cumple con la propuesta por Yin [23]. Las que se presentan no son exhaustivas de los aspectos revisados en la sección anterior.

El estilo de vida de los consumidores implica la facilidad y ahorro de tiempo, pero esto no se asocia directamente con la disponibilidad y las presentaciones de los productos que ofrecen las *nanostores*. Con base en esto, se formulan las siguientes proposiciones.

PROPOSICIÓN I. Los patrones de consumo de los clientes de las nanostores están relacionados con los productos que constituyen sus necesidades y, además, estas cambian o se distribuyen de diferente manera a lo largo del día.

PROPOSICIÓN II. La accesibilidad a los productos y el ajuste de los productos que

ofrecen las *nanostores* son elementos relevantes de decisión de sus clientes.

El nivel de apalancamiento financiero (préstamo) que pueden ofrecer las *nanostores* a sus clientes refleja de cierta manera su capacidad de adaptación. De esto se formula la siguiente proposición.

PROPOSICIÓN III. La relación entre cliente y *nanostores* basada en el apalancamiento financiero tiene dos vertientes, una positiva y otra negativa. La positiva es que permite su subsistencia y la negativa es que se puede llevar al límite su operatividad.

La apertura y permanencia de las *nanostores* pareciera un proceso fácil no ligado con el equipamiento y los activos que implica. Pero esta facilidad puede estar ligada con su propia mortandad. Se crean rápido y mueren rápido. De esto surge la proposición.

PROPOSICIÓN IV. El equipamiento y activos con los que cuentan las *nanostores* condicionan su desempeño, en particular, con respecto a las operaciones de abasto y almacenamiento.

Las *nanostores* son microempresas y constituyen uno de los principales canales de distribución de los FMCG. De esto surge la proposición.

PROPOSICIÓN V. Las *nanostores* distribuyen mayormente FMCG lo que las hace imprescindibles para los productores de estos productos.

Finalmente, los elementos del entorno de las *nanostores* impulsan el consumo de cierto conjunto de mercancías, es decir, existe una suerte de especialización. Esto lleva a pensar en un perfil de cliente de las *nanostores* y a que son posibles similitudes entre *nanostores* asociadas a su entorno. De esto surge la proposición.

PROPOSICIÓN VI. La ubicación de la *nanostore* y su distribución espacial están estrechamente relacionadas con los patrones de consumo.

C. Preguntas de investigación.

Siguiendo a Yin [23], de las proposiciones es posible formular preguntas de investigación teniendo como unidad de análisis a las *nanostores*. Algunas preguntas son las siguientes:

- ¿Hay un patrón de consumo de los clientes de las *nanostores*?
- ¿Qué características de las *nanostores* guardan mayor correlación con las necesidades de sus clientes?
- Asumiendo que algunos aspectos relevantes para los clientes de las *nanostores* son el ajuste y la accesibilidad, ¿Qué valores les dan?, ¿Qué métricas utilizan para hacer la valoración?
- Considerando al apalancamiento financiero de sus clientes como característica fundamental de las *nanostores* ¿Cuál es el margen de operación entre su subsistencia y su salida del mercado?
- ¿Con qué equipamiento y activos cuentan las *nanostores*? ¿Qué no dice eso de estas? ¿Cuál es su dinámica tecnológica?
- En una cadena de valor, ¿Cuál es la aportación de las *nanostores*?
- ¿Hay diferencias entre *nanostores* según su ubicación zonal y distribución espacial?
- ¿El tipo y presentación de los productos vendidos en las *nanostores* está asociado con el uso de suelo de su ubicación?

Estas y otras preguntas pueden dar pie a un conjunto amplio de investigaciones con la misma unidad de análisis. A continuación, se ofrecen avances de una investigación que considera, por un lado, la ubicación de las *nanostores* en México en general y en la Ciudad de México en particular y, por otro lado, su rol como distribuidoras de FMCG. También se presenta la descripción de

externalidades asociadas a la operación de las *nanostores* desde la perspectiva de logística urbana.

IV. LAS NANOSTORES MEXICANAS: NATURALEZA Y FUNCIONAMIENTO

A. Número de *nanostores* en México y en la Ciudad de México

Respecto al número de *nanostores* en México, de acuerdo con el Censo Económico 2015 [12], había 628,836 unidades de las cuales el 99.1% empleaban hasta cinco personas, en conjunto aportaban el 22.4% de la producción bruta total¹. Tan sólo en la Ciudad de México estaban registradas 41,755 unidades.

La Figura 3, muestra el número de *nanostores* por alcaldía, es notorio que la distribución es diversa y pareciera que no hay algún patrón de distribución.

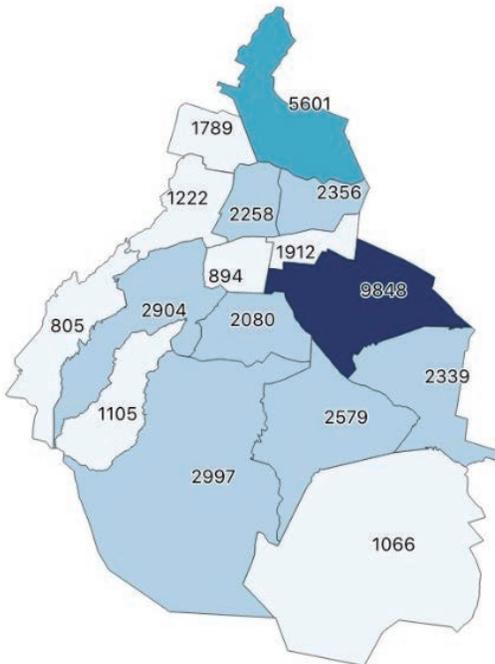


Figura 3. Número de *nanostores* en la Ciudad de México

B. Las *nanostores* como distribuidoras de FMCG

Los FMCG son bienes o productos que tienen caducidad habitualmente de un año o menos, las

¹ Se equipara a las *nanostores* con las unidades económicas agrupadas como segmento minorista tradicional en el Censo Económico 2015.

categorías más comunes de este grupo son ciertas comidas y bebidas, productos de cuidado personal y domésticos, ropa y complementos, tabaco y comida para mascotas, además de productos para el cuidado de estas. Para las *nanostores* los proveedores principales de FMCG son: Nestlé, Procter & Gamble (P&G), Unilever, PepsiCo y The Coca-Cola Company.

De acuerdo con Euromonitor International [10], el llamado segmento minorista tradicional, es decir, las *nanostores*, sigue siendo el canal de distribución dominante de los FMCG, la razón fundamental es su proximidad con sus clientes. Estos caminan en promedio cuatro cuadras para llegar a las *nanostores* [21]. La proximidad es un factor de ahorro de tiempo en dos sentidos, para hacerse de los productos y para llegar a las *nanostores*. En otro sentido, la proximidad se da por la relación entre cliente y tendero, el segundo conoce personalmente a sus clientes y, en algunos casos, esa relación facilita o permite la oferta de créditos informales al consumo. Un cliente por lo menos compra 39 ocasiones al mes en las *nanostores* y por visita permanece al menos 3 minutos en ella [21].

C. Distribución de FMCG en áreas urbanas

Según Murphy & Enis [15] un producto por sí mismo induce la estrategia de distribución, esto es, el producto y el comportamiento de compra del cliente del mismo está asociado a la estrategia de distribución. En el caso de los FMCG, por su alta demanda, las empresas distribuidoras apuestan por una estrategia de saturación del mercado, esto es, mantener los anaqueles llenos todo el tiempo. En términos de logística urbana esta estrategia implica, entre otras cosas, el uso intensivo de la infraestructura vial y las consecuencias que ello conlleva.

A continuación, por ser de interés de la investigación de las *nanostores* desde la perspectiva de logística urbana, se describen algunas externalidades negativas y positivas asociadas.

Una externalidad de acuerdo con De Rus et al. [9] se produce cuando un agente lleva a cabo una

acción de la cual se derivan efectos (positivos y negativos) que tienen impacto en forma de beneficios o costos sobre otros agentes.

En esta situación el agente causante de los efectos no está obligado a realizar ningún pago en concepto de indemnización a los afectados a quienes ha impuesto costos, o no tiene derecho a recibir una compensación por los beneficios generados.

Congestionamiento. El congestionamiento se deriva de la convivencia de los diferentes sistemas y modos de transporte en una zona dada. Esta convivencia se da naturalmente por la interacción entre actividades económicas y sociales. La operación de los sistemas de transporte desde un marco de movilidad acentúa los congestionamientos. La distribución de FMCG hacia las nanostores hecha mano de múltiples modos de transporte, lo cual genera gran interacción entre los mismos, así, la distribución produce y a la vez es afectada por el congestionamiento.

En el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), el acelerado proceso de la integración de municipios a la zona metropolitana, el crecimiento demográfico y los cambios en los usos de suelo, han generado desbalance entre las zonas atractoras de viajes y aquellas generadoras. La expansión geográfica de la ZMVM implica un mayor número viajes para satisfacer la demanda creciente de bienes y servicios. Lo anterior crea incentivos para aumentar la oferta de capacidad vial y vehicular, además de espacios para almacenar o transferir dichos bienes y servicios.

La dinámica entre el sistema de transporte y la infraestructura urbana incentiva directa o indirectamente el uso del vehículo y por lo tanto incide en demoras en la distribución de mercancías hacia las *nanostores*.

Saturación de la capacidad de la infraestructura urbana. El proceso de distribución de FMCG hacia las nanostores se asume como una función de actores privados bajo la rúbrica de cadena de suministro. En este marco de cadenas de suministro, en general, se busca optimizar los costos logísticos totales tomando en cuenta

mayormente los costos internos de las empresas privadas que distribuyen los FMCG, pese a que la distribución por sí misma impone costos a otros agentes, estos costos habitualmente no son considerados. La distribución de FMCG es una actividad que coexiste con la distribución de otro tipo de mercancía, con el transporte público de pasajeros y con el transporte de auto privado. Los canales de distribución y la gama de modos de transporte, que utilizan la capacidad limitada de la infraestructura, tienen diferentes prioridades, intereses, objetivos y enfoques, incluso contrapuestos.

La interacción de las actividades de distribución conlleva, entre otras cosas, la reducción de la movilidad, riesgos por la manipulación de mercancías en espacios públicos y competencia por la apropiación del espacio público, este último es uno de los problemas más importantes y difíciles de resolver en áreas urbanas.

La forma en que se ha buscado lidiar con estas externalidades es a través de políticas públicas restrictivas, dirigidas a mejorar la movilidad pero que afectan negativamente la accesibilidad.

Afectaciones a la sustentabilidad. Considerando elementos económicos, sociales y ambientales como ejes rectores de la sustentabilidad, es posible señalar las siguientes externalidades. En primer lugar, la contaminación por emisiones provocada por las actividades de distribución. Esta externalidad habitualmente se trata de mitigar a partir de políticas públicas dirigidas al uso de los vehículos pero estas políticas implican limitar o reducir su aportación económica y social de dichas actividades. Por otro lado está la productividad o riqueza económica generada por las nanostores. Como unidades económicas son fuente de autoempleo y empleo formal e informal. Por último, el tejido social del cual forman parte y que se puede constituir a partir de ellas y la relación con sus clientes.

La subsistencia de las *nanostores* es esencial en los ámbitos económico y social. El estudio de su funcionamiento requiere un enfoque sustentable,

esto es, la búsqueda de equilibrio entre lo económico, lo social y lo medioambiental.

Productividad macroeconómica. Una de las externalidades positivas asociadas a las *nanostores* es el empleo que generan, ya sea considerándolas como unidades económicas o incluso pequeñas empresas o microempresas. Las *nanostores* generan 43.1% de los empleos de la actividad económica de comercio al por menor. Hasta marzo de 2019, el porcentaje de empleos generados creció 2.9% respecto a 2013. En términos de productividad, éstas aportan 22.4% de la productividad bruta total, esto representa un incremento del 13.9%, respecto al año 2013, en términos de ingresos reales por suministros de bienes y servicios [13].

Efecto Mohring. Las *nanostores* en conjunto tienen una participación en el comercio al por menor de aproximadamente 37.2%. “Los comerciantes pequeños han demostrado tener un eficaz modelo basado en una alta rotación de inventarios, bajos costos operativos y una efectiva atención a las necesidades de los consumidores emergentes y a sus necesidades” [4]. En respuesta a lo anterior, hay mayor interés en diseños y empaques dedicados a familias pequeñas o de una sola persona, cocinas pequeñas, adultos mayores [22]. Este ajuste en la oferta y nivel de servicio amplía cada vez la diversidad de clientes e incide positivamente en la oferta y nivel de servicio, esto es, se constituye un círculo virtuoso.

V. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Con base en las secciones anteriores se plantean las siguientes líneas de investigación teniendo como unidad de análisis a las *nanostores* y como propósito mejorar la distribución de los FMCG.

Los patrones de consumo están cada vez más asociados a aspectos como rapidez, facilidad y confort, es en este ámbito que las cadenas de suministro para la distribución de FMCG tendrán que rediseñarse en diferentes sentidos:

Características de las propias *nanostores*, eficiencia de la distribución, disminución de externalidades negativas y potencialización de externalidades positivas.

Considerar las características propias de las *nanostores*, desde un enfoque, tal vez optimizante, puede llevar al diseño de estrategias de distribución que consideren como variable relevante el producto que se transporta.

De la misma manera, otra variable relevante para el diseño de estrategias de distribución son las características de su entorno, en particular, el uso de suelo donde se ubican que puede asociarse a patrones de consumo y a restricciones de movilidad y accesibilidad.

Hasta ahora, en las propuestas de mejora de la distribución de FMCG no se ha puesto suficiente atención sobre características particulares de las *nanostores* como determinantes de las estrategias de distribución. Habrá que retomar una a una estas características y probarlas como base de diseño de las estrategias. Algunas de las características son similares en otros contextos regionales, principalmente Latinoamérica y países emergentes como India y Marruecos.

Tomando en consideración el interés por alcanzar mayores niveles de ajuste y conveniencia entre *nanostores* y clientes, es de interés el diseño de estrategias de distribución que consideren ciertos tipos de clientes, por ejemplo, personas de la tercera edad.

Finalmente, el uso creciente de diferentes tecnologías de información y comunicación (TIC) y de cómputo, hace pensar en la adopción que podría favorecer en las *nanostores* su nivel de servicio y su operación. Pero teniendo como restricción el nivel de inversión necesario y las habilidades requeridas para la adopción.

VI. CONCLUSIONES

Los estudios hechos al respecto de las *nanostores* mexicanas han permitido identificar

un conjunto de características comunes, que en general son coincidentes en otros contextos internacionales, como se ha señalado; sin embargo, sus características asociadas al entrono (espacial y social) son relevantes para su funcionamiento y no han sido consideradas para el diseño de estrategias de distribución; incluso, no se ha encontrado evidencia en la que se muestre el papel que desempeñan dentro de la Cadena de Suministro (como parte de la cadena de valor) o de los impactos que estas tienen en su entorno más próximo (en términos de seguridad vial, emisiones contaminantes, congestionamiento, privatización del espacio público).

Por lo anterior, es de esperar que una potencial mejoría en las estrategias de distribución de productos del tipo FMCG a través de las nanostores sea relevante por los alcances que esta pudiera generar, pero al mismo tiempo debido al papel que sumen las nanostores por sus propias funciones sociales y económicas cuyos impactos podrían ser aún más profundos.

Se considera relevante la caracterización de la unidad de análisis ya que, por un lado, al suponer la participación de las nanostores como un elemento central de cualquier tipo de iniciativa de mejora, no solo posicionará a esta entidad como un elemento relevante de la cadena de suministro de los FMCG, sino que podrá evidenciar su valor en la Cadena de Suministro, diferenciaría canales de distribución de acuerdo a las necesidades de los clientes (proporcionando un mayor ajuste entre los intereses y necesidades de los clientes y la oferta) y los ruteos serían susceptibles a otros esquemas de optimización en los que se podría poner mayor énfasis en aspectos como la sustentabilidad y, en general, de logística urbana.

Por otro lado, al tomar en consideración las características particulares que tienen las nanostores e incluso de su entorno se podrán identificar necesidades. Por ejemplo, en el caso de encontrar una relación entre el uso de suelo y los patrones de consumo el diseño de estrategias de distribución apoyados en la consolidación y la

colaboración tendrían mayor sentido; en lo que se refiere a la consolidación ya que se podrían identificar patrones de consumo por zonas geográficas, mientras que la colaboración podría ser el resultado del diseño de políticas públicas que busquen la reducción de congestionamientos (junto a sus respectivas externalidades negativas).

Un enfoque de esta naturaleza, donde el actor principal sean las nanostores, permite abrir otras áreas de investigación que no solo estén orientadas a la subsistencia de las mismas, sino que mejoren su funcionamiento y, al mismo tiempo, las fortalezcan.

REFERENCIAS

- [1] Almada, A., Eaton, A., Flores, B., Mondragón, C., Ortiz, C., Jacob, E., de Anda, R. (2014). El libro del fracaso. México: The Failure Institute.
- [2] Aragonéz, S., & Salinas, A. (2018). El reto de ejecutar la distribución de última milla. *Énfasis logística*, XVIII (198), 70-72.
- [3] Blanco, E. E., & Fransoo, J. C. (2013). Reaching 50 million nanostores: retail distribution in emerging megacities. BETA Research School, Eindhoven University of Technology. Working paper.
- [4] Booz Allen Hamilton. (2003). Creando valor en canales minoristas para consumidores emergentes. Coca-Cola Retailing Research Council – América Latina.
- [5] Boulaksil, Y., & Belkora, M. J. (2017). Distribution Strategies Toward Nanostores in Emerging Markets: The Valencia Case. *Interfaces*, 1-13.
- [6] Castillo Girón, V., & Ayala Ramírez, S. (2018). Las tiendas de barrio de la zona metropolitana de Guadalajara: las singularidades del comercio al detalle. *Espacio Abierto Cuaderno Venezolano de Sociología*, 27(3), 119-144.
- [7] Coronado, S. (4 de Abril de 2018). Proximidad y precio, factores que atraen clientes: Euromonitor. *El Financiero*.
- [8] D'Andrea, G., Lopez-Aleman, B., & Stengel, A. (2006). Why small retailers endure in Latin America. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 34(9), 661-673.
- [9] De Rus, Ginés, Campos, Javier & Nombela, Gustavo (2003) *Economía del Transporte*, Antoni Bosch.

[10] Euromonitor International. (24 de Septiembre de 2018). Euromonitor International Limited. Obtenido de <https://www.euromonitor.com/packaged-food-in-mexico/report>

[11] Fahimnia, B., Bell, M., Hensher, D., & Sarkis, J. (2015). Green Logistics and Transportation. A Sustainable Supply Chain Perspective (1 ed.). Springer International Publishing.

[12] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (Abril de 2019). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Obtenido de Inicio / Servicios / Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>

[13] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). Estructura del sistema de clasificación industrial de América del Norte. México: INEGI.

[14] Muñoz-Villamizar, A., Montoya-Torres, J. R., & Vega-Mejía, C. A. (2015). Non-Collaborative versus Collaborative Last-Mile Delivery in Urban Systems with Stochastic Demands. *Procedia CIRP*, 30, 263-268.

[15] Murphy, P., & Enis, B. (Julio de 1986). Classifying Products Strategically. *Journal of Marketing*, 50, 24-42.

[16] Ramakrishnan, K. (2010). The competitive response of small, independent retailers to organized retail: Study in an emerging economy. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 17, 251-258.

[17] Runyan, R., & Droge, C. (2008). A categorization of small retailer research streams: What does it portend for future research? *Journal of Retailing*, 84(1), 77-94.

[18] Sapien Nitro. (2016). The bottom line on experience: measuring return in the age of storytelling. Boston, Massachusetts, Estados Unidos.

[19] Taniguchi, E., & Thompson, R. G. (2015). *City Logistics. Mapping The Future*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

[20] Taniguchi, E., Thompson, R., Yamada, T., & van Duin, R. (2001). *City Logistics. Network modelling and intelligent transport systems* (Emerald Group Publishing Limited ed.). Reino Unido.

[21] The Nielsen Company. (Mayo - Junio de 2013). ¿Quién compra en el canal tradicional? México

[22] The Nielsen Company. (2018). La búsqueda de conveniencia. México, México.

[23] Yin, Robert K. (1994) *Case Study Research, Design and Methods*, SAGE Publications.



6. COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

- Desarrollo de una red multicapa en una PyME del sur de Guanajuato
 - Desarrollo de una herramienta para la planeación y automatización de cortes en la producción para cumplir las necesidades de una empresa
- Integración de la función de pérdida al control estadístico de procesos: Caso de estudio en el sector textil.
- Proceso de implementación y supervisión de un modelo de control del riesgo operativo para una SOFIPO enmarcado en la metodología coso
- Sistema de inventarios para productos perecederos en una tienda mayorista con demanda variable
- Procedimiento para determinar la cantidad óptima de contadores cíclicos en un centro de distribución utilizando estudio de tiempos y movimientos
- Análisis del servicio de un nodo público con enfoque de función de pérdida
- Determinación del número y capacidad óptimos de carros materialistas para una celda de manufactura utilizando algoritmos genéticos de múltiples objetivos.

Desarrollo de una red multicapa en una pyme del sur de Guanajuato

Paulina Sánchez Alcantar
Alumna de la Lic. Gestión Empresarial
Departamento de Estudios Multidisciplinario
Universidad de Guanajuato UG,
Yuriria, Guanajuato, México.
p.sanchezalcantar@ugto.mx

Roberto Baeza Serrato Profesor
Investigador Departamento de Estudios Multidisciplinario
Universidad de Guanajuato UG,
Yuriria, Guanajuato, México.
r.baeza@ugto.mx

Resumen— El objetivo de esta investigación es diseñar y desarrollar una red neuronal perceptrón multicapa, para predecir el comportamiento de las ventas de una PyME ubicada en el sur de Guanajuato. La metodología utilizada en este trabajo, se desarrollo en seis etapas: identificación del caso de estudio, revisión de la literatura, revisión del marco teórico, desarrollo de una red multicapa para la predicción de ventas, resultados y conclusión. Como resultados finales se puede apreciar que la red neuronal artificial muestra fiabilidad en la primer etapa de entrenamiento, siendo factible para la clasificación de ventas de forma correcta, además, de resaltar la integración de un desarrollo tecnológico en pequeñas empresas (inteligencia Artificial). La limitación de esta investigación es que no abarca las siguientes dos etapas de la red multicapa (prueba y validación), sin embargo, este trabajo, aporta una contribución importante para conocer de una manera sencilla y practica los beneficios que tiene implementar la “inteligencia artificial” en cualquier Pyme.

Palabras Clave: red neuronal, multicapa, pronóstico, ventas.

I. INTRODUCCIÓN

Las pequeñas y medianas empresas, Pymes, tienen particular importancia para las economías nacionales, no solo por sus aportaciones a la producción y distribución de bienes y servicios, sino también por la flexibilidad de adaptarse a los cambios tecnológicos y gran potencial de generación de empleos. Representan un excelente medio para impulsar el desarrollo económico y una mejor distribución de la riqueza. Hoy día, los gobiernos de países en desarrollo reconocen la importancia de las Pymes por su contribución al crecimiento económico, a la generación de empleo, así como al desarrollo regional y local. Esta investigación tiene como objetivo brindar una herramienta de calidad en el manejo de la ventas en los pequeños negocios, brindarles una metodología clara y accesible a todos tipo de personas, que poco a poco se vayan adentrando al mundo, competitivo y globalizado de la actualidad, por lo que, con estas aportaciones, les permite a estas empresas crecer en materia de tecnología.

Las Pymes en México constituyen el 97% del total de las empresas, generadoras de empleo del 79% de la población y generan ingresos equivalentes al 23% del Producto Interno Bruto (PIB), lo anterior es una clara señal de que debemos poner atención a este tipo de empresas y verlas como lo que en realidad son: la base de la economía mexicana [1].

La industria de alimentos es una tendencia que siempre estará presente en la vida de las personas, ya que es una de las necesidades básicas del ser humano (alimentación), pero en la actualidad ya no solo es satisfacerla, si no cumplir con todas las expectativas y exigencias del consumidor, pues cada vez más las personas están preocupadas por su salud, es decir, están al pendiente de lo que contienen los alimentos, sanidad y calidad, de tal manera que la industria de alimentos “restaurantes” deben cumplir con cada uno de los requerimientos de los consumidores actuales.

Ante la necesidad de incorporar nuevas herramientas de innovación tecnológica en pequeños negocios, en el presente trabajo se desarrolla una Red Neuronal Artificial para una PyME, ubicada en la región sur del estado de Guanajuato. Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son una rama de la Inteligencia Artificial (IA), las cuales surgen de la necesidad de obtener un sistema de procesamiento de información que imite al cerebro humano [2]; son sistemas de cálculo que se asemejan a las redes neuronales biológicas al utilizar nodos interconectados, los cuales reciben la información, realizan operaciones sobre los datos y transmiten sus resultados a otros nodos. El procedimiento consiste en entrenar a las RNA para que aprendan patrones complejos de relaciones entre las variables predictoras y de resultado y que sean capaces de enfrentarse a nuevos datos dando las respuestas esperadas [3].

El objetivo del presente trabajo es incorporar la inteligencia artificial como herramienta competitiva en cualquier tipo de restaurantes desarrollando una red neuronal artificial para la clasificación de ventas en una PyME, permitiendo al negocio hacer uso de una herramienta tecnológica que permita manejar un aspecto muy importante como lo es, las ventas del negocio.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En esta parte se presentan aplicaciones de una intensa búsqueda de aplicaciones realizadas en diferentes casos de estudio de la Inteligencia Artificial en los campos de las Redes Neuronales (multicapa). En [4] nos presenta los resultados de un estudio comparativo Delaware en distintas configuraciones de redes neuronales aplicadas al proceso Delaware Corte por electroerosión por hilo (WEDM). También, se destaca el Perceptrón en la red Multicapa, y la arquitectura recurrente de Elman. En [5] el objetivo es recuperar las topologías de la red multicapa, ya que éstas enfrentan muchos problemas, incluida la recuperación de topologías entre capas de redes complejas multicapa, redes con diferentes pesos, para ello se

utilizarán estructuras topológicas de redes complejas combinando diferentes órdenes de expansión de Taylor y técnicas de detección de compresión (CS), para que pueden resolver el problema anterior de manera efectiva. En [6] abarca un modelo jerárquico multiescala basado en el análisis de elementos finitos y el cálculo de redes neuronales para vincular escalas mesoscópicas y macroscópicas para simular el proceso de remodelación ósea. El objetivo del presente trabajo es implementar un método novedoso basado en cálculos de elementos finitos y redes neuronales (FENN) acoplados y verificar su validez para su rápida predicción. En [7] se estudia, la sincronización forzada de capas interactivas de una red multiplex heterogénea en un estado quimera, también, se analizará, los efectos de la dinámica cooperativa y la autoorganización que se manifiestan en la sincronización global y de agrupación, la formación de varios patrones espaciales ha sido una dirección de investigación real en la dinámica no lineal y sus aplicaciones durante muchos años. Actualmente, este tema involucra ampliamente investigaciones de redes complejas de múltiples capas que consisten en muchas capas interactivas (subredes). Estas tareas son el resultado de un desarrollo lógico de la dinámica no lineal relacionada con la transición de sistemas simples a sistemas más complicados y están respaldadas por varios problemas de aplicación que surgen en el modelado matemático de sistemas multicomponentes reales. Por otra parte, en [8] se utilizó esta metodología en una fábrica de obleas. El objetivo de la red multicapa era encontrar el patrón de aprendizaje para reducir el costo unitario de las obleas, finalmente el estudio abordó con éxito estos problemas y mejoró la precisión de la estimación del costo unitario en un 88 por ciento en un estudio de caso real. En [9] tiene como objetivo tener una red neuronal para el incumplimiento en el sector de préstamos, este sector requiere una búsqueda continua de técnicas efectivas de evaluación de préstamos. La Red neuronal ha sido aplicada de manera amplia y exitosa a problemas de clasificación en otros campos de estudio de tal manera que se aplica a la predicción de recuperación de préstamos como

una posible técnica de evaluación crediticia. En [10] se utiliza la red multicapa para encontrar la eficiencia de los sistemas de monitoreo en una turbina de gas, la cual se necesita identificar las fallas ocasionadas en la ruta del gas, para esto se han utilizado dos tipos de redes neuronales artificiales, perceptrón multicapa y red de base radial, la primera red se aplica comúnmente para reconocer las fallas de las turbinas de gas. En [11] se realizó un estudio de inteligencia artificial de tipo perceptrón Multicapa para evaluar las competencias de recursos humanos, mediante funciones que permitan la evaluación de competencias laborales en el sistema XEDRO GESPRO. Una vez concluida la red y con los resultados obtenidos se comprobó que este tipo de aplicaciones aumentan la eficiencia con métodos tradicionales y tiene niveles de eficacia aceptables. En [12] se presentan dos sistemas de detención de contracciones ventriculares (PVC) prematuras basados en el modelo de KOhonen y en el perceptrón multicapa, esto se realiza para obtener los mejores resultados en este sistema. En [13] se ha utilizado una Red Neuronal Artificial de tipo Perceptrón Multicapa, para la simulación del proceso de biodegradación de aguas residuales de la industria de la carne, se analizó la variación de la concentración de proteína de acuerdo con el tiempo y también para determinar la hora final del procedimiento. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y se redujo un 82 % al 91 % de las papaínas (La papaína es una enzima proteolítica, extraída de la semillas del fruto de la papaya) en la biodegradación de las proteínas. En [14] analizar el riesgo de quiebra en las empresas pakistaníes del sector no financiero de los años 1995 a 2017.

Se utilizaron tres técnicas que incluyen el análisis discriminante multivariado (MDA), la regresión logit y las redes neuronales artificiales de perceptrón multicapa. Una vez analizadas cada una de estas técnicas se pudo concluir que los métodos que se muestran, el mejor es el de las redes neuronales ya que este supera la predicción de quiebra El [15] implemento una metodología de red neuronal artificial efectiva para predecir informes financieros fraudulentos en compañías de capitalización de

mercado pequeñas en Malasia, y esta metodología ofrece una mayor precisión de predicción en comparación con la regresión logística. En [16] se muestra la preocupación de la calidad del aire porque en los últimos años ha aumentado de manera drástica, para tener una solución a este problema se utilizaron datos diarios de las concentraciones actuales de PM10 para la ciudad de São Carlos-SP, Brasil. Estas series de datos permitieron usar un estimador basado en redes neuronales artificiales. El [17] es describir una metodología para predecir los efectos de la geometría del hielo de glaseado en los coeficientes aerodinámicos de la aeronave utilizando la predicción de una red neuronal.

En [18] "Redes neuronales artificiales para predecir los coeficientes aerodinámicos de los aviones de transporte", demuestra la capacidad de un metamodelo basado en redes neuronales artificiales para predecir con precisión los coeficientes aerodinámicos de los aviones de transporte que muestran que el metamodelo se puede usar sin pérdida de fidelidad y con gran precisión.

A través de la revisión de la literatura sobre las redes neuronales y multicapa, se concluye que las redes neuronales artificiales resultan ser más eficientes que otras herramientas, para resolver problemas de clasificación, reconocimiento de patrones y predicción en diferentes áreas de la industria, las cuales se pueden llegar a utilizar en las tareas más sencillas hasta las más complejas, de tal manera la aplicación de este tipo de herramienta es de gran ayuda para todos los sectores de la industria, además de brindarles una herramienta de última tecnología.

Una vez analizadas y revisadas cada una de las aplicaciones de la inteligencia artificial se pudo observar que ninguna aplicación de redes neuronales y multicapa es desarrollada con ayuda de una hoja de cálculo como en este caso, sino que se hace con ayuda de la programación de programas como (Matlab) y, especialmente, en los programas dedicados a estos fines. También se pudo percibir la importancia de la aplicación de las redes neuronales multicapa para la predicción de ventas en Pymes.

III. MARCO TEÓRICO

En esta sección se presentan los conceptos que integran la teoría referente a la red multicapa.

Red Multicapa: Es aquella red que contiene una o más capas ocultas, muestra un alto grado de conectividad y sus funciones de activación son diferenciables [19]. Ver Figura 1.

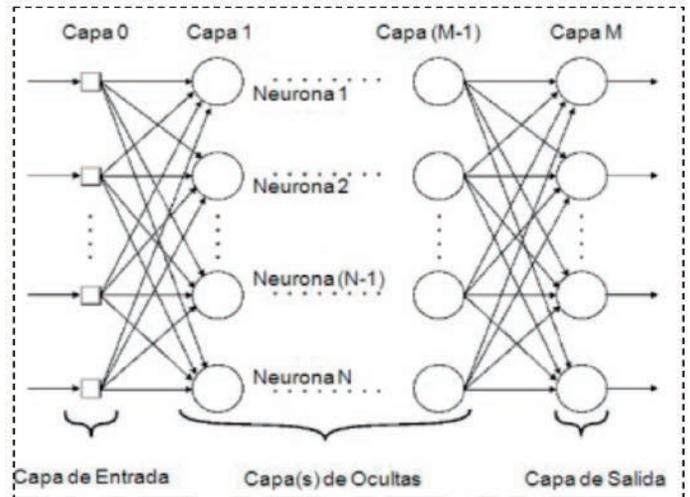


Figura 1. Red Neuronal Perceptron Multicapa (MLP)

Se encuentra conformada por un arreglo de perceptrones, los cuales son la forma más simple de una red neuronal, inventada por Rosenblatt en 1958. El Perceptron consiste en una neurona simple con pesos sinápticos ajustables y un umbral de activación, y es utilizado para clasificar patrones linealmente separables [19]. Ver Fig. 2

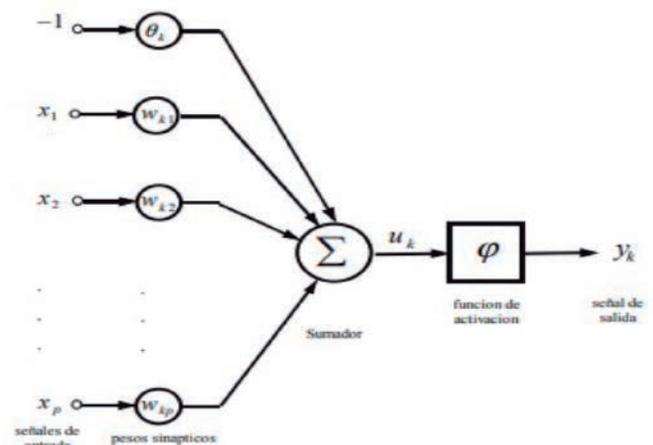


Figura 2. Modelo de una neurona [20]

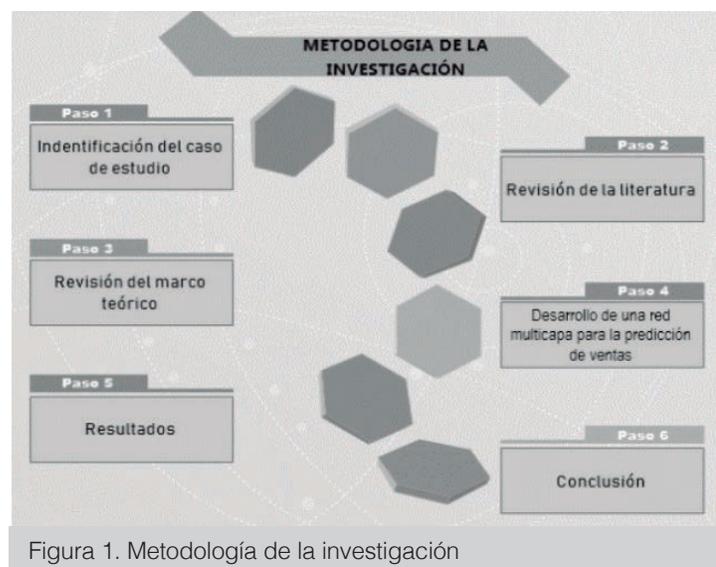
Perceptrón multinivel

Dentro de las redes neuronales, las que más utilizadas son las redes con múltiples capas que funcionan hacia adelante. Esta red está compuesta por un conjunto de nodos de entrada que componen la capa de entrada, un conjunto de una o más capas ocultas de neuronas y una capa de neuronas de salida. La señal de entrada se propaga hacia adelante desde la capa de entrada por la oculta hasta la salida; este tipo de configuración se conoce como MLP o “MultiLayer Perceptrons”. [20]

IV. METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la metodología diseñada para la realización de la investigación.

Al usar esta metodología, nos permite identificar nuestro caso de estudio, donde se aborda de una manera detallada la problemática que se tiene en la Pyme, después se pasa a la revisión de la literatura y revisión del marco teórico, donde podemos observar la importancia y beneficios de las redes en cualquier actividad, asimismo, nos muestra los pasos a seguir para realizar una red multicapa, esto, simplifica el entendimiento de la misma, teniendo como resultado la consecución exitosa de una red de predicción de las ventas en la Pyme de la región, la misma metodología explica de manera detallada y sencilla, como poder aplicar un tema tan complejo de “Inteligencia Artificial”. Véase Figura 1.



Identificación del caso de estudio

En la presente investigación, se llevó a cabo el tema de la inteligencia artificial, de una red neuronal se pudo identificar el caso de una PyME “Pescados y mariscos los pinitos” como caso de estudio para la realización de esta investigación. Se recolectó información de las ventas de los primeros cuatro meses de este año, esto para tener un red que pueda entrenar y pronosticar los días de las diferente semana, esto nos servirá para tener un mejor control dentro de la organización al respecto de las ventas diarias que se pueden tener en un día de la próxima semana, a lo largo de la investigación de campo, se pudo observar que las pequeñas empresas tienen poca o nula innovación en tecnología.

Para evitar este rezago se identificó una microempresa ubicada al sur de Guanajuato, un restaurante de pescados y mariscos operando aproximadamente hace dieciséis años en el mercado regional y dada la relevancia que tienen las ventas en un negocio del giro, se optó por desarrollar una herramienta de Inteligencia artificial que permitiera predecir las ventas de este negocio, coadyuvando de esta manera al desarrollo tecnológico e innovación en pequeñas empresas.

Revisión de la literatura y del marco teórico:

Una vez identificada la herramienta a implementar en el restaurante “Los Pinitos”, se procedió a investigar la teoría que sustenta este trabajo, esto se logra obteniendo una exhaustiva búsqueda de aplicaciones y trabajos relacionados con la inteligencia artificial y red multicapa para soportar y validar la presente investigación.

Desarrollo de la red multicapa:

En el presente caso de estudio se desarrolló una Red Neuronal Artificial de tipo perceptrón multicapa para la primera etapa de entrenamiento, donde se utilizaron los datos de las ventas diarias, durante cuatro meses (enero-abril) del presente año.

La estructura de la red es con dos neuronas en la capa de entrada, representando las ventas de dos

días de semana (lunes, martes), tres neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida (miércoles). Se realiza un pre-procesamiento de los datos utilizando una función lineal en un rango del 0-1 para facilitar el aprendizaje de la red. Se utilizaron 10 patrones de entrenamiento.

Como variables de entrada tenemos que X_1 corresponde a las ventas de 10 días correspondientes al lunes y X_2 las ventas del martes, y en la variable de salida y predicción T_1 corresponde las ventas de los miércoles.

Red multicapa de pronóstico:

La red perceptron multicapa tiene una estructura que consta de tres etapas. Están nos guiaran en la consecución de nuestra red.

Primera etapa “capa de entrada”, la cual corresponde a las variables obtenidas para el entrenamiento de la red.

Segunda etapa “capa oculta”, donde se realizan la agregación y función de activación de la red.

Tercera etapa “capa de salida”, en esta etapa se muestran los datos finales para el entrenamiento deseado para la red.

Cuando ya se conoce la estructura de la red multicapa, se procese, a realizar nuestro dibujo de la red, lo cual nos ayudará a obtener un mayor reconocimiento de nuestra red, y de esta manera evitar errores en la programación en la hoja de cálculo de Excel.

A continuación, se anotan cada una de las partes, de las cuales costara la red, para ser entrenada, se comienza, anotando las dos neuronas en la capa de entrada, tres en la capa oculta y una en la capa de salida, luego con los pesos ($w_1, w_2, w_3...w_9$). Después se ponen los Bias (1 y 2), se señalan las entradas y salidas de la red (nh_1 y oh_2), y sus respectivos gradientes de los pesos, se ajustan los valores, se calcula el error y su gradiente, y los gradientes de activación. Ver Figura 2.

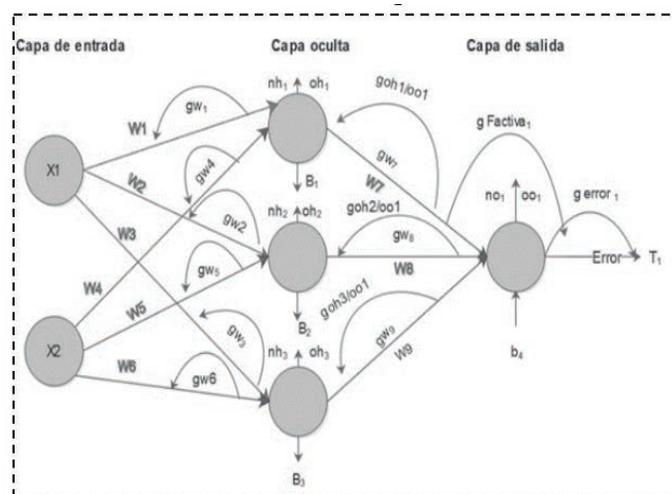


Figura 2. Diseño de la red multicapa

Para dar comienzo a la red multicapa de pronósticos, se realizan las respectivas transformaciones de los datos de las ventas iniciales diarias, esto es necesario para que la red entrene de una manera más eficiente, los datos que se transformaran son de X_1, X_2 y T_1 , donde se obtuvo el promedio de ventas por cada patrón de entrenamiento, asignando un valor de uno para las ventas superiores y un valor de cero para ventas menores; concluyendo así con la primera parte del desarrollo de la red. enseguida se procedió con el entrenamiento de los siguientes datos de la red los pesos las (W) y los Bias (B) a estos números se les otorgan valores aleatorios esto se desarrolla en el primer renglón de la hoja de cálculo de Excel.

A partir del segundo renglón se calculan los pesos de la red, este es un proceso que modifica el valor de los pesos y Bias asociados a cada neurona, con el fin de que la RNA pueda a partir de unos datos presentados en la entrada, generar una salida, después se aplicó un coeficiente de aprendizaje del 0.25, se hizo la multiplicación de las entradas por los pesos obteniendo así la sumatoria o entrada global; finalmente se agregó una función de activación utilizando una función condicional en el programa Excel para que automáticamente arrojará la sal. A continuación, se muestra la red multicapa, con la propagación hacia adelante. Ver tablas 1A y 1B.

Tabla1 A: aprendizaje de la Red en Excel "Iteraciones"

X1	X2	W1	W2	W3	W4	B1	B2	nh1	oh1	nh2	oh2
0.21	0.95	0.07	0.32	0.54	0.70	0.68	0.46	1.37	0.80	1.15	0.76
0.19	0.54	0.07	0.32	0.54	0.70	0.68	0.46	1.08	0.75	0.88	0.71
0.07	0.17	0.07	0.32	0.54	0.70	0.68	0.46	0.81	0.69	0.59	0.64
0.08	0.62	0.07	0.32	0.54	0.70	0.68	0.45	1.12	0.75	0.88	0.71
0.30	0.05	0.07	0.32	0.54	0.70	0.67	0.45	0.73	0.68	0.58	0.64
0.13	0.36	0.07	0.32	0.54	0.70	0.67	0.45	0.93	0.72	0.72	0.67
0.06	0.61	0.07	0.32	0.54	0.70	0.67	0.44	1.10	0.75	0.86	0.70
0.04	0.10	0.07	0.32	0.54	0.70	0.67	0.44	0.74	0.68	0.52	0.63
0.09	0.26	0.07	0.32	0.54	0.70	0.66	0.44	0.85	0.70	0.63	0.65
0.07	0.36	0.07	0.32	0.54	0.70	0.66	0.43	0.92	0.71	0.69	0.67
W5	W6	W7	W8	W9	nh3	oh3	B3	B4	n01	OO1	T1
0.90	0.84	0.35	0.14	0.02	1.79	0.86	0.97	0.10	0.43	0.60	1.00
0.90	0.84	0.36	0.16	0.04	1.44	0.81	0.97	0.12	0.47	0.62	0.08
0.90	0.84	0.34	0.14	0.01	1.12	0.75	0.97	0.09	0.37	0.59	0.18
0.90	0.84	0.33	0.12	-0.01	1.50	0.82	0.97	0.06	0.33	0.58	0.30
0.90	0.84	0.32	0.11	-0.02	1.03	0.74	0.97	0.05	0.29	0.57	0.18
0.90	0.84	0.31	0.09	-0.04	1.28	0.78	0.97	0.02	0.22	0.56	0.15
0.90	0.84	0.29	0.08	-0.06	1.49	0.82	0.97	0.00	0.16	0.54	0.22
0.90	0.84	0.28	0.06	-0.08	1.06	0.74	0.97	-0.02	0.11	0.53	0.05
0.90	0.84	0.27	0.04	-0.10	1.20	0.77	0.98	-0.05	0.04	0.51	0.18
0.90	0.84	0.26	0.03	-0.11	1.28	0.78	0.98	-0.07	-0.01	0.50	0.28

Tabla1 B: aprendizaje de la Red en Excel "Iteraciones"

Eo1	Error	Grad. Error	gfactiv1	gfactiv2	gfactiv3	gfactiv4	GW1	GW2	GW3	GW4
0.00	0.10	-0.10	0.19	0.19	0.21	0.23	0.21	0.21	0.21	0.95
0.33	-0.82	0.82	0.19	0.20	0.22	0.23	0.19	0.19	0.19	0.54
0.24	-0.70	0.70	0.20	0.21	0.23	0.24	0.07	0.07	0.07	0.17
0.17	-0.58	0.58	0.20	0.21	0.22	0.24	0.08	0.08	0.08	0.62
0.24	-0.69	0.69	0.20	0.19	0.22	0.23	0.30	0.30	0.30	0.05
0.26	-0.72	0.72	0.21	0.20	0.22	0.24	0.13	0.13	0.13	0.36
0.21	-0.65	0.65	0.22	0.21	0.22	0.24	0.06	0.06	0.06	0.61
0.32	-0.80	0.80	0.22	0.21	0.23	0.25	0.04	0.04	0.04	0.10
0.22	-0.67	0.67	0.23	0.21	0.23	0.24	0.09	0.09	0.09	0.26
0.16	-0.56	0.56	0.23	0.21	0.22	0.24	0.07	0.07	0.07	0.36
GW5	GW6	GW7	GW8	GW9	Grad. Oh1	Grad. Oh2	grad. Oh3	GradAcum.1	GradAcum.2	GradAcum.3
0.95	0.95	0.78	0.73	0.65	0.74	0.56	0.20	-0.01	-0.01	0.00
0.54	0.54	0.73	0.66	0.63	0.74	0.56	0.20	0.06	0.05	0.02
0.17	0.17	0.68	0.59	0.60	0.73	0.54	0.19	0.06	0.04	0.02
0.62	0.62	0.74	0.67	0.61	0.71	0.53	0.18	0.05	0.04	0.01
0.05	0.05	0.67	0.58	0.65	0.70	0.52	0.17	0.06	0.04	0.01
0.36	0.36	0.70	0.62	0.62	0.69	0.51	0.15	0.06	0.05	0.01
0.61	0.61	0.73	0.67	0.61	0.67	0.50	0.14	0.05	0.04	0.01

0.10	0.10	0.66	0.57	0.59	0.66	0.48	0.13	0.07	0.05	0.01
0.26	0.26	0.69	0.60	0.61	0.64	0.47	0.11	0.06	0.04	0.01
0.36	0.36	0.70	0.62	0.60	0.62	0.45	0.10	0.05	0.04	0.01

V. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos, después del desarrollo de una red multicapa, para la clasificación de ventas en un restaurante de una PyME del sur de Guanajuato. A continuación, se presentan las gráficas obtenidas del entrenamiento de la Red Multicapa.

En la primera grafica se muestran las ultimas interacciones de la red, para tener los pronósticos de ventas. En la gráfica, podemos observar que la red entrena de manera exitosa, al predecir de manera correcta la dos variables de entrada de la red. Ver Figura 3.



Figura 3. Pronostico de la red multicapa

En la segunda grafica se muestran el Algoritmo Backpropagation, donde nos muestra todas y cada una de las interacciones de la red las 20,000. Ver Figura 4.

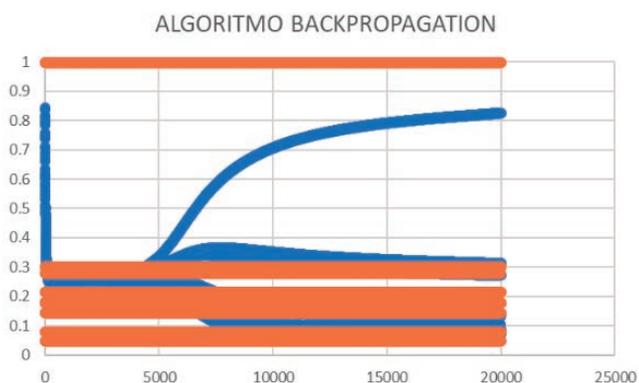


Figura 4. Representación del Algoritmo Backpropagation

A continuación, se muestra la gráfica de la convergencia del error. Ver imagen 5.

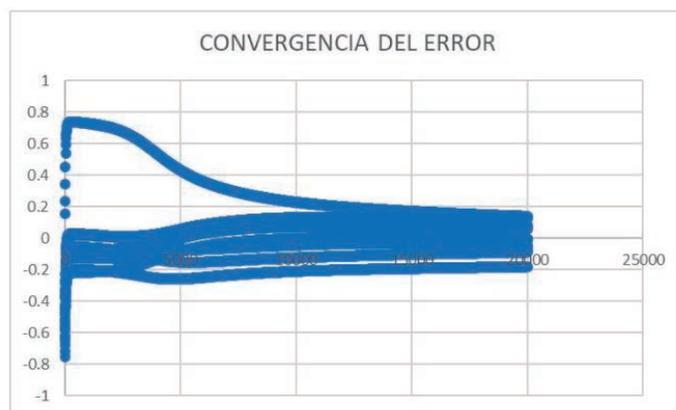


Figura 5. Convergencia del error

Por último, se muestra el Error cuadrático medio, de las últimas interacciones de la Red Multicapa. Véase Tabla 2 y la Figura 6.

Tabla 2. Ultimos datos de la red para calcular el ECM

	OO1	T1	
	0.85112614	1	
	0.25820143	0.080828544	
	0.10436168	0.180882292	
	0.30859085	0.304088973	
	0.09110242	0.180055402	
	0.14643719	0.146979783	
	0.30142502	0.217265473	
	0.09502195	0.052631579	
	0.11906316	0.182453384	
	0.14514712	0.28093604	
PROMEDIO	0.2420477	0.262612147	ECM 0.000211448

Como se puede observar en la tabla, el error cuadrático medio, esta dentro del rango aceptable, es decir, no se dispara demasiado del

promedio, por lo tanto, nuestro ECM (error cuadrático medio) es muy bajo (como se muestra en la Figura 6) para la predicción de las ventas de la Pyme.

ERROR CUADRATICO MEDIO

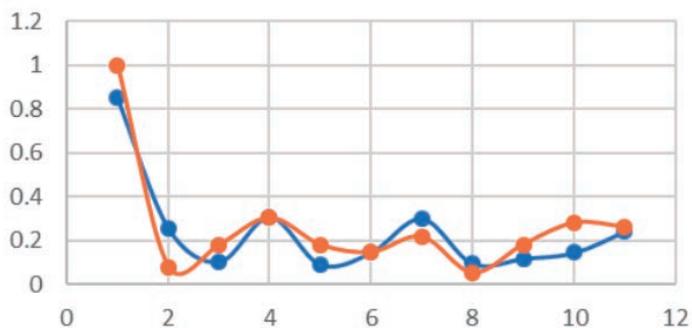


Imagen 6: Representación del error cuadrático medio

VI. CONCLUSIONES

La presente investigación se desarrolló en un negocio del sector “servicios” ubicado en el sur de Guanajuato, en un restaurante donde se identificó una área de oportunidad introduciendo la inteligencia artificial como herramienta competitiva y fomentando el desarrollo tecnológico en pequeñas empresas; se desarrolló una Red Neuronal Artificial (RNA) para la clasificación de ventas en el negocio con ayuda de una hoja de cálculo en Excel, se utilizaron diez patrones de entrada definidas por las ventas diarias obtenidas en el negocio.

Es importante resaltar la ejecución de la red neuronal artificial del tipo perceptrón multicapa en una hoja de cálculo de Excel, como alternativa para alumnos o profesionistas que carezcan del conocimiento de programación avanzado y utilicen estas herramientas para dar mayor fiabilidad a los resultados de la primera etapa de entrenamiento.

Como trabajos futuros se desarrollará una red multicapa con las siguientes etapas de la red (prueba y validación) para obtener una red multicapa más confiable para la predicción de las ventas.

REFERENCIAS

- [1] (coepes, 2015) importancia de las pymes en México.
- [2] V. Gil, V. D, “Desarrollo de una red neuronal artificial para la identificación de posibles deudores morosos” QUID, N° 24, pp 29-34, (2015).
- [3] T. Cabello, J. March, J. Badia, M. Rodríguez y S. Tello, “Aplicación de las redes neuronales artificiales para la estratificación de riesgo de mortalidad hospitalaria”, (2017).
- [4] P. Cabanes, M. y Zubizarreta. "Aplicación De Redes Neuronales En La Detección De Regímenes Degradados En El Proceso Wedm", revista Iberoamericana De Automática E Informática Industrial RIAI, pp 39-50, (2009):
- [5] G. Li, N. Li, S. Liu, and X. Xiaoqun, “Compressive sensing-based topology identification of multilayer networks”, caos, pp. 1-9, May 2019
- [6] J. Biomech, 132, pp 1-5, 12 de octubre de 2010
- [7] E. Rybalova, T. Vadivasova, G. Strelkova, V. Anishchenko, y A. Zakharova, “ Sincronización forzada de una red heterogénea multicapa de mapas caóticos en el modo de estado de quimera”, AIP Publishing, pp. 1-10, marzo, 2019
- [8] T. Chen, y H. Tsai, "Red neuronal difusa multicapa para modelar un proceso de aprendizaje de costo unitario incierto de recursos múltiples en la fabricación de obleas", Diario de prototipos rápidos, Vol. 24, pp.521-531, 2018
- [9] A. Olaolu, T. Biodun, y M. Oyewole, "Aplicación de la red neuronal artificial a la predicción de recuperación de préstamos", Revista Internacional de Mercados de Vivienda y Análisis, vol. 9, pp. 222-238, 2016
- [10] I. Loboda, “Neural networks for gas turbine fault identification: multilayer perceptron or radial basis network”, Vancouver, British Columbia, Canada ASME, pp 6-10, June 2011
- [11] S. López, T. Cuza, M. L. A. Pérez, P. Y. P. & Diéguez, L. A. P. “Red neuronal multicapa para la evaluación de competencias laborales”, Revista Cubana de Ciencias Informáticas, vol. 10, pp, 210-223, 2016
- [12] Barbosa, L. Kleisinger, G. H., Valdez, y Monzón, “Utilización del modelo de kohonen y del perceptron multicapa para detectar arritmias cardíacas. Diagnóstico”, pp. 2-4, 2001
- [13] C. Santana, J. de Araújo, S. Biazus, y R. Souza, “Simulación del proceso de biodegradación de aguas residuales de la industria de carne mediante una red

neuronal artificial perceptrón multicapa”,Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 23, pp. 269-275 2015

[14] F. Inam, A. Inam, M. Mian, A. Ahmed, y H. Awan, "Predicción de quiebra para la sostenibilidad organizacional en Pakistán: uso de redes neuronales artificiales, regresión logit y análisis discriminante”, Revista de Ciencias Económicas y Administrativas, 2018

[15] N. Omar, Z. Amirah, y M. Smith, "Predicción de informes financieros fraudulentos utilizando redes neuronales artificiales”, diario del crimen financiero, Vol. 24, pp. 362-387, 2017

[16] E. Schornobay-Lui, E. Alexandrina, M. Lopes, W. Siegfried, y E. Moreira, "Predicción de la concentración de PM10 a corto y mediano plazo utilizando redes neuronales artificiales”,Gestión de la Calidad Ambiental: una revista internacional, Vol. 30, pp.414- 436, 2019

[17] Y. Cao, K. Yuan , y G. Li, "Efectos de la geometría del hielo en el rendimiento del perfil aerodinámico utilizando la predicción de redes neuronales”,Ingeniería Aeronáutica y Tecnología Aeroespacial, Vol. 83, pp.266-274, 2011

[18] N. Secco, y B. Silva, "Redes neuronales artificiales para predecir los coeficientes aerodinámicos de los aviones de transporte”,Ingeniería Aeronáutica y Tecnología Aeroespacial, Vol. 89 pp.211-230, 2017

[19] M. Osorio, M. A. “Diseño de una arquitectura para una red neuronal artificial perceptron multicapa sobre una FPGA aplicada al reconocimiento de caracteres”, 2008

[20] A. Rubira, “Introducción al reconocimiento de patrones mediante redes neuronales”, IX Jornades de Conferències de ingenieroa y Electrònica del Campus de Terrassa, España, pp.9-16, Diciembre, 2002

Desarrollo de una herramienta para la planeación y automatización de cortes en la producción para cumplir las necesidades de una empresa

Carlos Andrés Jiménez Miguel
Misaela Francisco Márquez
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Instituto Politécnico Nacional, UPIICSA
carlosandji@gmail.com
mfrancisco@ipn.mx

Resumen— Actualmente el desarrollo y el uso de software es una de las áreas que ha crecido con el paso del tiempo y es muy común encontrar una variedad de software para la planeación, control y supervisión de la producción en diferentes industrias; sin embargo, existen limitaciones para su aplicación en las pequeñas y medianas empresas (PyME's), esto se debe principalmente al desconocimiento de estos y a los elevados costos de las licencias. Cabe mencionar que varias de las funciones de los programas más comerciales no serían utilizadas por las PyME's debido al tamaño y baja complejidad en sus procesos. Por lo tanto, diseñar un software de bajo costo y con las funciones verdaderamente necesarias, representa una oportunidad para incrementar la productividad en las empresas, siendo un caso particular aquellas donde realizan cortes en una dimensión en algún proceso de su línea de producción. Esta herramienta no solo ayudaría a las PyME's, sino también a las grandes industrias como la papelera, metalúrgica y maderera.

En este trabajo se presenta un programa, que actualmente se encuentra en ejecución en la empresa de estudio, se trata de una herramienta para solucionar el problema de patrones de corte en una dimensión de acero, además de calcular la cantidad de materia prima necesaria para el proceso de cortes en una dimensión y forma de realizar dichos cortes. El resultado se ve reflejado en una mejor planeación del proceso, reducción de los tiempos de corte y un mejor aprovechamiento de la materia prima, y como consecuencia reducción en los costos de producción y en la disminución de desperdicio de material.

Finalmente, el desarrollo de la herramienta antes mencionada facilita la programación de la secuencia para la automatización del proceso de corte mediante la comunicación del software y un dispositivo de control, como un microcontrolador o un Programador Lógico Programable (PLC).

Palabras Clave— planeación, software, cortes, programación lineal, automatización.

I. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se describen algunas herramientas para resolver las necesidades de planeación de una PyME 100% mexicana que se dedica al diseño, fabricación, distribución e instalación de sistemas de elevación hidráulico que presenta problemas en toda su cadena de suministro debido a que no existe una buena planeación en sus procesos de producción e instalación de sus elevadores.

El proceso de cortes en una dimensión es un problema muy recurrente en la industria de la construcción, principalmente en el corte de material estructural como lo son las varillas y vigas de acero, la planeación de dichos cortes se debe de realizar con especial cautela para un aprovechamiento óptimo de los recursos debido a que se manejan grandes cantidades de material. Es posible hacer una analogía en aquellas empresas manufactureras que en alguno de sus procesos llevan a cabo cortes en una dimensión en materiales como papel, madera o acero, como es el caso de la PyME de estudio.

Referencia [1] con base a criterios de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) se reporta que de una muestra de estudio, el 78% de las empresas afirman realizar alguna actividad de planeación. Sin embargo del 22% restante que no realiza actividades de planeación, el 10.12% afirma sustituir la planeación con la experiencia de la empresa. Este es el caso de la empresa de estudio, que a pesar de estar presente por más de diez años en el mercado, no cuenta con actividades o una política de planeación y las cotizaciones de los proyectos se realizan en base a la experiencia de los directivos en proyectos previos, lo que ocasiona la mayoría de las veces un atraso en la fecha de entrega de los proyectos, generando pérdidas monetarias por incumplimiento de contrato y malas referencias para futuros clientes.

La PyME de estudio, al realizar las cotizaciones en base a proyectos anteriores muestra una falta de

PyME's constructoras de México

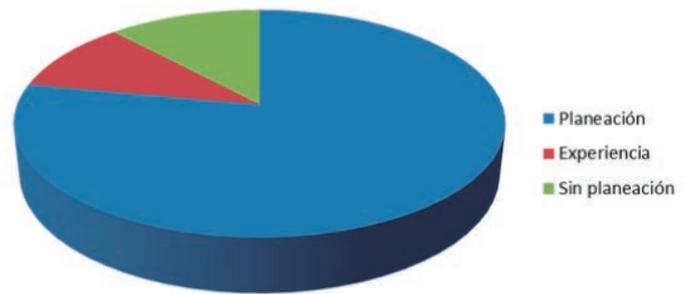


Figura 1. Planeación en PyME's en México con datos de Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción [1]

planeación no sólo de sus procesos productivos, sino también del material necesario, mano de obra, manejo de material, transporte y actividades administrativas para cada uno de los productos que elaboran. Por lo tanto, se vuelve un problema principal al no saber con exactitud el costo de la producción e instalación de un elevador, por ende no es posible hacer un análisis correcto en el precio de la venta, esto representa un problema grave para la empresa, ya que en los últimos años ha crecido considerablemente el número de empresas que son competencia directa, así como la importación de equipos provenientes de países asiáticos. Es por ello, la importancia de desarrollar una herramienta computacional que integre la planeación de todos los procesos de la empresa, siendo una primera etapa la planeación de los requerimientos de materiales.

Un proceso fundamental es el corte de perfiles tubulares rectangulares (PTR) para la construcción de la estructura de las cabinas, para conocer el número de PTR's, es necesario resolver el problema de patrones de cortes que consiste en la formulación y solución de un modelo de programación lineal con todos los patrones de corte factibles. El principal reto para el desarrollo del software para la empresa consistió en incluir una herramienta específico para la solución de dicho problema y no depender del uso de algún programa externo como Excel.

II. MARCO TEÓRICO

La planeación en la cadena de suministro se puede representar mediante una matriz de tres niveles:

- 1) Diseño: nivel alto en la cadena de suministro, representa una interacción conjunta en red.
- 2) Configuración : nivel medio en la cadena de suministro, representa una planeación conjunta de actividades de nivel bajo.
- 3) Operaciones: nivel bajo en la cadena de suministro, representan actividades de planeación a corto plazo y de manera inmediata.

La administración de la cadena de suministra contempla todos los elementos del nivel 2 de la matriz, que incluyen los elementos del nivel 3.

Cabe mencionar que un software de administración es sumamente complejo, sobre todo en las grandes industrias, no obstante, éste tuvo sus orígenes con los sistemas para planificar los requerimientos de materiales, *Material Requirements Planning* (MRP).

En un principio el MRP se encargaba de cumplir dos objetivos, primero, conocer que materiales y que cantidad de dichos materiales son necesarios para cumplir un plan de producción, y el segundo, cumplir con dichos requerimientos de materiales.

Por lo que en esta etapa se trabajaba únicamente con variables cuyo valor representaban cantidades de materiales para la producción [3].

Sin embargo, con el paso del tiempo los sistemas MRP se volvieron más complejos y se empezó a incluir otras variables como la capacidad de los requerimientos y la programación de las ordenes de producción, todo esto a partir de la necesidad de una mayor planeación que no se restringe exclusivamente a los materiales, dando lugar a los sistemas de planificación de recursos empresariales, en inglés Enterprise Resource Planning (ERP) [4].

La parte fundamental de un sistema MRP consiste en conocer cada componente que conforma un producto, la manera más sencilla es mediante un desgloce de componentes, que comúnmente se trabaja con diagramas de árbol, donde cada nivel puede contener subcomponentes.

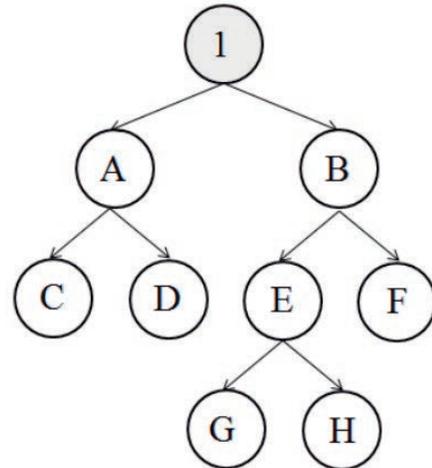


Figura 3. Ejemplo de un diagrama de árbol para el desgloce de componentes

Existe una amplia información acerca de la aplicación de los sistemas de planeación en la cadena de suministro; sin embargo, la información que se dispone acerca de la programación de estos es muy escasa debido a que estos sistemas son comercializados en forma de licencias de uso, aplicaciones de servicio o programas desarrollados específicamente para una empresa, es importante mencionar que solo compañías de un tamaño medio a grande pueden acceder a estos sistemas debido a la inversión que representa [5]. Asimismo, los sistemas MRP son desarrollados con una estructura modular que permite la integración de diferentes áreas de la empresa como producción, almacenaje y logística en diferentes módulos interrelacionados; no obstante se puede optar por solo seleccionar ciertos módulos en función de las necesidades de la empresa [6].

Referencia [7] presenta un programa para la planeación de la producción realizado en la consola de Windows utilizando lenguaje C. Este tipo de programas surgen debido a las

necesidades que tienen muchas de las pequeñas empresas manufactureras de países en vías de desarrollo donde no se requiere un programa sumamente complejo.

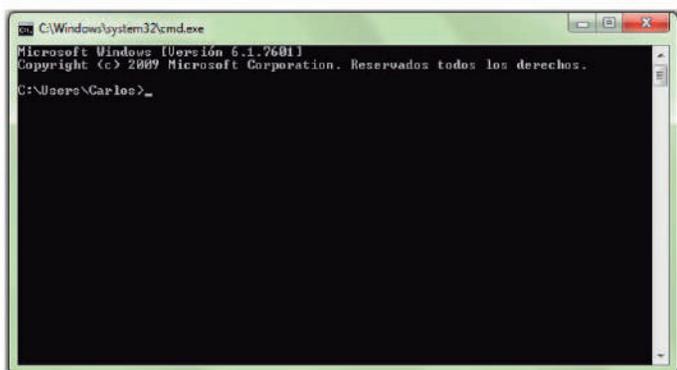


Figura 2. Ventana de la consola de Windows

Un programa desarrollado en la consola de Windows puede resultar difícil para una persona que no está familiarizada con el manejo del programa debido a la interfaz poco amigable al no ser de tipo gráfico. Sin embargo, la ventaja principal es la rapidez de los cálculos matemáticos debido a que la programación se realiza en un lenguaje de alto nivel, ideal para algoritmos matemáticos.

El uso generalizado de los sistemas MRP no fue posible hasta la llegada de las computadoras modernas, esto se debe, a que manejan una gran cantidad de cálculos que no eran factibles de procesar en las primeras computadoras domésticas [8]. En la actualidad se cuentan con algunas funciones secundarias que, mejoran de manera considerable, la experiencia del usuario con el software, como lo son:

- Soporte multiplataforma (PC, dispositivos móviles, streaming).
- Listas de materiales (despliegue de materiales).
- Gestión de documentos.
- Proceso de fabricación.
- Gestión de cotizaciones.
- Gestión de recursos.
- Administración de suministros
- Gestión de la cadena de suministro.

Es importante mencionar que los sistemas MRP no contemplan como tal las transformaciones físicas o químicas de la materia prima que cambien las dimensiones del propio material como es el caso de los cortes unidimensionales, en este caso para conocer el material requerido a cortar para satisfacer una orden de producción, primero se debe saber cómo realizar de mejor manera el proceso de corte del material, ya sea minimizando el desperdicio resultante del proceso o minimizar el número de materia prima requerida en el proceso, a este problema se le conoce comúnmente como el problema de patrones de corte, y su solución consiste en plantear y solucionar un modelo de programación lineal. La solución a este problema no es una herramienta que se incluya en un sistema MRP, por lo que es necesario plantear y solucionar el problema en algún programa dedicado como Excel, Lingo u algún software específico para posteriormente incorporar la solución al MRP.

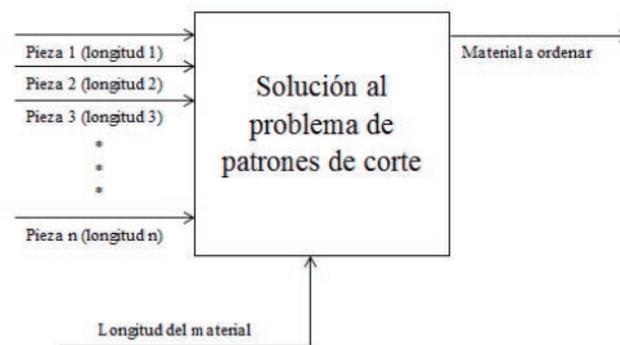


Figura 5 . Diagrama de entradas y salida de la solución al problema de patrones de corte

La ventaja principal de resolver el problema de patrones de corte es un mejor aprovechamiento de los materiales, lo que se traduce en un ahorro monetario por una disminución del desperdicio del material sobre todo en aquellos con un costo considerable como es el acero, este es un insumo básico no solo en industrias de la construcción, sino también como materia prima necesaria en las cadenas de producción de productos variados.

En el 2016, la industria del hierro y acero en México presentó un valor de 179.6 millones de

pesos. Es una de las industrias que mueve más dinero, no solo en México, sino a nivel mundial. Por otro lado no se tienen datos exactos del desperdicio de acero que generan las industrias manufactureras. Si bien el acero como desperdicio de las empresas se puede reciclar, esta acción no genera un valor monetario e inclusive puede representar un gasto por costos de manejo de material, por lo que la acción que verdaderamente generaría valor para una empresa sería minimizar el desperdicio [9].

El proceso de corte tiene muchas variantes, en cuanto a los grados en los que se pueden realizar los cortes, estos pueden ser desde una dimensión hasta tres dimensiones, a su vez estos pueden realizarse en una sola etapa o hasta n etapas, cada variación tiene sus propios métodos de solución [10]; sin embargo, el proceso de corte más simple y con mayor número de aplicaciones es el corte unidimensional en una sola etapa [10]. Una solución al problema clásico de corte de patrones en una dimensión fue propuesta por primera vez en el año de 1939 por Kantorovich, L.; y publicado en el año 1960, dicho problema consiste en determinar la mejor manera de cortar un material en materiales más pequeños mediante un modelo de programación lineal entera [11].

Los modelos más comunes para la solución al problema de cortes son los siguientes:

- Modelo de Kantorovich.
- Modelo de Gilmore-Gomory.
- Descomposición extendida de Dantzing-Wolfe para programas enteros.

El modelo de Kantorovich sentó las bases para los modelos posteriores, sin embargo, para fines de un algoritmo computacional el modelo de Gilmore-Gomory es uno de los más utilizados por su sencillez, donde se definen vectores con las diferentes combinaciones:

$$A^p = (a_1^p, \dots, a_i^p, \dots, a_n^p) \quad (1)$$

- a_i^p : Número de cortes obtenidos del patrón p.
- w_i : Medida de corte.
- W : Longitud del material a cortar (materia prima).

Un patrón de corte es factible si dicho patrón de corte no excede la dimensión de la materia prima:

$$\sum_{i=1}^m a_i^p w_i \leq W \quad (2)$$

La función objetivo del modelo de programación lineal es la suma de los desperdicios asociados a cada patrón de corte factible. Es importante mencionar que de manera básica la función objetivo del modelo trabaja con unidades de longitud; sin embargo es posible realizar una asociación con unidades monetarias de ser requerido [12].

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m d_i^p \quad (3)$$

Sea:

- d_i^p : Desperdicio obtenido de los cortes del patrón p.

El vector de los recursos del modelo es la demanda de las medidas de los cortes:

$$\geq q_i \quad (4)$$

Sea:

- q_i : Cantidad de cortes necesarios (demanda) del corte i.

III. DESARROLLO

La característica principal de la PyME del caso estudio es adaptarse a las necesidades de sus clientes, por lo que cada estructura de la cabina del sistema de elevación es diseñada y fabricada de acuerdo a las dimensiones de espacio que los clientes proporcionan.

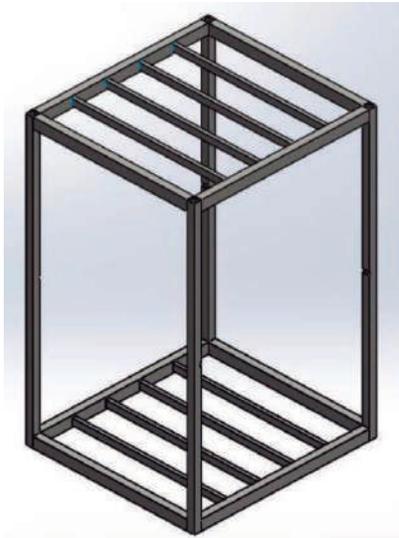


Figura 6. Estructura de la cabina del sistema de elevación

Cada estructura está compuesta por eslabones de diferentes espesores de PTR. Cada eslabón resulta del corte proveniente de un PTR de longitud y espesor comercial disponible en el mercado, las longitudes más comunes son 3.05m y 6.10m.

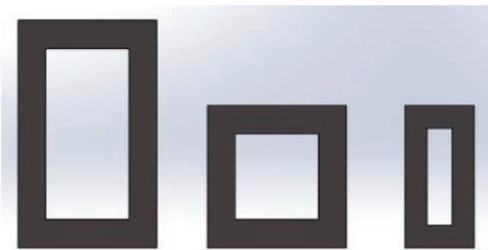


Figura 6. Estructura de la cabina del sistema de elevación

El problema principal en la empresa es no conocer con exactitud cuanta materia prima (PTR) adquirir para cada proyecto, lo que ha ocasionado que muchas veces el material sea insuficiente y como consecuencia se han generado paros en la producción y retrasos en la fecha de entrega de los proyectos; también se ha acumulado una cantidad considerable de desperdicios debido a un mal aprovechamiento del material a lo largo del tiempo.

Una solución propuesta es desarrollar un programa que se ajuste a las necesidades de la empresa para la planeación de su producción, siendo una parte importante la solución al problema de

parte importante la solución al problema de patrones de corte en una dimensión para el proceso de corte del PTR y que a su vez integre todo el material necesario para la producción, en esencia un MRP.

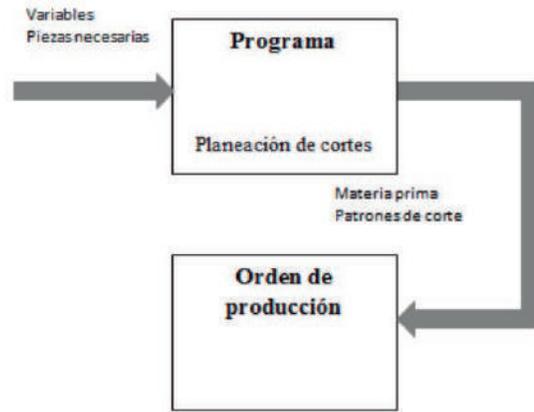


Figura 8. Diagrama general para la planeación de material para los cortes

Para facilitar el desarrollo de un algoritmo para la solución del problema de cortes resulta más fácil trabajar a partir de un problema resuelto cuyas dimensiones sean lo suficientemente grandes para poder generalizar el algoritmo. Por lo que se analizó un problema real con el que se encontraba la empresa: no se contaba con un tipo de PTR para continuar la fabricación de la estructura de una cabina, era necesario saber las unidades de PTR de 305cm que debían ser adquiridas. El tamaño y demanda de los cortes eran los siguientes:

- 1 unidad de 40cm.
- 3 unidades de 110cm.
- 5 unidades de 120cm.

Inicialmente es necesario conocer los patrones de corte que pueden realizarse con los valores y demanda de los cortes del problema, así como el desperdicio generado por dicho patrón como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Combinaciones posibles del problema

i	1	2	3	Desperdicio
1	0	0	0	305
2	0	0	1	185
3	0	0	2	65
4	0	0	3	-55
5	0	0	4	-175
6	0	0	5	-295
7	0	1	0	195
8	0	1	1	75
9	0	1	2	-45
10	0	1	3	-165
11	0	1	4	-285
12	0	1	5	-405
13	0	2	0	85
14	0	2	1	-35
15	0	2	2	-155
16	0	2	3	-275
17	0	2	4	-395
18	0	2	5	-515
19	0	3	0	-25
20	0	3	1	-145
21	0	3	2	-265
22	0	3	3	-385
23	0	3	4	-505
24	0	3	5	-625
25	1	0	0	265
26	1	0	1	145
27	1	0	2	25
28	1	0	3	-95
29	1	0	4	-215
30	1	0	5	-335
31	1	1	0	155
32	1	1	1	35
33	1	1	2	-85
34	1	1	3	-205
35	1	1	4	-325
36	1	1	5	-445
37	1	2	0	45
38	1	2	1	-75

39	1	2	2	-195
40	1	2	3	-315
41	1	2	4	-435
42	1	2	5	-555
43	1	3	0	-65
44	1	3	1	-185
45	1	3	2	-305
46	1	3	3	-425
47	1	3	4	-545
48	1	3	5	-665

La cantidad de patrones asociados a los valores y demanda de los cortes resulta de la ecuación (5) aplicando el principio de multiplicación y tomando en cuenta la ausencia del corte (valor 0), el número de patrones para el presente problema resulta de $2 \times 4 \times 6 = 48$.

$$\sigma = \prod_{i=1}^m (q_i + 1) \tag{5}$$

Sea:

: Patrón asociado a los valores y demanda del corte i.

Tabla 2: Combinaciones del problema

i	1	2	3	Desperdicio
1	0	0	0	305
2	0	0	1	185
3	0	0	2	65
4	0	1	0	195
5	0	1	1	75
6	0	2	0	85
7	1	0	0	265
8	1	0	1	145
9	1	0	2	25
10	1	1	0	155
11	1	1	1	35
12	1	2	0	45

El modelo inicial de programación lineal es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{MIN } Z = & 305X_1 + 185X_2 + 65X_3 + 195X_4 + 75X_5 \\ & + 85X_6 + 265X_7 + 145X_8 + 25X_9 + 155X_{10} + \\ & 35X_{11} + 45X_{12} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} &= 1 X_4 + X_5 + \\ 2X_6 + X_{10} + X_{11} + 2X_{12} &= 3 X_2 + 2X_3 + X_5 + \\ X_8 + 2X_9 + X_{11} &= 5 \end{aligned}$$

Cada variable X representa la cantidad del patrón factible correspondiente para cumplir con la demanda de los cortes.

Para facilitar la programación de la solución del modelo es necesario transformar las igualdades a sus correspondientes desigualdades. Por lo que el modelo de programación lineal resultante es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & 305X_1 + 185X_2 + 65X_3 + 195X_4 + 75X_5 + \\ & 85X_6 + 265X_7 + 145X_8 + 25X_9 + 155X_{10} \\ & + 35X_{11} + 45X_{12} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} &\geq 1 X_4 + X_5 + \\ 2X_6 + X_{10} + X_{11} + 2X_{12} &\geq 3 X_2 + 2X_3 + X_5 + X_8 \\ + 2X_9 + X_{11} &\geq 5 \\ X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} &\leq 1 X_4 + X_5 + 2X_6 + X_{10} + X_{11} + 2X_{12} \leq 3 X_2 + \\ 2X_3 + X_5 + X_8 + 2X_9 + X_{11} &\leq 5 \end{aligned}$$

Existe una variedad de métodos para resolver un modelo de programación Lineal, siendo el método "Simplex" el más utilizado. Sin embargo, por las características del modelo es recomendable usar el método Dual-Simplex para disminuir iteraciones y como consecuencia disminuir el tiempo de procesamiento.

Para facilitar la utilización del método Dual-Simplex es necesario transformar las restricciones mayor o igual a menor o igual mediante la multiplicación de cada coeficiente por -1.

Por último, se muestra el Error cuadrático medio, de las últimas interacciones de la Red Multicapa. Véase tabla 2 y la imagen 6.

$$\begin{aligned} -X_7 - X_8 - X_9 - X_{10} - X_{11} - X_{12} &\leq -1 \\ -X_4 - X_5 - 2X_6 - X_{10} - X_{11} - 2X_{12} &\leq -3 \\ -X_2 - 2X_3 - X_5 - X_8 - 2X_9 - X_{11} &\leq -5 \end{aligned}$$

La solución del modelo puede ser encontrada mediante la utilización de un software dedicado, entre ellos se encuentra Microsoft Excel® y Lingo®. Sin embargo, por su simplicidad se eligió este último y se encontró la solución óptima con X3=1, X5=1, X6=1 y X9=1.

Por lo que la solución. es adquirir 4 PTR para ser cortados con los patrones 3, 5, 6 y 9. El desperdicio generado (función objetivo) es de 250cm. Es importante mencionar que pueden existir diferentes soluciones; es decir, diferentes maneras de cortar la materia prima y obtener el mismo resultado.

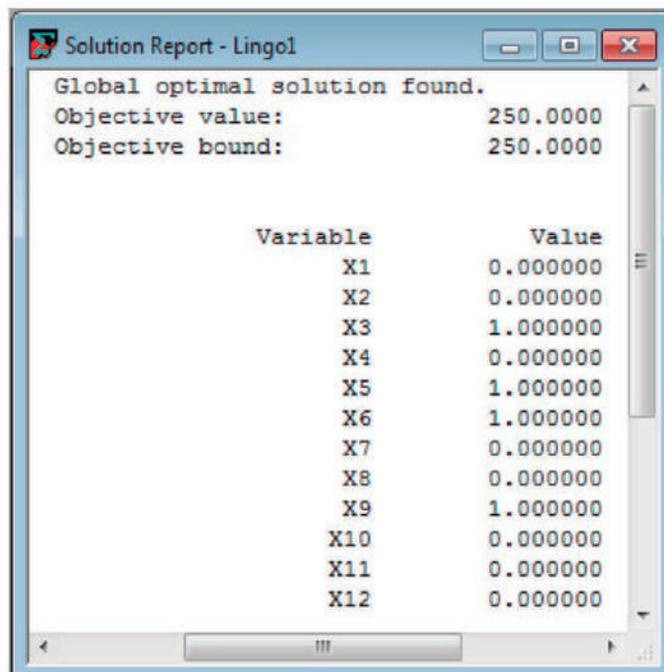


Figura 9. Solución del modelo en LINGO®

El uso de un software para la solución de modelos de Programación Lineal tiene un costo, además estos no resuelven de manera directa el problema de patrones de corte, por lo que es necesario tener

personal que tenga conocimiento del tema y manejo del software.

Por este motivo, resulta conveniente diseñar y desarrollar un programa que se adapte a las necesidades de la empresa que sea relativamente sencillo de manejar y con un costo reducido a comparación de programas comerciales.

A continuación se muestra el programa desarrollado en la consola de Windows en lenguaje C.

```

C:\Users\Carlos\Desktop\CiLOG\Programa.exe
*****
*****  MINIMIZACION  *****
*****
-Z = -305.0 X1 -185.0 X2 -65.0 X3 -195.0 X4 -75.0 X5 -85.0 X
6 -265.0 X7 -145.0 X8 -25.0 X9 -155.0 X10 -35.0 X11 -45.0 X1
2

Sujeto a:
0 X1 0 X2 0 X3 0 X4 0 X5 0 X6 -1 X7 -1 X8 -1 X9 -1 X10 -1 X1
1 -1 X12 <= -1.0
0 X1 0 X2 0 X3 -1 X4 -1 X5 -2 X6 0 X7 0 X8 0 X9 -1 X10 -1 X1
1 -2 X12 <= -3.0
0 X1 -1 X2 -2 X3 0 X4 -1 X5 0 X6 0 X7 -1 X8 -2 X9 0 X10 -1 X
11 0 X12 <= -5.0

0 X1 0 X2 0 X3 0 X4 0 X5 0 X6 1 X7 1 X8 1 X9 1 X10 1 X11 1 X
12 <= 1.0
0 X1 0 X2 0 X3 1 X4 1 X5 2 X6 0 X7 0 X8 0 X9 1 X10 1 X11 2 X
12 <= 3.0
0 X1 1 X2 2 X3 0 X4 1 X5 0 X6 0 X7 1 X8 2 X9 0 X10 1 X11 0 X
12 <= 5.0
    
```

Figura 12. Modelo de programación en el programa desarrollado

```

C:\Users\Carlos\Desktop\CiLOG\Programa.exe
*****
*****  C i L O G  *****
*****
Longitud de la barra (materia prima): 305
*****
Número de cortes del material: 3
*****
Introducir el valor del corte (1): 40
Introducir el valor del corte (2): 110
Introducir el valor del corte (3): 120
*****
Introducir la demanda del corte (1): 1
Introducir la demanda del corte (2): 3
Introducir la demanda del corte (3): 5
    
```

Figura 10. Introducción de los datos en el programa desarrollado

```

C:\Users\Carlos\Desktop\CiLOG\Programa.exe
305.0  152.5  0.0  152.5  0.0  0.0  305.0  152.
5      40.0  0.0  0.0  0.0  0.0  42.5  32.5
= -250.0

Nuevo modelo
0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
0.0  0.0  0.0  0.0  1.0  0.0  0.0  1.0
0.0  0.0  = 0.0

0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  1.0  1.0
1.0  1.0  1.0  1.0  0.0  0.0  0.0  1.0
0.0  0.0  = 1.0

-0.0  -0.0  -0.0  1.0  1.0  2.0  -1.0  -1.0
-1.0  -0.0  -0.0  = 2.0
-1.0  -0.0  -0.0

0.0  0.5  1.0  -0.5  0.0  -1.0  0.0  0.5
1.0  -0.5  0.0  -1.0  0.0  0.5  -0.5  0.0
0.0  0.0  = 1.0

0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  1.0  0.0  0.0
1.0  0.0  = 0.0

0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  1.0  0.0
0.0  1.0  = 0.0

Nuevas variables basicas:
1  X13
2  X11
3  X5
4  X3
5  X17
6  X18
    
```

Figura 13. Solución del modelo de programación en el programa desarrollado

```

C:\Users\Carlos\Desktop\CiLOG\Programa.exe
*****
*****  COMBINACIONES POSIBLES  *****
*****
0  0  0  305
0  0  1  185
0  0  2  65
0  1  0  195
0  1  1  75
0  1  2  -45
0  2  0  85
0  2  1  -35
0  2  2  -155
1  0  0  265
1  0  1  145
1  0  2  25
1  1  0  155
1  1  1  35
1  1  2  -85
1  2  0  45
1  2  1  -75
1  2  2  -195

Existen 18 combinaciones posibles

*****
*****  COMBINACIONES FACTIBLES  *****
*****
1  0  0  0  = 305
2  0  0  1  = 185
3  0  0  2  = 65
4  0  1  0  = 195
5  0  1  1  = 75
6  0  2  0  = 85
7  1  0  0  = 265
8  1  0  1  = 145
9  1  1  0  = 25
10 1  1  1  = 155
11 1  2  0  = 35
12 1  2  1  = -75
    
```

Figura 11. Despliegue de las combinaciones posibles

Los resultados obtenidos con el programa desarrollado son:

- X11=1
- X5=2
- X3=1
- 250 cm de desperdicio de materia prima generado en el proceso.

En términos generales, el algoritmo desarrollado para resolver el problema de patrones de corte es el siguiente:

- 1) Introducir datos (longitud de la materia prima, número, longitud y demanda de los cortes correspondientes).
- 2) Generar y limitar todos los patrones de corte.
- 3) Seleccionar y guardar los patrones de corte factibles.
- 4) Construir el vector de la función objetivo de minimización con el vector de desperdicio factible.
- 5) Construir la matriz de coeficientes de las restricciones mayor o igual.
- 6) Construir el vector de los recursos; es decir la demanda de cada tipo de corte.
- 7) Resolver el modelo mediante el método Dual- Simplex.

El programa, facilita la introducción de los datos por medio de una tabla donde el usuario primero agrega el número de cortes necesarios y después la medida y cortes necesarios. Asimismo, el usuario tiene opción de agregar el tipo de material, y finalmente la longitud de la materia prima a cortar. Una vez ingresados los datos, el usuario únicamente necesitará en dar clic en el botón de iniciar y el programa se encargará de arrojar la solución en una ventana emergente de la cantidad de material a ordenar, así como de los patrones de corte para la orden de producción.

	Indice	Medida del corte	Cortes necesarios	Material	Medida material
	0	40	1	1	305
	1	110	3	1	305
	2	120	5	1	305

Figura 15. Ingreso de datos en el programa

Dicho programa, fue desarrollado principalmente para comprobar el correcto funcionamiento del algoritmo, como se mencionó anteriormente, la desventaja es el hecho que al no ser un entorno gráfico puede llegar a ser complicado de usar por alguien que no esté familiarizado con el entorno. Es por ello que, una vez comprobado el correcto funcionamiento, se desarrolló la misma herramienta en la interfaz gráfica de Windows utilizando lenguaje C# y el entorno de desarrollo Visual Studio.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El programa actualmente se encuentra en estado de prueba y se busca integrar con todos los materiales de la producción. Cabe mencionar que en el presente trabajo, se estudió un caso específico; sin embargo, el programa está generalizado para cualquier caso con un límite impuesto de hasta mil variables en el modelo.

Hasta el momento la empresa ha disminuido considerablemente los problemas por una mala planeación de los materiales al inicio de su proceso productivo, pero aún es necesaria la opción del material en inventario para un mejor seguimiento.

A raíz del desarrollo del presente trabajo surge una nueva aplicación, al tener la orden de producción con los patrones de corte es posible automatizar el proceso de corte mediante un controlador, ya sea un PLC, un Microcontrolador o una combinación de estos mediante la comunicación del programa desarrollado.

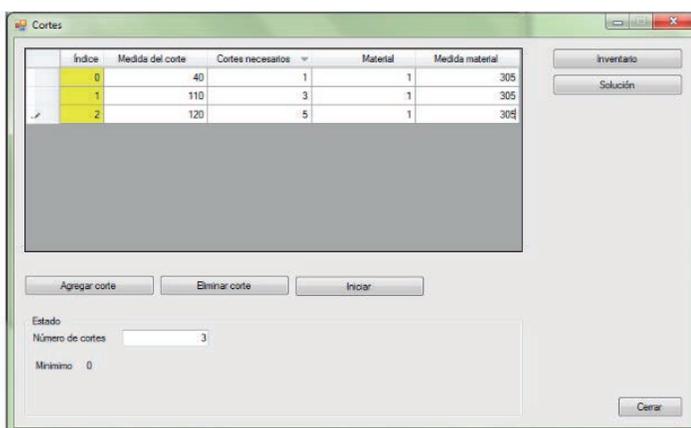


Figura 14. Solución del modelo de programación en el programa desarrollado

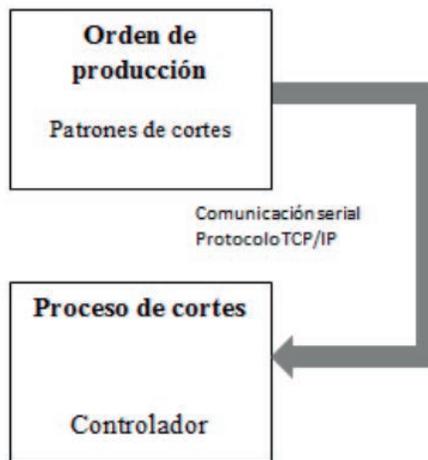


Figura 16. Diagrama general para la automatización del proceso de cortes

[9] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, "Perfil de la industria del hierro y del acero en México", Aguascalientes, México, 2016.

[10] Ibrahim Muter, Zeynep Sezer, "Algorithms for the one dimensional two- stage cutting stock problem", *European Journal of Operational Research*, vol. 271, pp. 20-32, 2018.

[11] Talib Hasson Saad, "A contribution in materials requirement planning techniques", ResearchGate, online, 2007.

[12] Yaodong Cui, Cheng Zhong, Yi Yao, "Pattern-set generation algorithm for the one-dimensional cutting stock problem with setup cost", *European Journal of Operational Research*, vol. 243, pp. 540-546, 2015.

[13] Hamdy A. Taha, "Investigación de operaciones", Pearson, ed. 9, cap. 7, 2012.

[14] P. C. Gilmore, R. E. Gomory, "Programming approach to the cutting- stock problem", *Operations Research*, vol. 9, n° 6, pp. 849-859, 1961.

[15] Lin Pei-Chun, "Optimal solution of one dimension cutting stock problem", *These and Dissertations*, paper 286, 1994.

REFERENCIAS

[1] JA González, "Diagnóstico sobre la planeación y control de proyectos en las PyMEs de construcción", *Revista de la construcción*, vol. 9, n°1, pp. 17 – 25, 2010.

[2] Stadtler H., "Supply chain management and advanced planning-basics, overview and challenges", *European Journal of Operational Research*, 163(3), pp. 575-588, 2005.

[3] Karl E. Kurbel, "Enterprise resource planning and supply chain management: functions, business process and software for manufacturing companies", eBook, Springer, pp. 1-8, 2013.

[4] Wight OW, "Manufacturing resource planning: MRP II – unlocking America's productivity potential", Revised edition, Wiley, 1984.

[5] W. Torbacki, "SaaS – direction of technology development in ERP/MRP systems", *Archives of material science and engineering*, vol. 32, pp. 57-60, 2008

[6] Joaquín Delgado y Fernando Marín, "Evolución en los sistemas de gestión empresarial. Del MRP al ERP", *Economía industrial*, n° 331, pp. 51-58, 2000.

[7] Saiful Islam, "Development of material requirements planning (MRP) software with c language", *Global journal of computer science and technology software & data engineering*, online, vo.13, n°3, 2013.

[8] Chapman Stephen N., "Planificación y control de la producción" Pearson Educación, 2006.

Integración de la función de pérdida al control estadístico de procesos: Caso de estudio en el sector textil

Jorge Barrios Sanchez
Estudiante de Maestría Universidad de Guanajuato
UG, Yuriria, Guanajuato, México.
Jm.barriossanchez@ugto.mx

Roberto Baeza Serrato
Profesor Investigador.
Universidad de Guanajuato UG,
Yuriria, Guanajuato, México.
r.baeza@ugto.mx

Everardo Vargas Rodríguez
Profesor Investigador Universidad de Guanajuato UG,
Yuriria, Guanajuato, México.
evr@ugto.mx

Resumen—La principal contribución de esta investigación es la integración de la función de pérdida en el monitoreo de una gráfica de control de procesos de individuales. La metodología está integrada por cinco etapas: recolección de datos, gráficos de control, cálculo de función de pérdida, enfoque propuesto de integración y análisis de resultados. El enfoque propuesto se valida en una empresa textil, dedicada a la fabricación de prendas por medio de la técnica de tejido de punto. Se obtuvieron los registros de los desperdicios de los pesos de 100 lienzos en el departamento de corte para los componentes: cuello, manga y cuerpo. Se realiza el monitoreo a través de una gráfica de control de proceso y en la misma gráfica se calcula la función de pérdida individual para cada registro. Finalmente se calcula la función de pérdida global de la serie de 100 datos, dando como resultado una pérdida de 4.6 pesos por prenda disminuyendo la ganancia. En la producción anual de 500.000 prendas representa una pérdida de alto impacto de 2.300.000. El enfoque propuesto permite hacer reflexión de la pérdida económica del proceso de producción y hacer los ajustes correspondientes para optimizar la meta financiera de la organización y mejorar el cumplimiento del diseño del producto. Los resultados obtenidos permiten replicar el enfoque propuesto en cualquier sector productivo o de servicio.

Palabras Clave—componentes; tejido de punto; control; función de pérdida, monitorización.

I. INTRODUCCIÓN

El sector textil se considera una actividad de las denominadas “maduras”, y sin embargo está demostrando una alta capacidad de innovación y de avance tanto a los cambios de temporada, como a las modificaciones funcionales y estéticas requeridas por la evolución cultural, especialmente por la presión de consumidores exigentes, la inserción de nuevos competidores y nuevas oportunidades para las PYMES, siendo la apuesta por la innovación continua lo que da al sector un carácter estable y una dimensión estratégica [1].

La industria textil es un sector significativo para la economía mexicana, tanto en términos de generación de empleo como de exportaciones. El ramo textil mexicano ha logrado exportar 4.695 millones de dólares, ubicándose como el quinto proveedor a nivel mundial, y ha logrado ser el tercer generador más importante del PIB [2].

El 60% de las exportaciones totales textiles del país se destinan a EUA. Esta proporción es más alta en prendas de vestir (91.8%) donde existe mayor protección por parte de EUA, contra importaciones asiáticas.

El segundo mercado en importancia es el resto de los países del Continente Americano, donde se analiza el 22% de las exportaciones mexicanas de este sector. En esta región, México tiene celebrados distintos tratados de libre comercio con Nicaragua, Costa Rica, Venezuela, Colombia, Bolivia y Chile. El 18% de las exportaciones de la cadena se destina a países de fuera del continente [3]. La actividad económica del país impacta inevitablemente a sus proveedores y a sus subcontratistas, en su mayoría Pymes que se ven impuestas a adoptar los criterios internacionales de negocios internacionales de mayor tamaño [4]. En la ciudad de Moroleón ubicada al sur de Guanajuato se encuentran alrededor de 2000 PYMES registradas, estas se han convertido en el principal centro de producción y comercialización textil de la región [5]. A partir del análisis del desarrollo de la industria del suéter en Moroleón, Guanajuato, forma parte de una red de pequeñas ciudades industriales del occidente de México [6].

El caso de estudio se centra en la empresa “Textiles Renata”, dedicada a la fabricación de ropa de tejido de punto, la cual es una estructura básica realizada con una fontura de agujas en una máquina rectilínea.

La principal característica de esta estructura es que el derecho y el revés de la tela son fácilmente reconocibles. Otras características de este tejido son su facilidad de estirarse tanto vertical como horizontalmente, su finura y su bajo peso.

Desventajas: Si se rompe una puntada, el tejido se corre fácilmente, el tejido tiende a su vez a enrullarse los orillos; hacia el envés en los laterales y hacia el haz en las orillas superior e inferior [7].

En el proceso de corte se cuenta con un molde con medidas y pesos estándar, para diversas tallas. Se posiciona el molde sobre el lienzo para dibujar el área a cortar. Se realiza el cortado y se genera un desperdicio, el cual se pesa en una báscula digital y se registra en una base de datos. El objetivo del proyecto es aplicar el control estadístico de procesos al departamento de tejido e integrar la función de pérdida de Taguchi para hacer relevancia en el aspecto económico debido a los desperdicios en el proceso de cortado.

La definición de calidad según Taguchi es la pérdida que un producto causa a la sociedad, después de haber sido entregado, esta definición es la primera que considera a la calidad como una pérdida, la que puede ser ocasionada tanto por las desviaciones en la característica de calidad como por los efectos secundarios del producto.

A partir de esta manera de entender la calidad, Taguchi diseñó y aplicó un conjunto de métodos que permiten a las organizaciones mejorar sus estándares de calidad. La función de pérdida de la calidad para el análisis de las pérdidas debidas a la calidad, Taguchi desarrolló la Función de Pérdida, la cual se representa por una función cuadrática con vértice en el valor nominal m de la característica de calidad. Permite ver que, a medida que el valor de la característica de calidad se aleja de m , la calidad decae y, por lo tanto, las pérdidas aumentan, es decir, aun estando dentro

de las especificaciones, los niveles de calidad de los productos pueden variar [8].

Se define al control estadístico de la calidad como la aplicación de diferentes técnicas estadísticas a procesos industriales (mano de obra, materias primas medidas, máquinas y medio ambiente), procesos administrativos y/o servicios con objeto de verificar si todas y cada una de las partes del proceso y servicio cumplen con unas ciertas exigencias de calidad y ayudar a cumplirlas, entendiendo por calidad la aptitud del producto y/o servicio para su uso.

Sus principales objetivos son:

1. Detectar rápidamente la ocurrencia de variabilidad debida a causas asignables.
2. Investigar la(s) causa(s) que la han producido y eliminarla(s).
3. Informar de ella para la toma de decisión oportuna, pues de lo contrario se producirían gran cantidad de unidades de calidad no aceptable, originando una disminución de la capacidad productiva e incremento de costos del producto terminado (supervisor).
4. Eliminar, si es posible, o al menos reducir al máximo la variabilidad del proceso (dirección).

Por medio del control estadístico obtendremos una menor variabilidad en el proceso de corte del cuerpo y cuello de la camiseta para a si identificar las problemáticas que causan estas en el proceso y poder obtener conclusiones de próximas mejoras al proceso de cortado de la prenda [9].

La contribución principal de este artículo, es integrar la función de pérdida al control estadístico de procesos, obteniendo una herramienta de control de calidad robusta; permitiendo el monitoreo holístico del comportamiento de los procesos.

II. LITERATURA

En esta sección se presentan los resultados de una búsqueda relevante de investigaciones con aplicaciones de la función de pérdida de calidad y el control estadístico.

En [10] implementaron una función de pérdida que realiza un método mejorado de la función de pérdida de Taguch, mejorando la capacidad del proceso y teniendo una función de pérdida que es más sensible a las pérdidas y al nuevo proceso. Realizaron una extensión a la teoría agregando una nueva K denominada K2 para los datos o medidas que están por fuera de los límites de especificación.

En [11] el propósito es presentar y discutir la aplicación de la selección de propiedades inmobiliarias por un corredor a sus clientes. Se identifica aquellas propiedades que mejor se ajustan a las preferencias del comprador, siendo distancia al trabajo, tamaño de la casa, ubicación a la escuela, número de baños las características que tienen en cuenta para medir la función de pérdida de calidad, dependiendo de lo que más se ajuste a los clientes y darle la mejor opción al cliente.

En [12] se determina la utilidad de una heurística, se implementa una política de programación y se usa para minimizar la tardanza y cantidad de inventario completo disponible. Este documento, sugiere una posible solución al problema de la planificación de criterios múltiples utilizando las funciones de pérdida de Taguchi como una función objetiva para el algoritmo de planificación o heurística.

En [13] proponen leyes de pérdida de calidad, que son de distribución simétrica y asimétrica, con modelos más adecuados, que dan una mejor aproximación a lo que buscan las empresas. En [14] se realiza un análisis de los procesos de producción en las Industrias mineras verdes basadas en beneficios económicos, ambientales y factores de riesgo por medio de la función de pérdida de Taguchi.

El método propuesto se utiliza para medir la pérdida debida a la externalizar el desempeño del proveedor para los factores de riesgo y beneficio pertinentes e identificar al mejor proveedor para realizar una función de *outsourcing* en la producción de la industria minera.

En [15] utilizan la función de pérdida de Taguchi para la inclusión de intangibles en la evaluación y selección de proveedores. definen los factores que tienen un impacto en la selección de un proveedor apropiado pero que no se cuantifican fácilmente, para ser incluidos en una evaluación financiera.

En [16] se realizan mediciones numéricas con respecto a la calidad de un software en la que se aplica la función de pérdida de Taguchi, definen la calidad del software en términos de “pérdida impartida a la sociedad” después de que un producto de software es entregado al usuario final, se realizan encuestas a los clientes para saber cuál es la satisfacción del cliente.

En [17], analizan un sistema de evaluación y selección de los proveedores de una empresa utilizando la función de pérdida de Taguchi.

Mientras que, en [18] se establece un indicador de calidad por medio de atención farmacéutica en un centro con un Sistema Integral de Dispensación Individualizada de Medicación (SIDIM) y prescripción electrónica utilizando un sistema de Control Estadístico de Calidad.

En [19] se presenta un enfoque estadístico para la evaluación de la caída de tensión en un sistema eléctrico de baja tensión, basado en la aplicación de dos herramientas básicas del control estadístico de procesos conocidas como cartas de control y análisis de capacidad de procesos. En [20] se realiza un análisis de las reclamaciones de un área de atención primaria mediante técnicas de control estadístico de procesos, y compararlas con técnicas multivariantes en cuanto a sus resultados y su factibilidad de aplicación en este medio. En [21] propone la aplicación de un modelo para el control de la calidad en un proceso de servicio de crédito.

Dicho modelo parte de la identificación de las causas de variabilidad del proceso, donde se monitorean y analizan las características de calidad que influyen directamente en la satisfacción del cliente final. El propósito fundamental es el aumento de la eficiencia operativa que permita cimentar la cultura de mejoramiento continuo.

Las aplicaciones estudiadas del control estadístico y de la función de pérdida, soportan el desarrollo de este artículo de investigación, siendo como referencia base para el enfoque propuesto.

II. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología diseñada para realización de la investigación.

Tabla 1. Pesos de los desperdicios en el proceso de cortado

ETAPAS	OBJETIVOS	PROCEDIMIENTO
Identificación del caso de estudio	Seleccionar los procesos de producción donde exista mayor pérdida de lienzo en la empresa Textiles Renata.	Análisis de los procesos para la elaboración de la prenda de vestir.
Base teórica	Análisis de las diferentes aplicaciones en la función de pérdida y el control estadístico de procesos.	Bibliografía.
Recopilación de datos	Mostrar los pesos de 100 datos recolectados durante una semana.	Medición de datos mediante los pesos en una báscula digital.
Control estadístico	Identificar variaciones en el control de procesos.	Gráfica de control de procesos.
Función de pérdida de Taguchi.	Calcular la pérdida de la calidad y costo monetario	Gráfica de la función de pérdida y fórmula con sus parámetros asociados.
Integración de la función de pérdida al control estadístico de procesos	Analizar la integración de la función de pérdida al control estadístico de procesos.	Gráfico integrando la función de pérdida al control estadístico
Resultados	Analizar y concluir los resultados obtenidos.	Evaluación de datos y gráficos.

III. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos. Como herramienta informática se utilizó una plantilla de Excel para realizar el procesamiento de los datos y sus gráficas.

A. Control Estadístico

Se realiza un control estadístico con los 100 datos obtenidos durante una semana en el proceso de corte en la PYME Textiles Renata. El instrumento

de medición fue una báscula digital de alta precisión. Se calcula el promedio de los pesos obtenidos y la desviación de los datos con respecto a esa media. Se determinan los límites superior e inferior de control. Ver la Tabla 2.

Los límites de control estadístico son determinados utilizando las ecuaciones 1 y 2.

$$LCL = \mu - 3\sigma \quad (1)$$

$$ULC = \mu + 3\sigma \quad (2)$$

Con los datos obtenidos se determinaron los parámetros principales y se realizó el gráfico de control estadístico. Ver Tabla 2 y Figura 1.

Tabla 2. Límites de control estadístico

Desviación estándar	Promedio
0.00037	0.0347684
Límite inferior	Límite superior
0.0317796218	0.0377571782

En la gráfica de control estadístico se observa un proceso estable, ninguno de los datos se encuentra por fuera de los límites de control estadístico, siendo la medida más cercana al límite superior de 0.03716kg y la medida inferior de 0.03346kg.

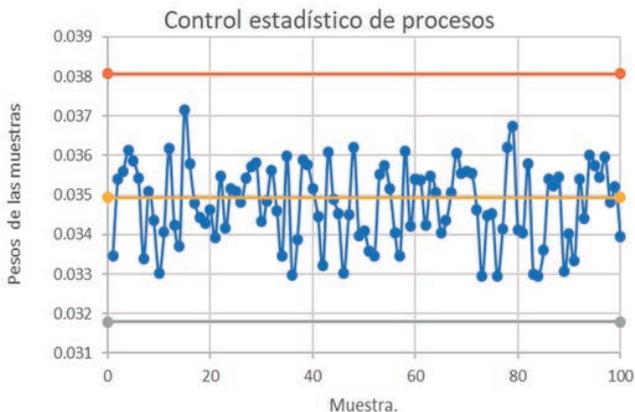


Figura 1. Control estadístico de procesos

gramos de la tolerancia máxima que se tiene y se calcula el valor de A correspondiente a 4.655. Ese valor representa la constante A. La tolerancia es de 35 gramos. Ver ecuación 3 y 4.

$$K = A/\Delta^2 \quad (3)$$

$$\sigma = x^2 \quad (4)$$

$$L = K * (S^2) \quad (5)$$

Para la determinación de la función de pérdida se ordenaron los registros en forma creciente. La característica en estudio es de tipo menor es mejor.

Para determinar la constante K, se reemplazan los datos en la ecuación 3, donde A es 4.655 y la tolerancia es de 0.035kg, dando como resultado una K de 3800.

Los valores con mayor peso son los que tienen una función de pérdida más elevada, la función de pérdida de la serie de datos es de \$4.6 pesos. Ninguna de las medidas tiene una función de pérdida de cero, es decir en todas existe una pérdida parcial para cada registro obtenido. Ver Figura 2.

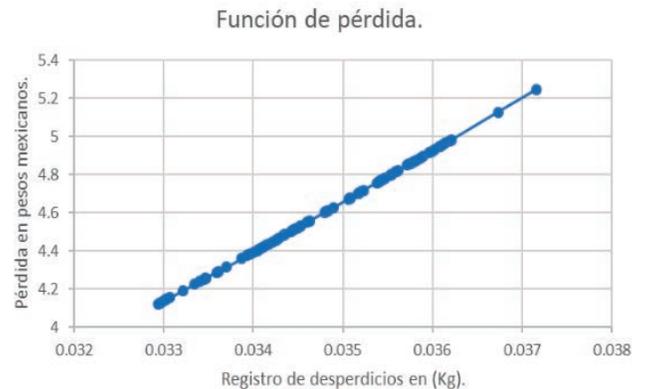


Figura 2. Función de pérdida, menor es mejor

A continuación, podemos observar la tabla de los resultados de la función de pérdida. La tabulación consiste en el ordenamiento de los datos en forma creciente, se determina la desviación cuadrática media, se determina la constante de pérdida K y finalmente la función de pérdida individual L. Ver tabla 3.

B. Función de pérdida

Se identifica el costo por kilogramo del lienzo en 133 pesos, se realiza una proporción con los 35

Tabla 3. Función de pérdida

Orden	Medidas	Desviación	K	Desviación ²	L=K* (S ²)
1	0.03294	0.03294	3800	0.00108504	4.12316568
2	0.03296	0.03296	3800	0.00108636	4.12817408
3	0.03296	0.03296	3800	0.00108636	4.12817408
4	0.03298	0.03298	3800	0.00108768	4.13318552
5	0.03301	0.03301	3800	0.00108966	4.14070838
6	0.03303	0.03303	3800	0.00109098	4.14572742
7	0.03303	0.03303	3800	0.00109098	4.14572742
8	0.03307	0.03307	3800	0.00109362	4.15577462
9	0.03321	0.03321	3800	0.0011029	4.19103558
10	0.03334	0.03334	3800	0.00111156	4.22391128
11	0.0334	0.0334	3800	0.00111556	4.239128
12	0.03345	0.03345	3800	0.0011189	4.2518295
13	0.03346	0.03346	3800	0.00111957	4.25437208
14	0.03346	0.03346	3800	0.00111957	4.25437208
15	0.03347	0.03347	3800	0.00112024	4.25691542
16	0.03359	0.03359	3800	0.00112829	4.28749478
17	0.03361	0.03361	3800	0.00112963	4.29260198
18	0.0337	0.0337	3800	0.00113569	4.315622
19	0.03387	0.03387	3800	0.00114718	4.35927222
20	0.03393	0.03393	3800	0.00115124	4.37473062
21	0.03395	0.03395	3800	0.0011526	4.3798895
22	0.03398	0.03398	3800	0.00115464	4.38763352
23	0.03401	0.03401	3800	0.00115668	4.39538438
24	0.03404	0.03404	3800	0.00115872	4.40314208
25	0.03404	0.03404	3800	0.00115872	4.40314208
26	0.03405	0.03405	3800	0.0011594	4.4057295
27	0.03407	0.03407	3800	0.00116076	4.41090662
28	0.03409	0.03409	3800	0.00116213	4.41608678
29	0.03411	0.03411	3800	0.00116349	4.42126998
30	0.03414	0.03414	3800	0.00116554	4.42905048
31	0.03417	0.03417	3800	0.00116759	4.43683782
32	0.03421	0.03421	3800	0.00117032	4.44723158
33	0.03425	0.03425	3800	0.00117306	4.4576375
34	0.03425	0.03425	3800	0.00117306	4.4576375
35	0.03428	0.03428	3800	0.00117512	4.46544992
36	0.03433	0.03433	3800	0.00117855	4.47848582
37	0.03435	0.03435	3800	0.00117992	4.4837055
38	0.03435	0.03435	3800	0.00117992	4.4837055
39	0.03442	0.03442	3800	0.00118474	4.50199832
40	0.03443	0.03443	3800	0.00118542	4.50461462
41	0.03445	0.03445	3800	0.0011868	4.5098495
42	0.03447	0.03447	3800	0.00118818	4.51508742
43	0.0345	0.0345	3800	0.00119025	4.52295
44	0.03453	0.03453	3800	0.00119232	4.53081942
45	0.03453	0.03453	3800	0.00119232	4.53081942
46	0.0346	0.0346	3800	0.00119716	4.549208
47	0.03463	0.03463	3800	0.00119924	4.55710022
48	0.03463	0.03463	3800	0.00119924	4.55710022
49	0.0348	0.0348	3800	0.00121104	4.601952
50	0.03481	0.03481	3800	0.00121174	4.60459718

Orden	Medidas	Desviación	K	Desviación ²	L=K*(S ²)
51	0.03482	0.03482	3800	0.00121243	4.60724312
52	0.03484	0.03484	3800	0.00121383	4.61253728
53	0.03489	0.03489	3800	0.00121731	4.62578598
54	0.03506	0.03506	3800	0.0012292	4.67097368
55	0.03507	0.03507	3800	0.0012299	4.67363862
56	0.03508	0.03508	3800	0.00123061	4.67630432
57	0.03508	0.03508	3800	0.00123061	4.67630432
58	0.03517	0.03517	3800	0.00123693	4.70032982
59	0.03517	0.03517	3800	0.00123693	4.70032982
60	0.03517	0.03517	3800	0.00123693	4.70032982
61	0.0352	0.0352	3800	0.00123904	4.708352
62	0.03523	0.03523	3800	0.00124115	4.71638102
63	0.03538	0.03538	3800	0.00125174	4.75662872
64	0.0354	0.0354	3800	0.00125316	4.762008
65	0.0354	0.0354	3800	0.00125316	4.762008
66	0.03541	0.03541	3800	0.00125387	4.76469878
67	0.03541	0.03541	3800	0.00125387	4.76469878
68	0.03543	0.03543	3800	0.00125528	4.77008262
69	0.03543	0.03543	3800	0.00125528	4.77008262
70	0.03545	0.03545	3800	0.0012567	4.7754695
71	0.03545	0.03545	3800	0.0012567	4.7754695
72	0.03547	0.03547	3800	0.00125812	4.78085942
73	0.03547	0.03547	3800	0.00125812	4.78085942
74	0.03553	0.03553	3800	0.00126238	4.79704742
75	0.03554	0.03554	3800	0.00126309	4.79974808
76	0.03555	0.03555	3800	0.0012638	4.8024495
77	0.03559	0.03559	3800	0.00126665	4.81326278
78	0.0356	0.0356	3800	0.00126736	4.815968
79	0.03562	0.03562	3800	0.00126878	4.82138072
80	0.03572	0.03572	3800	0.00127592	4.84848992
81	0.03574	0.03574	3800	0.00127735	4.85392088
82	0.03575	0.03575	3800	0.00127806	4.8566375
83	0.03576	0.03576	3800	0.00127878	4.85935488
84	0.03578	0.03578	3800	0.00128021	4.86479192
85	0.0358	0.0358	3800	0.00128164	4.870232
86	0.03582	0.03582	3800	0.00128307	4.87567512
87	0.03586	0.03586	3800	0.00128594	4.88657048
88	0.03589	0.03589	3800	0.00128809	4.89474998
89	0.03596	0.03596	3800	0.00129312	4.91386208
90	0.03599	0.03599	3800	0.00129528	4.92206438
91	0.03602	0.03602	3800	0.00129744	4.93027352
92	0.03607	0.03607	3800	0.00130104	4.94397062
93	0.03608	0.03608	3800	0.00130177	4.94671232
94	0.03611	0.03611	3800	0.00130393	4.95494198
95	0.03614	0.03614	3800	0.0013061	4.96317848
96	0.03619	0.03619	3800	0.00130972	4.97692118
97	0.03621	0.03621	3800	0.00131116	4.98242358
98	0.03621	0.03621	3800	0.00131116	4.98242358
99	0.03673	0.03673	3800	0.00134909	5.12655302
100	0.03716	0.03716	3800	0.00138087	5.24728928

A continuación, se presenta el enfoque propuesto: integración de la pérdida económica para cada registro del control estadístico de proceso. En la figura se puede observar la determinación de la pérdida económica por el no cumplimiento de la tolerancia especificada, utilizando un eje secundario. La línea en color azul, representa los registros individuales y la línea de color naranja, la función de pérdida individual de cada uno de los registros, al ser un comportamiento de tipo menor es mejor el registro más alto que es 0.03716 tiene asociado la función de pérdida mayor que es de 5.2472, mientras el registro menor que es 0.03294 tiene asociado una función de pérdida de 4.12, se comprueba que se tiene una gráfica correcta al tener el comportamiento de menor es mejor. Ver Figura 3.

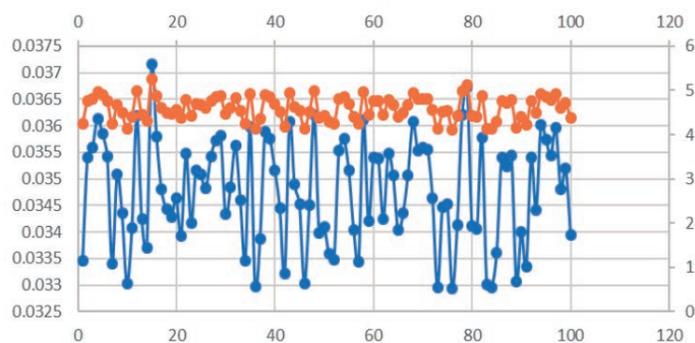


Figura 3. Integración de la función de pérdida al control estadístico

El gráfico final permite identificar la pérdida individual de cada registro y la pérdida global de la serie de datos. La línea verde representa el comportamiento de la característica de calidad del tipo menor es mejor y la línea el color naranja representan las pérdidas individuales de cada uno de los registros, permitiendo hacer reflexión de la urgencia de hacer ajustes de manera pronta para disminuir las pérdidas económicas. Ver Figura 4.

Al tener una integración de estas dos herramientas se tiene una monitorización más completa de proceso. Se puede verificar que el gráfico de control es correcto, analizando el punto más bajo y el más alto. La medida mayor tiene una

pérdida monetaria mayor que corresponde a 5.247 pesos y la menor de 4.12 pesos.

IV. CONCLUSIONES

Se realiza un análisis del gráfico de la función de pérdida integrada al control estadístico de procesos. Se realizó un análisis desde el punto de vista de control de procesos y también del valor económico que se pierde en cada uno de los datos.

En el análisis del gráfico de control estadístico de procesos se observa un comportamiento del proceso estable, dado todos los registros están dentro de los límites de control establecidos, sin embargo, con el enfoque propuesto se observan las pérdidas económicas para cada uno de los registros del proceso estable, brindando oportunidades de una mejor toma de decisiones con el objetivo de disminuir la pérdida económica.

Una de las dificultades del enfoque propuesto, es la conceptualización de la constante de pérdida K . Se debe integrar un equipo multidisciplinario para establecer dicha constante y sea congruente con el proceso en estudio para tener resultados correctos. El enfoque de Taguchi es el valor perdido por el cliente en cuanto varía lo que se ofrecen con lo que obtiene.

En la presente investigación se utiliza un enfoque en la pérdida que tiene el fabricante en su proceso de manufactura de prendas de ropa de tejido de punto. SE obtiene una pérdida de 4.6 pesos en desperdicios del proceso de corte por prenda de ropa, lo cual en el volumen de 500,000 prendas de producción anual es muy significativo con un valor de \$2,300,000. Es de suma importancia la sensibilización de disminuir cualquier tipo de desperdicio, aún sin los gráficos de control muestran un proceso estable, la pérdida económica se tiene con una mínima desviación de los límites establecidos. Como trabajos futuros se considerará desarrollar un enfoque inteligente de la función de pérdida con el objetivo de reconocer los patrones de producción.

REFERENCIAS

- [1] A. C. d. Presidencia, «La innovación en el sector textil-confección de la comunidad valenciana,» Premio Rey Jaime, pp. 5-15, 2008.
- [2] O. A. S. Delgado., «La Industria Textil En Mexico: Tlcan,China, y la Globalización.,» Universidad de Anáhuac, vol. 1, pp. 3-6, 2013.
- [3] «Ibercondor,» Transportes Internacionales y De Aduana, [En línea]. Available: <https://ibercondor.com/blog/la-industria-textil-mexico/>. [Último acceso: 26 04 2019].
- [4] De Villegas, J. A. V. D., & Soto, G. A. S. (2012). Las MIPYMES en el contexto mundial: sus particularidades en México. Iberóforum. Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana, 7(14), 126-156.
- [5] A. O. M. Ortiz, «Sector Exportador de Guanajuato Textiles,» Jóvenes En la Ciencia, vol. 3, n° 2, pp. 2-3, 2018.
- [6] A. Martínez, «Moroleón, Sus inicios y 200 años de laboriosidad,» Colección de Monografías Municipales, vol. 2, N.º 1, pp. 10-20, 2010.
- [7] I. Barreto, «Fada UBA,» [En línea]. Available: <http://cursos.fadu.uba.ar/apuntes/Indumentaria%20I/unidad%20practica%20n%20%20I/6%20a>.
- [8] M. P. L. G. A. Hernández, «La Metodología Taguchi En el Control Estadístico de calidad,» Investigación Operativa, vol. XXIII, n° 37, pp. 65-83, 2015.
- [9] «Control Estadístico de Calidad,» [En línea]. Available: http://ocw.usal.es/eduCommons/ciencias-sociales-1/control-estadistico-de-la-calidad/contenido/ocw_cabero/01_asignaturaCC/Temario/Tema1.pdf?fbclid=IwAR2EOqGPhp9ADrHrXV8n8cTqvSde5nZUWKAdJafMGGIjkQV_fZ7WsGw2Xuw. [Último acceso: 24 04 2019].
- [10] R. Y. M. I. M. Abdolshah, «A new technique to measure process capability with Taguchi loss functions,» International Conference on Information Management and Engineering, pp. 4-6, 2019.
- [11] B. D. W. & T. A. R. Bryan Kethley, «Improving customer service in the real state industry,» Total Quality Management, vol. 13, n° 6, pp. 3-6, 2014.
- [12] W. a. L. C. i, «Supplier Evaluation and Selection using Taguchi Loss Functions,» International Journal Advanced Manufacturing Technology, vol. 26, n° pp, pp. 155-160, , 2005.
- [13] S. Ordodabi, «Application of Taguchi loss functions for supplier selection,» Cemerlad insight, vol. 14, n° 1, pp. 22-30, 2009.
- [14] IVAKUMAR, Ramakrishnan; KANNAN, Devika; MURUGESAN, Palzha. Green vendor evaluation and selection using AHP and Taguchi loss functions in production outsourcing in mining industry. Resources Policy, 2015, vol. 46, p. 64-75.
- [15] KINGBEHIN, Kiumi. Taguchi smaller-the-best software quality metrics. En 2009 10th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligences, Networking and Parallel/Distributed Computing. IEEE, 2009. p. 585-588.
- [16] PI, Wei-Ning; LOW, Chinyao. Supplier evaluation and selection using Taguchi loss functions. The International Journal of Advanced Manufacturing.
- [17] Technology, 2005, vol. 26, no 1-2, p. 155-160.
- [18] GASPAR, M., et al. Establecimiento de un indicador de calidad de atención farmacéutica. 2009.

Proceso de implementación y supervisión de un modelo de control del riesgo operativo para una sofipo enmarcado en la metodología COSO

¹Nelson Yamid Cely Salamanca, ²Isabel Casares San José-Martí y ³Misaela Francisco Márquez

1,3. Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Instituto Politécnico Nacional-UPIICSA
Av. Té 950, Col. Granjas México, C.P. 08400,
Ciudad de México, México.

2. Presidenta de CASARES, ASESORIA
ACTUARIAL Y DE RIESGOS, S.L.
C/ Edgar Neville, 9 - 4ºD (Esquina C/Hernani)
28020 Madrid

nelsoncelysalamanca@gmail.com,
mcasares@mcasares.es,
mfrancisco@ipn.mx

Resumen—En el desarrollo organizacional actual, el tema de riesgos está tomando gran relevancia debido a la volatilidad y dinámica de los mercados y las crisis financieras presentadas alrededor de los años 90 y luego entre el 2006 y 2008; para entender el origen de este modelo de gestión, también es necesario considerar que las entidades bancarias son las más sensibles y expuestas a riesgos, por ello es que desde allí surge un marco para mejorar el control y la evaluación de los riesgos, dentro de esta categoría se puede considerar el modelo desarrollado por el Committee of Sponsoring de la Commission Treadway (COSO) que en su última versión se presenta como un Enterprise Risk Managment (ERM). La presente investigación se centra en la implementación de un modelo que permita a una entidad del sector financiero mejorar el control de los riesgos y garantizar la eficacia y eficiencia en su desarrollo misional, la investigación actualmente presenta resultados sobre: los principales modelos y metodologías de control del riesgo operativo, el diagnóstico de los elementos del modelo de control de riesgos presente en la organización enmarcado en COSO III y la elaboración de una matriz de riesgos para evaluar los mismos. A futuro se espera pasar a desarrollar e implementar los elementos que permitan llevar a una madurez el modelo de control de riesgo operativo en la organización. La idea con el proyecto es extrapolar el modelo diseñado y dar uso a COSO ERM 2017, al nivel que se usa la ISO 31000, aplicándolo en empresas de cualquier sector, incluidas por supuesto las empresas del sector logístico.

Palabras Clave— riesgo operacional, comité de Basilea, COSO, SOFIPO, ISO 31000.

I. INTRODUCCIÓN

Considerando que el riesgo operacional empezó a tomar relevancia a partir de los años noventa, y que fue conocido gracias a noticias de fraude de compañías multinacionales, asociado a los falsos reportes de estados financieros ante los entes reguladores, lo que llevo a fuertes consecuencias de perdidas para el sector financiero y la economía en general. El riesgo operacional siempre ha sido inherente al sistema bancario por el tipo de recursos que maneja, consientes de ello el comité de Basilea en el año 2004 emite un acuerdo conocido como Basilea II donde da relevancia al riesgo operacional y lo pone al nivel del riesgo de crédito y el riesgo de mercado. Como se verá más adelante en este artículo, en este acuerdo y en publicaciones posteriores el comité de Basilea sienta las bases para la formulación de un modelo de control interno que permita mitigar el riesgo operativo.

Derivado de esto entidades consultoras y agremiaciones allegadas al sector financiero, empiezan a construir desde su amplia experiencia modelos que se pudieran implementar a las organizaciones financieras y que dieran respuesta a las regulaciones propuestas por el comité de Basilea. Es así que firmas como: KPMG quien diseño su esquema de consultoría, Deloitte y PWC que se asociaron con el comité de organizaciones patrocinadoras de la comisión Treadway y trabajan hoy por hoy en la actualización de COSO, que está en su versión 2017. El instituto de auditores internos trabajo en su propio modelo de gobierno diseñando el esquema de las tres líneas de defensa; y porque no una organización como la ISO al ver que los modelos de gestión de riesgos se estaban enfocando en un sector específico decide elaborar la ISO 31000 como norma no certificable, que ofrece un modelo para que empresas de todo tipo no solo financieras empiecen a tratar sus riesgos.

En este proyecto se parte de la revisión literaria de los principales modelos creados para el tratamiento de los riesgos operativos como lo son Acuerdo de Basilea, la norma ISO 31000, el modelo COSO III,

para ello se partió de una consulta en bases de datos de amplia divulgación y haciendo uso también de informes de las firmas consultoras, esto último considerando que no se disponen de muchos artículos donde se publique específicamente la aplicación de los modelos y metodologías acá expuestos.

Luego se presenta un caso de estudio que ofrece como ventaja, acercar al lector al diagnóstico de un modelo de control del riesgo operativo enmarcado en COSO III así como a la elaboración de una matriz de riesgos para la evaluación de los mismos. Al final del artículo y derivado de la revisión bibliográfica, se hacen algunos planteamientos de aplicación de futuros avances en la investigación como lo es el desarrollo y la implementación de métodos cuantitativos para la definición de las reservas de capital por riesgo operativo y otra propuesta que plantea el uso de ISO 31000 a empresas del sector logístico.

II. EL MODELO DE LAS CUATRO LNEAS DE DEFENSA

Una guía revisada y que sirve para la definición de una estructura que ayude a la implementación y el mantenimiento de un sistema de control interno adecuado, es la que se encuentra en el paper “The four lines of defence model for financial institutions” [1] emitido por the Bank for International Settlements y que se resume en la Figura 1.



Figura 1. Modelo de las 4 líneas de defensa
Fuente: Elaboración propia

Se puede definir como lo contempla el libro rojo de la OCEG [2] que comprende, las unidades de negocio, áreas operativas con sus respectivas medidas de control interno en la primera línea de defensa, las cuales están respaldadas en la segunda línea de defensa, donde se encuentran las funciones de cumplimiento y gestión de riesgos que proveen el monitoreo de los controles implementados, la tercera línea de defensa está compuesta por los auditores internos que proveen el aseguramiento del gobierno corporativo, la gestión del riesgo y el cumplimiento o los controles y en la cuarta línea de defensa [1] se encontrarían para las entidades financieras los supervisores delegados por los organismos de regulación y los auditores externos de la firma, los cuales junto a los auditores internos deben generar una estrecha relación para garantizar la eficacia del sistema de control interno.

El garantizar que una organización cuente con una estructura claramente definida, como la expuesta en la de las 4 líneas de defensa, garantizara un mayor grado de eficacia del sistema de control interno, independiente del modelo que escoja de los que se mencionan y explican a continuación.

III. PRINCIPALES MODELOS PARA EL TRATAMIENTO DEL RIESGO OPERATIVO

Hace más de una década que el comité de Basilea [3], comité creado por las principales entidades financieras del mundo, para analizar y regular la operación financiera a nivel global y que toma su nombre por la ubicación de sus oficinas en la ciudad sueca que lleva este nombre, puso en evidencia la importancia de considerar al riesgo operacional en el mismo nivel de riesgo de crédito y del riesgo de mercado en el sector financiero [4]. Eventos como los ocurridos en los 90 en firmas como ENRON, SUMITOMO CORP, XEROX, entre otras que trataron el riesgo operacional de manera reactiva, impulsaron la definición y parametrización de este tipo de riesgo, es así como, el comité de Basilea

menciona que la practica de tratar el riesgo operacional en una entidad financiera no es una práctica nueva, de hecho, siempre se ha tratado el riesgo de prevenir fraudes, mantener controles internos íntegros y reducir errores entre otras actividades. Sin embargo, era necesario brindar una guía de parte del banco de bancos centrales (Basilea) sobre el tratamiento del riesgo operacional con un enfoque anticipado y cuantitativo. Es entonces que se emite una nueva versión del acuerdo de Basilea conocido como Basilea II.

A. Basilea II

Esta propuesta del comité se fundamenta en tres pilares [3], en su primer pilar, establece los lineamientos para definir el requerimiento de capital de un banco y el nivel de riesgo en que este pueda incurrir. Lo que en esencia se puede traducir en que los bancos tengan el capital suficiente para protegerse de riesgo de crédito, riesgo operacional y el riesgo de mercado.

Basilea II presenta tres alternativas o modelos para el cálculo del capital requerido, a saber: Metodología del indicador básico, el método estándar, métodos de medición avanzados (AMA), no obstante la recomendación del comité es que cada entidad defina sus propios modelos de estimación, toda vez que serán más precisos y tendrán menores requerimientos de capital; el segundo pilar define la necesidad de ejercer una supervisión efectiva de las entidades financieras que permita a los supervisores un control solido y el mejoramiento de sus procesos; por ultimo el pilar tres busca que el comportamiento del mercado motive una buena administración que fomente la transparencia de los reportes públicos de los bancos y un nivel más alto de autodisciplina.

Sobre el manejo de riesgo operacional, el comité de Basilea publico un documento aclaratorio titulado "Sound Practices for the management and supervision of operational risk" [3]. En este documento el comité aclara que cada entidad tiene autonomía para identificar los generadores de riesgo operacional, sin embargo, suministra

una guía de posibles generadores de riesgo operacional con importantes impactos en la organización.

En este mismo documento se suministran diez principios agrupados en 4 niveles que las entidades deben tener en cuenta para dar un buen manejo a la administración de sus riesgos, el primer nivel corresponde al desarrollo de un apropiado ambiente de manejo de riesgos, asociado a tres principios que definen responsabilidades y deberes para la junta directiva y para el presidente de la entidad. El siguiente nivel corresponde a la administración de riesgos que está integrado por cuatro principios enfocados a la identificación, valoración, monitoreo, mitigación y control. El tercer nivel corresponde al papel de los supervisores que esta integrado por dos principios que asignan responsabilidad a los supervisores para exigir a los bancos un sistema efectivo de control de riesgo operacional, y la evaluación regular, directa o indirectamente de estos principios. El cuarto nivel de esta guía corresponde a la revelación de información asociado a un principio que es la definición de los bancos de tener una comunicación pública suficiente para que las partes involucradas puedan medir la exposición al riesgo operacional de la entidad financiera y la calidad de la administración de este riesgo.

B. ISO 31000

Posterior a la publicación del acuerdo de Basilea, empezaron a surgir modelos, por parte de organizaciones consultoras, asociaciones públicas y privadas, orientados a brindar a las organizaciones financieras (principalmente), herramientas para hacer una correcta administración de sus riesgos, un catalizador que permitió el surgimiento del estándar ISO 31000 fue el hecho de que los modelos que surgieron estaban enfocados a sectores específicos mayormente financieros y al sector tecnológico, es por ello que el objetivo general de esta norma es mostrar los principios y las directrices generales para la gestión del riesgo en cualquier tipo de organización [5]. Esta norma a pesar de ser la familia de las normas ISO es una norma no certificable, con este estándar se busca minimizar, gestionar, y controlar cualquier tipo de riesgo.

En el siguiente diagrama se ilustra de manera general la metodología propuesta por ISO 31000.

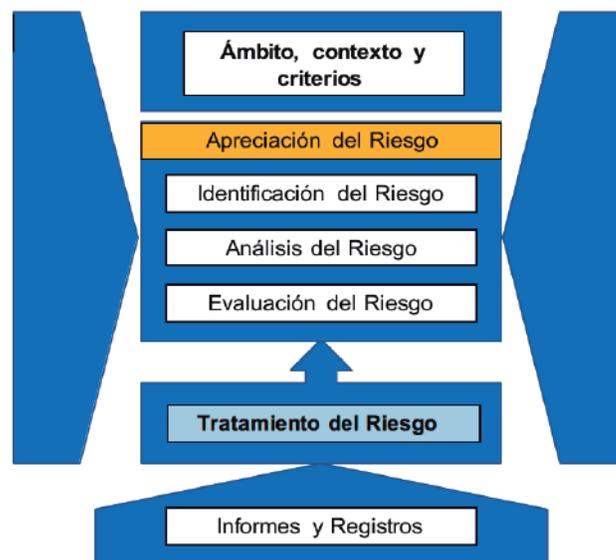


Figura 2. Esquema del modelo para la gestión del riesgo bajo ISO 31000

Como se puede apreciar, el modelo propuesto por ISO 31000, está enmarcado por una constante comunicación y consulta de las partes involucradas [5], el modelo de gestión del riesgo bajo esta norma parte de un establecimiento del contexto, donde se incluye la definición de objetivos, que respondan a lo que se busca con la implementación de este sistema de gestión, cual será el alcance de los mismos, el presupuesto y la asignación de recursos a la vez que se nombren los responsables de liderar y supervisar las políticas y elementos definidos [6].

Dentro del macroproceso de apreciación de riesgos se establece la identificación de los riesgos, su análisis y evaluación; tarea que se puede apoyar en los líderes de cada área, quienes pueden identificar los eventos que pueden sacar de control sus procesos. Espero sea claro para el lector que estos modelos tienen toda una estructura clara, sobre el deber hacer, pero no sobre el como hacerlo o que herramientas emplear.

Posterior a la valoración del riesgo se encuentra el tratamiento del riesgo en donde la organización

debe definir la respuesta que dará al riesgo en cada proceso, esta puede ser: suprimir el riesgo, lo cual puede ser muy raro teniendo en cuenta que la supresión involucraría no ejecutar la actividad o el objetivo organizacional, otra opción es transferir el riesgo, mitigar su impacto o su probabilidad, aceptar el riesgo de buscar un resultado que sea positivo, considerando que se tenga una provisión para hacer frente a un resultado negativo, es importante también mantener informes y registros permanentes de este tratamiento.

Todo lo anterior, según el modelo de ISO debe estar enmarcado por un seguimiento y revisión constante, donde se supervise de manera crítica o de forma continua del estado, con el fin de identificar cambios con respecto al nivel de desempeño definido. La ISO 31000, se puede decir que por su carácter general contempla una definición de este tipo para los riesgos, que en este caso es: “la incertidumbre que surge en la consecución de un objetivo” [5].

C. COSO III

Uno de los métodos que mas se asemeja a los lineamientos definidos en Basilea II y que a su vez es uno de los modelos de mayor divulgación en las compañías financieras es el desarrollado por el Comité de Organizaciones Patrocinadoras de la Comisión Treadway (COSO). En su versión COSO III presenta un esquema de cubo que ilustra la manera como se deben administrar los riesgos [7].

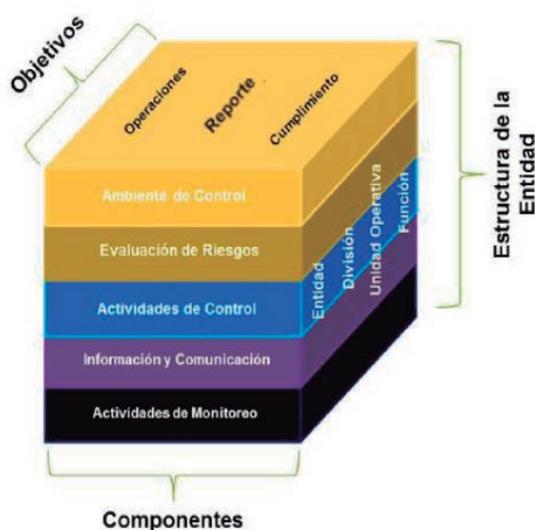


Figura 3. Modelo de control de Riesgos COSO

El cubo de COSO presenta cinco áreas estratégicas con los componentes y los principios que tienen una cobertura transversal [7], el primer componente está relacionado con el ambiente de control, es donde la organización debe establecer la estructura para que exista el compromiso con la integridad y los valores éticos de la empresa. Se debe garantizar, además el ejercicio de las responsabilidades de supervisión y sobre quien recaerán, es necesario establecer también una estructura que evidencie las líneas de autoridad y las responsabilidades y, en último, cerrar el entorno de control con la atracción, el desarrollo y la retención del personal clave [8].

Una vez definido el entorno de control, el siguiente nivel en el cubo es, realizar una evaluación de los riesgos. Para ello, la organización debe considerar que de acuerdo con los objetivos definidos de operación, es necesario hacer una evaluación y un reporte respecto al cumplimiento de estos, a tiempo que según los resultados de la evaluación es necesario identificar y evaluar los cambios relevantes, en este punto es donde se debe hacer la valoración del impacto y la frecuencia de los riesgos.

Posterior a la evaluación de los riesgos se deben realizar actividades de control de acuerdo a los resultados, dentro de estas actividades se tiene como ejemplo, la implementación de políticas y procedimientos, también existen la selección y el desarrollo de actividades de control sobre las personas o sobre las tecnologías, en resumen, estas actividades se deben contemplar en todos los niveles y funciones [7], las actividades de control deben contemplar las estrategias vistas en ISO 31000 como los son: evitar, asumir, mitigar, etc.

Definidas las actividades de control, se debe hacer la divulgación e implementación de las mismas a través del mecanismo que COSO III define como información y comunicación [9], donde se generan contenidos relevantes a todos los niveles de la organización, se establecen y se usan los canales de comunicación interna y se

tiene como premisa que el mensaje debe ser claro por parte de la alta dirección; también es importante la comunicación con accionistas, autoridades gubernamentales y analistas financieros.

El último nivel está relacionado con las actividades de monitoreo, que es con las cuales se reinicia un ciclo de mejora continua, desde este nivel es donde se hacen evaluaciones continuas e individuales y se comunicaran las deficiencias, que permitan tomar las medidas correctivas.

Las actividades descritas anteriormente se consideran, son transversales pues contemplan todos los niveles de la entidad, iniciando con niveles de dirección general, luego se contemplan divisiones que pueda tener la entidad, dentro de cada división los controles diseñados también cubren a las unidades de operación, donde a su vez se definen medidas de control que se implementaran en la ejecución de las funciones (parte lateral del cubo). Los parámetros generales sobre los cuales se mantiene COSO III y que están en la parte superior del CUBO, incluyen la operación, la calidad de los reportes financieros y la conformidad.

En la versión COSO III, cada uno de los 5 niveles expuestos se encuentra conformado por un grupo respectivo de principios que en total por los 5 niveles suman 17 principios.

D. COSO ERM 2017

La última versión de COSO ERM [10], definida como: la gestión de riesgos empresariales o ERM (por sus siglas en inglés): Integración con estrategia y rendimiento, tiene dentro de sus avances proporcionar mayor valor a la gestión del riesgo articulándolo con la estrategia, y llevando a largo plazo a una mejora en el rendimiento y el cumplimiento de los objetivos; adicional facilita las expectativas para la gobernanza y la supervisión, presenta nuevas formas para hacer frente a la cultura de riesgos y lograr los objetivos en el contexto del negocio. Se ajusta mejor al panorama cambiante del riesgo y ayuda a comprender mejor la naturaleza del riesgo, tiene en cuenta que cada una de las elecciones que se hace en las

organizaciones conlleva riesgos y aprovechando esto, tiene presente que, si se consideran los riesgos en la formulación de la estrategia y los objetivos empresariales de una organización, es la administración de riesgos empresariales la que ayudara a optimizar los resultados esperados [10] panorama cambiante del riesgo y ayuda a comprender mejor la naturaleza del riesgo, tiene en cuenta que cada una de las elecciones que se hace en las organizaciones conlleva riesgos y aprovechando esto, tiene presente que, si se consideran los riesgos en la formulación de la estrategia y los objetivos empresariales de una organización, es la administración de riesgos empresariales la que ayudara a optimizar los resultados esperados [10].

La nueva versión tiene en cuenta que las causas más significativas de la destrucción de valor están presentes en la posibilidad de que la estrategia no se alinee con la misión y la visión de la entidad. Considera que la administración de riesgos empresariales, redundante en una mejora de la selección de estrategias. La elección de una estrategia requiere una toma de decisiones estructurada que analice el riesgo y alinee los recursos con la misión y la visión de la organización. El nuevo marco de COSO incluye los siguientes cinco componentes interrelacionados:

1. Gobierno y cultura.
2. Estrategia y establecimiento de objetivos.
3. Desempeño (rendimiento).
4. Revisión
5. Información.

En esta versión de COSO, se contemplan 20 principios distribuidos en los 5 principios. Sin embargo y, por motivos de alcance de la investigación, el presente trabajo se centra en la versión de COSO III en la sociedad financiera popular, SOFIPO de estudio.

Según lo definido por Basilea [3] “la mayoría de los tipos de riesgos operacionales implican fallas en los controles internos y en el gobierno corporativo”, en los países con sistemas bancarios de carácter multinacional, existen más modelos que están alineados con los requerimientos de Basilea II ejemplos de ellos son: el Control Objectives for Information and Related Technology (COBIT) estándar, publicado por la asociación de auditoría

y control de sistemas de información (ISACA), el Sarbanes Oxley Act., en Canadá cuentan con el Criterio of Control Comité (CoCo), en Gran Bretaña con el (FSA), entre otras naciones como Holanda y Alemania con regulaciones como: ROC y Kon TraG, respectivamente. Las regulaciones todas ellas orientadas al mejoramiento de los controles internos, la administración de riesgos y el fortalecimiento del gobierno corporativo.

IV. RIESGO OPERACIONAL

A. Definición

El comité de Basilea define al riesgo operacional como: “el riesgo de pérdida debido a la inadecuación o a fallos de los procesos, el personal y los sistemas internos o bien a causa de acontecimientos externos, esta definición incluye el riesgo legal, pero excluye el riesgo estratégico y el de reputación” [3].

Teniendo en cuenta que las directrices que emite el comité de Basilea [4] dejan claro que corresponde a cada país definir los mecanismos de regulación sugeridos, es por ello que en un escenario más local y teniendo en cuenta que la entidad de regular la actividad financiera en México es la comisión nacional bancaria y de valores, en adelante CNBV, se debe considerar para la presente investigación la regulación dada por esta entidad dentro de la ley general de la comisión nacional bancaria y de valores de México (LCNBV) [11] que en su artículo 4 sección V establece las facultades para solicitar reportes de riesgo operacional que para el caso corresponde a la serie R28, y en su anexo dos presenta la clasificación del riesgo operacional por tipos, subtipos y clases de eventos; dentro de los tipos de eventos están: Fraude Interno, Fraude externo, relaciones laborales y seguridad en el puesto de trabajo, clientes productos y prácticas empresariales, desastres naturales y otros acontecimientos, incidencias en el negocio y fallos en los sistemas, ejecución entrega y gestión de procesos. Cada tipo de riesgo cuenta con subtipos así por ejemplo para el tipo de riesgo de

fraude interno, los subtipos serán: actividades no autorizadas, hurto y fraude interno y seguridad de los sistemas, para cada subtipo la comisión también tiene dispuestas unas clases de eventos, para el caso anterior en el subtipo de seguridad de los sistemas, la CNBV establece cuatro clases de eventos a saber: Vulneración de sistemas de seguridad, daños por ataques informáticos, robos de información (con pérdidas pecuniarias), esquema que es muy similar al propuesto en el acuerdo de Basilea II. Teniendo en cuenta lo anterior, las organizaciones financieras usan esta información para el diseño de sus matrices de identificación de riesgo operacional.

B. Relación del riesgo inherente y riesgo residual

Cuando se procede a la valoración del riesgo operacional, es necesario considerar dos etapas en el tratamiento que se da al riesgo.

La primera etapa consiste en valorar el riesgo inherente que es tal cual el que presenta el evento y que de acuerdo con el procedimiento definido al interior de la organización en su procedimiento M1-MA-RO correspondiente a la metodología para la evaluación de riesgos operativos, debe ir asociado a una probabilidad y a un impacto. La segunda etapa corresponde a considerar que una vez definidos e implementados los controles, la nueva calificación del riesgo en cuanto a probabilidad e impacto corresponderá al riesgo residual. En la Figura 4, se explica esta relación.

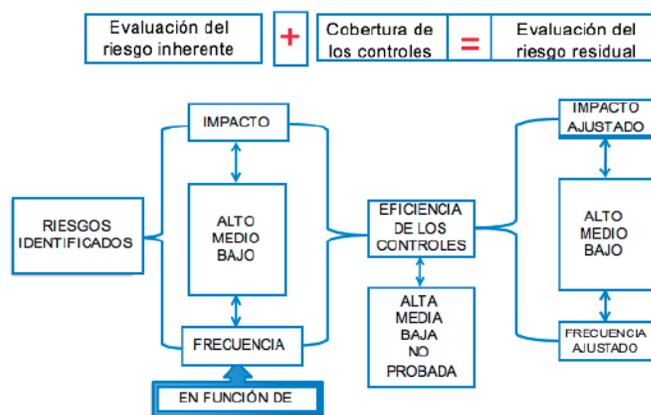


Figura 4. Relación riesgo inherente, riesgo residual y controles establecidos

Fuente: Elaboración propia

V. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El origen de regulaciones como la Sarbanes – Oxley Act [12], ley que fue aprobada por el congreso de los estados unidos en julio de 2002 e introdujo cambios legislativos relacionados con practicas financieras y con gobierno corporativo y cuyo objetivo principal fue proteger a los inversionistas por medio del mejoramiento de la precisión y confiabilidad de la información corporativa revelada y, evitar inconvenientes como los ya mencionados que tuvieron lugar en los años 90.

A nivel nacional, el gobierno de México a través de la CNBV ha emitido regulaciones que siguiendo los lineamientos establecidos por Basilea II exigen a las organizaciones definir buenas prácticas de gobierno corporativo, y un sistema de control interno y de riesgos adecuado.

En la SOFIPO de estudio, la necesidad más clara que fue planteada en las primeras entrevistas con el director de contraloría de la organización y tiene que ver con un evento que se presentó dos años atrás, donde por una problemática en particular se descubrió la necesidad de encontrar una mejor práctica de gobierno corporativo que articulara la comunicación y la gestión de los órganos de decisión de la entidad con los objetivos planteados desde la junta de gobierno de la organización.

Uno de los síntomas detonantes, se relacionó con una falla en la operación entre los diferentes niveles de la organización involucrados en los nuevos productos ofrecidos por la entidad, específicamente una línea de crédito diseñada por la junta de gobierno; luego de entrar en operación el producto, se empezaron a tener inconvenientes en la venta; lo anterior siguió creciendo con desconocimiento y falta de comunicación hacia el área de control interno; la consecuencia más grave fue un serio incremento en el índice de morosidad, esto llevo a un mayor requerimiento de capital por parte de los socios como medida de contingencia para disminuir el

índice de riesgo crediticio. Los aportes extraordinarios requeridos a los socios ascendieron a la suma de \$ 100.000.000 de pesos mexicanos. El problema, no solo se vio reflejado al interior de la organización, sino que de cara al ente regulador como la CNBV, la SOFIPO tuvo que responder y pactar planes de acción y sustentar los montos necesarios para mitigar el impacto de los riesgos mencionados y asegurar continuidad del negocio.

Hay serios indicios que demuestran las bondades que ofrece para una organización financiera el apoyar su modelo de control interno de acuerdo con el marco planteado por COSO III ver [13] donde se muestran los resultados de una encuesta aplicada por la Universidad del Estado de Carolina del Norte y refleja el logro de un buen desempeño de los sistemas de Control Interno asociados a la implementación del modelo COSO.

Desde el área de contraloría de la SOFIPO, y como parte de los planes de acción para hacer frente a la situación mencionada, sumado a los soportes que en la bibliografía se encuentran asociados a la implementación de COSO, [3] las guías emitidas por el comité de Basilea; se determina que se está fallando en el diseño y la ejecución adecuada del sistema de control interno, se sugiere que a los problemas presentados, pueden abordarse desde la solución planteada con la implementación de la metodología propuesta por COSO III, razón por la cual se presentó la oportunidad de desarrollar el trabajo de investigación en esta organización.

VI. METODOLOGIA

Teniendo en cuenta la revisión de la literatura [14], el presente proyecto aborda, desde una investigación cualitativa, descriptiva, exploratoria y propositiva.

Se considera que es exploratoria y descriptiva porque está orientada hacia el problema, describe sus elementos y a través de las herramientas de gestión COSO III las investigara a profundidad; es propositiva porque al finalizar la etapa exploratoria descriptiva se presentaran nuevos diseños para el sistema de control interno de la organización.

Para el diseño de la investigación se tuvo en cuenta las etapas de observación o diagnóstico inicial del Sistema de Control Interno, luego se evaluarán los elementos del sistema que sean necesarios; posterior a ello se implementará la propuesta y finalmente se hará un monitoreo de la efectividad de estos controles. Se puede decir que, para este enfoque de investigación se llega desde un método inductivo, donde se aplica un sistema de control interno diseñado bajo un marco específico, para llegar a unas conclusiones generales sobre el desempeño de la organización en cuanto a eficacia, eficiencia y continuidad.

VII. IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE DIAGNOSTICO

Una vez revisadas las condiciones ideales para un sistema de control interno, para saber si está diseñado de acuerdo con las directrices sugeridas por el modelo COSO III se hace uso de una herramienta de diagnóstico del estado actual de implementación.

La herramienta de diagnóstico aplicada [15] mide el nivel de madurez del sistema de control interno, en su estructura presenta una clasificación de los cinco niveles de COSO III dentro de los cuales se encuentran contenidos los 17 principios del modelo, en esta herramienta por cada principio se encuentran definidas unas categorías denominadas puntos de enfoque, cada uno se califica según el nivel de madurez en: Inmaduro, Repetición, Definición, Maduro y Nivel Óptimo, definidos y asociados a un valor numérico como se describe a continuación:

Inmaduro:

Los controles están fragmentados y son específicos para cada caso; generalmente se gestionan en silos y de forma reactiva; falta de políticas y procedimientos formales; se depende de acciones individuales para que se realice el trabajo; existe una mayor posibilidad de cometer errores; y grandes costos ocasionados por ineficiencias operativas.
Se asigna valor numérico de 1.

Repetición:

Los controles se establecen con una determinada estructura política: aún falta documentación formal de procesos claves; existe cierta claridad de las funciones, responsabilidades y autoridad, pero no existe responsabilidad; existe una mayor disciplina y las pautas respaldan la repetición; y la gran confianza en el personal existente produce una gran resistencia al cambio. Se asigna calificación 2.

Definición:

Los controles están bien documentados y definidos, en consecuencia, existe coherencia incluso en tiempos de cambio; existe una conciencia general de la importancia de los controles internos; las brechas de control son detectadas y controladas de manera oportuna; la supervisión del desempeño es informal; depositando una gran confianza en la diligencia del personal. Calificado con 3.

Maduro:

Se utilizan indicadores claves de desempeño y técnicas de supervisión para medir el éxito; existe mayor confianza en los controles de prevención que en los controles de detección; una sólida autoevaluación de la eficiencia operativa es desarrollada por parte de los responsables de los procesos; y existe una cadena de responsabilidad bien definida. Se califica con 4.

Nivel Óptimo:

Se considera que los controles poseen un nivel óptimo, en función del benchmarking y las mejores prácticas; la estructura del control está altamente automatizada y se actualiza de forma automática; creando una ventaja competitiva; existe uso intensivo de supervisión en tiempo real y marcos o enfoques de control implementados. Se califica con 5.

La herramienta fue contestada por el director de contraloría de la entidad de estudio.

El siguiente paso fue, tomar las calificaciones de los puntos de enfoque dentro de cada principio de COSO y promediar para obtener una calificación global por cada principio, obteniendo la siguiente calificación que se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Diagnóstico por principios de acuerdo a COSO III en la SOFIPO de estudio

Como se puede apreciar el nivel de calificación oscila desde los valores correspondientes a repetición (2) y muy cercano al valor de calificación de maduro (4), teniendo los valores más bajos en la calificación que corresponde al principio 17 que en COSO III establece: “La organización evalúa y comunica las deficiencias de control interno de forma oportuna a las partes responsables de aplicar medidas correctivas, incluyendo la alta dirección y el consejo, según corresponda”.

Teniendo en cuenta que dentro de los antecedentes una de las falencias fue el no contar con un medio de control adecuado que permitiera detectar las fallas en los productos ofertados; las mayores fortalezas encontradas en este diagnóstico inicial se presentan en el principio 3 que corresponde a: “La dirección establece con la supervisión del consejo, las estructuras, líneas de reporte y los niveles de autoridad y responsabilidad apropiados para la consecución de los objetivos”, y el principio 9: “La organización identifica y evalúa los cambios que podrían afectar significativamente al sistema de control interno”. Lo cual demuestra que la organización tiene una estructura claramente definida además de hacer un correcto monitoreo de los cambios en el entorno que pueden llegar a presentar una amenaza, al sistema de control interno.

A nivel general y luego de promediar las calificaciones de cada uno de los 17 principios en los 5 niveles de COSO se obtuvieron los siguientes resultados, que se contemplan en la Tabla 1.

Tabla 1. Calificación por niveles de COSO III en SOFIPO de estudio

NIVELES DE COSO III	CALIFICACIÓN
Entorno /Ambiente de Control	2,92
Evaluación de Riesgos	3,48
Actividades de Control	2,75
Información y Comunicación	2,64
Actividades de Supervisión	2,20
SISTEMA EN GENERAL	2,80
VALOR ESPERADO	5

Como se aprecia en estos resultados de la evaluación inicial, el área más fuerte de la compañía corresponde al nivel de evaluación de riesgos, como se ha mencionado en los párrafos anteriores, las entidades financieras por diseño hacen un control efectivo de sus riesgos por las exigencias de las entidades reguladoras, adicional el ambiente de control se percibe más desarrollado, pero las oportunidades de mejora se encuentran principalmente en actividades de supervisión, información y comunicación y en actividades de control; que son en parte las falencias que permitieron que situaciones como las de dos años atrás se materializaran, los resultados se resumen en la Figura 6.

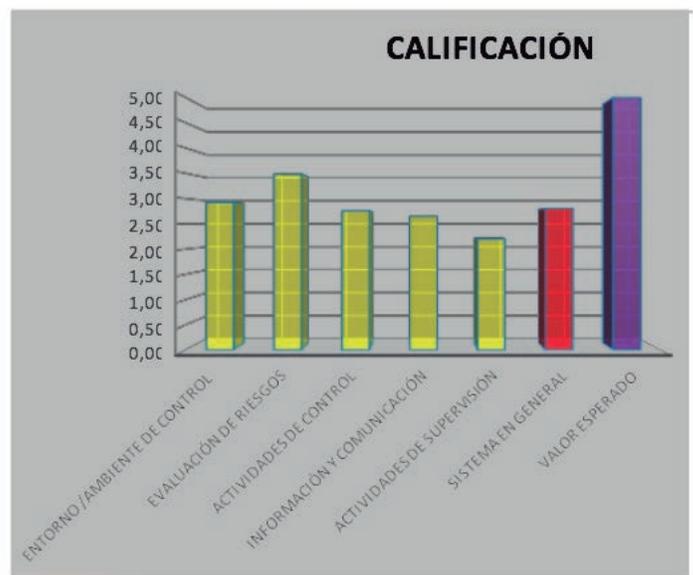


Figura 6. Calificación general en los cinco niveles definidos por COSO III

De los resultados anteriores y teniendo en cuenta metodologías como las definidas por COSO y adaptando las guías establecidas por el Comité de Basilea, el área de contraloría en conjunto con las actividades adelantadas por Auditoría y Riesgos de la SOFIPO de estudio, se inicia en el 2018 un trabajo más estricto de evaluación de sus riesgos operativos haciendo uso de una matriz de riesgos, de la cual se presenta una breve descripción.

VIII. ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE RIESGOS

Para la elaboración de esta matriz se parte de los conceptos revisados previamente en cuanto a la definición de riesgo operacional.

Las primeras columnas de la matriz parten de un ID de identificación del riesgo, la fecha de identificación, área donde se identificó, el producto de la compañía afectado, el proceso al que pertenece ese producto, la categoría, evento y subevento del riesgo según esta definido en el R28 de la CNBV la descripción de ese riesgo. Las columnas que siguen en la Tabla 2 van más aplicadas a la metodología descrita para la calificación del riesgo inherente, dependiente de la probabilidad y del impacto, donde se parte de una calificación de la probabilidad de ocurrencia que puede ser: raro con valor de 1, improbable con valor de 2 posible con valor de 3 probable con valor de 4 y casi cierto con valor de 5. Éstas probabilidades están relacionadas con las frecuencias de acuerdo con la Tabla 2 que se presenta a continuación:

Tabla 2. Escala de valoración de la frecuencia de los riesgos en la empresa de estudio

Frecuencia	Nivel	Áreas con volumen Moderado de Operación	Áreas con volúmenes grandes de operación
Casi Cierto	5	Mayor a 60 veces al año	<=40%
Probable	4	37 a 60 veces cada año	<=35%
Posible	3	12 a 36 veces cada año	<=25%
Improbable	2	4 a 8 veces cada año	<=20%
Raro	1	2 a 4 veces cada año	<=10%

Para la calificación del impacto se toman en cuenta los criterios de: Muy Alto con valor de 5, alto con valor de 4, moderado con valor de 3 leve con valor

de 2 y muy leve con una calificación de 1. Valores que se asignan de acuerdo con el impacto monetario estimado en la entidad, sus cifras están en pesos mexicanos.

Tabla 3. Escala de valoración del impacto de los riesgos en la empresa de estudio

Impacto	Nivel	Descripción
Muy alto	5	Mayor \$259,000.00
Alto	4	\$150,000.20 - \$259,00.00
Moderado	3	\$100,000.20 - \$150,000.20
Leve	2	\$50,000.20 - \$100,000.20
Muy leve	1	Hasta \$50,000.20

De la calificación de la probabilidad y el impacto para cada riesgo se hace una multiplicación y su resultado nos da una calificación que constituirá la calificación del riesgo inherente y que permitirá clasificarlo en la matriz de calor, según la escala que se ilustra en la Tabla 5, se clasifican los riesgos así:

Tabla 4. Escala de valoración del impacto de los riesgos en la empresa de estudio

Score	Rating
> 20	Extremo
entre 10 y 19	Muy Alto
Entre 5 y 9	Alto
Entre 3 y 4	Moderado
Menor a 2	Bajo

Después de la calificación de los riesgos se da prioridad a los riesgos con calificación de Extremo, Muy Alto y Alto. Teniendo en cuenta lo definido en COSO, para el caso de la empresa de estudio se obtuvo un total de 253 riesgos identificados de los cuales en la categoría de Alto y Muy Alto existen 62 riesgos a los cuales se le debe dar prioridad posterior a la calificación de los riesgos se debe definir las actividades de control, que para el caso de la empresa son definidos por los dueños de cada proceso, posterior a ello y según la

organización estratégica seguida por la empresa para el control de sus riesgos teniendo como marco el modelo de las cuatro líneas de defensa, corresponde al área de contraloría pedir al encargado de cada proceso evidencia de las actividades de control adelantadas. Por ello, se agregó a la matriz una opción para la calificación de los controles que permite decidir el nuevo valor de la probabilidad y el impacto combinados para definir una calificación del riesgo residual.

La nueva calificación de riesgo, después de evaluar la efectividad de los controles está basada en los mismos valores definidos en la Tabla 4.

Hasta el momento, se presenta un avance parcial del proyecto con las actividades que se han hecho desde el diagnóstico hasta la implementación de la matriz de evaluación, calificación y definición de los controles a los riesgos de origen operacional.

IX. CONCLUSIONES Y FUTURO EN LA INVESTIGACIÓN

Como se pudo apreciar luego de aplicar la herramienta de diagnóstico, hay brechas que se pueden cerrar para mejorar el sistema de control interno de la organización dentro de las cuales están: actividades referentes al ambiente de control como la definición de procedimientos más estrictos de supervisión y en cuanto a comunicación se necesita formalizar y fortalecer los canales de comunicación para llevar el sistema de control interno desde la estructura de COSO y el modelo de las tres líneas de defensa que está actualmente, a un nivel que se apoye más en los entes externos como cuarta línea de defensa y que incluya a los supervisores y auditores.

Otra de las actividades que se recomienda luego de la aplicación del presente instrumento es el uso de una segunda herramienta de diagnóstico que esta vez será contestada por los directivos de las principales áreas de la organización, esto tiene como objetivo final dar más objetividad al

diagnóstico inicial y definir de manera acertiva las actividades necesarias para implementar la metodología de control interno bajo el esquema de COSO III.

En cuanto al seguimiento de la implementación eficaz del sistema de control interno, la tarea siguiente consiste en calificar los controles e identificar cuáles de los 62 controles claves, correspondientes a los riesgos de mayor criticidad, son preventivos o detectivos y de cara buscar eficiencia en el sistema de control interno, evaluar y mejorar los controles manuales para llevarlos a semiautomáticos o automáticos [16].

Una de las etapas en el desarrollo de estos modelos y, por cumplimiento reglamentario, se deben cumplir y es lo referente a la cuantificación del capital a reservar por riesgos operativos, procedimiento que parte de los datos de frecuencia de cada riesgo y mediante el uso de herramientas estadísticas como la simulación de Montecarlo permite hacer reservas de capital más precisas en [17], se puede ver una descripción de los modelos generales.

A pesar de la justificación de la ISO 31000, donde los demás modelos de gestión del riesgo sólo se aplican a organizaciones específicas, existen publicaciones por parte de COSO [18] sobre la implementación de su modelo en empresas de diversas áreas.

En el área de Supply Chain, considerando la información como la suministrada en [19] donde se evidencia un creciente número de publicaciones en la evaluación de riesgos en esta área en los últimos años y adicionalmente viendo a proyectos desarrollados como el que se expone en [20] en el cual se empleó ISO 31000, consideramos que de acuerdo al desarrollo de esta investigación se puede en futuros trabajos hacer una aproximación de un modelo que contemple el uso de COSO III en la evaluación del riesgo en la cadena de suministros.

REFERENCIAS

- [1] The Bank for International Settlements (2015), The Four Lines of Defence Model for Financial Institutions . Occasional Paper N°11.
- [2] GRC Capability Model (Red Book) Full Version Standard Filed in Integrated GRC , Free , Capability Model. Recuperado el 06 de abril de 2019 de <https://go.occeg.org/grc-capability-model-red-book>.
- [3] BASEL COMITÉ ON BANKING SUPERVISION. Sound Practices for the Management and Supervision of Operational Risk. Bank for Internacional Settlenments. <https://www.bis.org>.
- [4] Leon, R. Nuevo Acuerdo de Basilea: Aspectos Críticos y Desafíos para su Implantación. II Congreso de Riesgo Financiero. Cartagena , agosto 1 de 2003.
- [5] ISO, 2018. "Risk management - Guidelines." ISO 31000:2018, Geneva. [6] IEC, 2009. Risk management - Risk assessment techniques: IEC 31010:2009.
- [7] Miles. E, Stephen. E, Frank. J, Cara. B, Charles. H, Aaron. J, Jourdan. C, Posklenski. A, Sallie. J, (2015), COSO: INTERNAL CONTROL – INTEGRATED FRAMEWORK. Recuperado el día 20 de Octubre de 2018, de <https://www.coso.org/Documents/990025P-Executive-Summary-Final-may20.pdf>
- [8] Galaz, Yamazaki, R, U (2015), COSO Enterprise Risk Services, Evaluación de Riesgos. Corporative Presentation, DELOITTE.
- [9] Russell A (2005) There is no Shortcut to Good Controls, ABI/INFORM Collection 4, Pag 62.
- [10] Miles. E, Stephen. E, Frank. J, Cara. B, Charles. H, Aaron. J, Jourdan. C, Posklenski. A, Sallie. J, (2015), COSO: INTERNAL CONTROL – INTEGRATED FRAMEWORK. Recuperado el día 20 de Octubre de 2018, de <https://www.coso.org/Documents/990025P-Executive-Summary-Final-may20.pdf>
- [11] Secretaria de Hacienda y Crédito Público, Comisión Nacional Bancaria y de Valores, Disposiciones de Carácter General Aplicables a las Entidades de Ahorro y Crédito Popular, Organismos de Integración, Sociedades Financieras Comunitarias y Organismos de Integración Financiera Rural, a que se Refiere la Ley de Ahorro y Crédito Popular, 26 de Abril de 2018.
- [12] www.sarbanes-oxley-forum.com/
- [13] J. Moody (2011) Enterprise Risk Management COSO Framework Proves Efficacious.
- [14] Sampieri R. H y otros (2014), Metodología de la Investigación 6 Ed. Capítulo 12, Pag 468 – 528.
- [15] Casares, I y Lizarzaburu, E (2016), Introducción a la Gestión Integral de Riesgos Empresariales Enfoque: ISO 31000 Primera Ed. Capitulo 7, Pag 101.
- [16] Herramientas para el Control Interno, <https://www.auditool.org/herramientas>. Consultada el día 28 de Octubre de 2018.
- [17] Franco, L. Velazques, E (2009) Alternativas Fundamentales para Cuantificar el Riesgo Operacional, ECOS DE ECONOMIA, N° 30 año 14, Abril de 2010.
- [18] COSO Issues Guidance for Healthcare Providers, <https://www.coso.org/Documents/COSO-CROWE-COSO-Internal-Control-Integrated-Framework.pdf>. Consultada el día 02 de Mayo de 2019.
- [19] Tsan-Ming, C. Chun-Hung, C, Hing-Kai, C (2016) . Risk Management of Logistics Systems, ELSEVIER, en prensa. Contents lists available at Science Direc Transportation Research Part E.
- [20] Rébula de Oliveira,U. Silva,F. Martins, H. Pamplona, V. (2017) The ISO 31000 Standard in Supply Chain Risk Management. Journal of Cleaner Production "Articulo Aceptado".

Sistema de inventarios para productos perecederos en una tienda mayorista con demanda variable

Ramón Oscar Hernández Rodríguez
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Instituto Politécnico Nacional, IPN
Ciudad de México, México
oscar.hdz.8415@gmail.com

Francisco Márquez Misaela
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Instituto Politécnico Nacional, IPN
Ciudad de México, México
fmisaela@gmail.com

Resumen Este artículo presenta un sistema de inventarios para productos perecederos con revisión periódica (s,Q) de una tienda mayorista como caso de estudio, considerando un solo producto para fines prácticos. Como bien sabemos los sistemas de inventarios tienen como objetivo la reducción de costos y evitar en lo posible el agotamiento, sin embargo, es muy complejo encontrar un equilibrio entre incrementar el nivel de servicio y reducir costos. Como primer paso de la metodología se analizaron el total de artículos perecederos que pertenecen a la categoría de Cremería mediante la clasificación ABC de inventarios, posteriormente para poder identificar el modelo a utilizar se analizaron los datos históricos de ventas mediante gráficos y herramientas estadísticas para determinar si cumplen sus características para un modelo determinístico o probabilístico. Al tener un coeficiente de variabilidad que varía apreciablemente mes a mes y día a día superior al 0.2, se trabajó un modelo probabilístico con distribución de probabilidad discreta debido a que el modelo clásico de vendedor de periódicos requiere del cálculo de venta perdida que es muy complejo determinar. El modelo que se seleccionó se validó que cumpliera con los cálculos del tamaño de lote Q y el punto de pedido (s) o punto reorden (R) para satisfacer dos objetivos que busca mejorar la empresa como es el nivel de servicio mínimo del 98.5 % y reducir el costo anual medio o por lo menos no incrementarlo al modelo actual. La propuesta del modelo cumple para ambos casos dando como beneficio a la empresa un nivel de servicio del 99.7 % y una reducción del costo anual medio del 66 %, para llegar a esa reducción el modelo sugiere un solo pedido por semana y no él envió de 331 veces por año como se venía haciendo por parte de la empresa.

Palabras Clave; sistema de inventarios, inventarios para perecederos, inventarios probabilísticos, clasificación de inventarios ABC.

I. INTRODUCCION

En la actualidad, la administración de los inventarios es un logro muy importante para muchas empresas, aunque la mayoría de ellas siempre busca minimizar los costos de mantener sus inventarios. El objetivo de mantener una baja inversión en los inventarios suele contradecir a las áreas de ventas y marketing, ya que a estas áreas en la mayoría de los casos solo les interesa que la empresa cuente con el producto necesario y con la finalidad de satisfacer de inmediato la demanda de los clientes (Chapman, 2006).

Existen muchos estudios en el tema de inventarios como por ejemplo (Saracoglu, Topaloglu, & Keskinturk, 2014; Soysal, Bloemhof-Ruwaard, Haijema, & Van Der Vorst, 2015), que han demostrado que la gestión de inventarios es de acuerdo al giro de empresa, ubicación etc., y tiene muchas variantes. Sin embargo, la construcción de una política de inventarios debe ser mediante un análisis más profundo de cada empresa de estudio, el consultor debe considerar los siguientes puntos y que son claves; cuando una requisición debe ser colocada y cuando debe ser ordenada. Todas las áreas involucradas como son producción, mercadotecnia, finanzas, entre otras deben acordar la reducción de costos de producción y almacenar, así como la capacidad de respuesta al cliente que es más importante.

El inventario se define como una problemática y estrictamente tiene que ver con generar una reserva de productos para poder cumplir con la variación en la demanda. El exceso de almacenar genera un costo en el capital y por el contrario una importante pérdida de venta. Una política de inventario siempre debe responder a dos preguntas; 1) Cuanto pedir y 2) Cuando pedir (Winston, 2005). Otra definición es la que menciona (Ballou, 2008), el inventario se considera como el resguardo de materia prima, piezas de algún producto, material en proceso y producto terminado que aparece a lo largo de la cadena de suministro. Otra definición de inventario es la que nos da (Chapman, 2006) que

lo intuye como “cosas” que están inertes en un almacén. Sin embargo, para un contador representa un costo y como dinero sin movimiento, para el vendedor es una oportunidad. Pero para alguien que es experto de planificación y control será un síntoma de cómo está diseñado el negocio y de qué manera se lleva al paso de los días. Una vez que se entiende la importancia de los inventarios en las diferentes empresas o industrias de estudio, podremos comprender como administrarlo y controlarlo con éxito.

A. Caso de Estudio y problemática

El caso de estudio fue realizado en una empresa del giro comercial enfocado a la venta mayorista de abarrotes, además ofrece una amplia gama de productos considerados como cremería los cuales son; salchichas, quesos procesados, quesos artesanales, jamones, mantequillas, yoghurt, cremas acidas, leches saborizadas, longaniza, mortadela, gelatinas, jugos, etc.

El caso de estudio está delimitado a una sola tienda de la cadena total de la empresa, tal tienda presenta problemas en la administración de sus inventarios ya que el proceso de abasto se realiza sin un sistema que administre el abasto de forma automática.

El indicador de nivel de servicio actualmente tiene un 96% de cumplimiento de existencia, que en los objetivos directivos este indicador debe ser mínimo del 98.5%. Debido a la alta demanda y crecimiento de ventas, cercano al 15% mes a mes versus año pasado crea la necesidad de administrar los inventarios de la manera más eficiente y cumpliendo el nivel de servicio deseado por la dirección sin incrementar el costo anual medio. Por fines de confidencialidad en la información se omite el nombre de la empresa.

B. Costos involucrados en la administración de inventarios

En la administración de inventarios hay 4 costos involucrados, estos costos deben reducirse para lograr una mayor eficiencia en la cadena de suministro:

1. Costo de los productos:

Este es el costo de compra de los productos, este representa el mayor porcentaje del gasto que hace una empresa.

2. Costo de ordenar o de preparación:

Es un costo único que se incurre cada vez que se toma la decisión de comprar o producir un nuevo lote, este costo es la suma de los siguientes costos; hacer o enviar las órdenes de compra, procesar o inspeccionar el pedido, cuentas de teléfono, internet, fotocopiadora, sueldos y salarios del personal de compras, etc.

3. Costo de mantener el inventario:

Es el resultado de mantener inactivos los bienes almacenados y de lo invertido en renta de bodega o pago de mantener la bodega, equipo y empleados, sus principales componentes son: Costo del capital, impuestos, seguros, obsolescencia, daño de mercancía, sueldos y salarios, costo del edificio y equipo utilizado en almacén, etc.

4. Costo de faltante:

Al no disponer de producto ya sea materia prima o producto terminado se incurre en un costo, si es fabricación.

El costo total de un sistema de administración de inventarios es la suma de los cuatro componentes:

$$[\text{Costo total del inventario}] = [\text{Costo de los artículos}] + [\text{Costo de ordenar}] + [\text{Costo de mantener}] + [\text{Costo de Faltante}]$$

C. Clasificación ABC de productos

La clasificación ABC de productos es una práctica común para el control agregado de inventarios, es diferenciar los productos en un número limitado de categorías y posteriormente aplicar una política separada de control de inventarios. Todo esto tiene sentido ya que no todos los productos tienen la misma importancia para la empresa en términos de venta, margen de utilidad o competitividad.

Si se aplican en forma selectiva las políticas de inventarios a estos diferentes grupos, se puede

lograr, con niveles más bajos de inventarios los objetivos del servicio de inventarios en lugar de aplicar una política global para todos los productos (Ballou, 2008)

Como tal no existe una regla para realizar la distribución ABC de los productos, aunque se recomienda ordenarlos de mayor a menor según corresponda la utilización monetaria anual.

El 20% superior de los productos, representará los productos A; los productos que ocupan entre un 20 al 50% serán los productos B y los que se encuentran en el 50% inferior, serán los productos C. La Figura 1, muestra la distribución ABC del inventario.

Los productos A como lo menciona (Winston, 2005), requieren de una revisión frecuente debido a la alta rotación que tienen y por el plazo de entrega, para los productos B se deben revisar con menor frecuencia que los productos A y los productos C es donde se requiere poca inversión extra en existencias de seguridad para mantener estos en altos niveles de servicio.

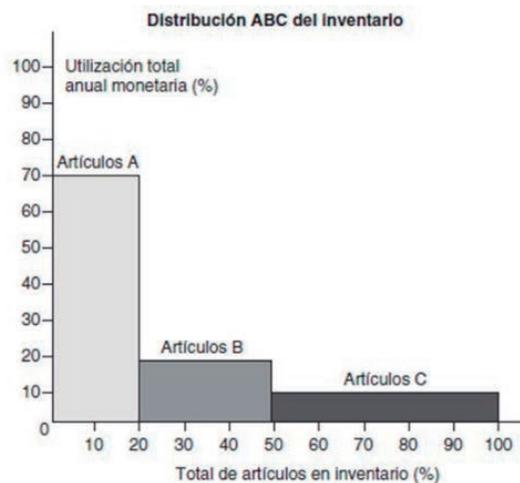


Figura 1. Distribución ABC del inventario (Chapman, 2006)

D. Coeficiente de Variabilidad

En la práctica es complejo el estudio de la demanda por una infinidad de factores que influyen de manera notoria y algunos otros son difíciles de predecir. Sin embargo, para estos casos se tienen herramientas de la estadística,

como es la media y la desviación estándar. Estas dos medidas son importantes para conocer la dispersión de los datos y con las cuales podemos calcular el coeficiente de variación (CV) que matemáticamente es cociente de la desviación estándar entre la media.

El coeficiente de variación (CV), mide la variación relativa o dispersión de los datos alrededor de la media, si este coeficiente es alto indica una que hay alta incertidumbre partiendo de que el uso de la media es una aproximación del consumo mensual. Cuando no tenemos incertidumbre hablamos de demanda determinística con $CV=0$ para esto consideramos que la desviación estándar es cero, como lo menciona (Taha, 2012). También nos habla de comparar la demanda mensual promedio de varios años donde se tenga $CV>20\%$ pero aproximadamente la constante se puede considerar que la demanda es probabilística y estacionaria, otro caso también puede ser que la demanda mensual promedio varía de manera apreciable entre los diferentes meses, pero CV es razonablemente pequeño en todos los meses nos dice que la demanda puede considerarse determinística pero variable.

Por último, se tiene el caso de la demanda probabilística no estacionaria, la cual ocurre cuando los promedios y los coeficientes de variación varían apreciablemente mes con mes.

E. Modelos de Inventarios

Los inventarios se clasifican de acuerdo al tipo de demanda, existen dos tipos de inventarios; los determinísticos que son aquellos donde se conoce la demanda con certeza en los cuales la estructura del modelo está determinado en diferentes versiones del modelo clásico de cantidad económica de pedido (EOQ) y los inventarios probabilísticos que son aquellos donde el comportamiento histórico de datos tienen una variabilidad superior al 0.2. Además, dependen de cierta distribución y con frecuencia el decisor se enfrenta al problema de determinar el valor Q de una variable que puede ser cantidad pedida, artículo almacenado, producto en tránsito, etc.

En la Fig. 2 se muestran los diferentes modelos determinísticos y probabilísticos.

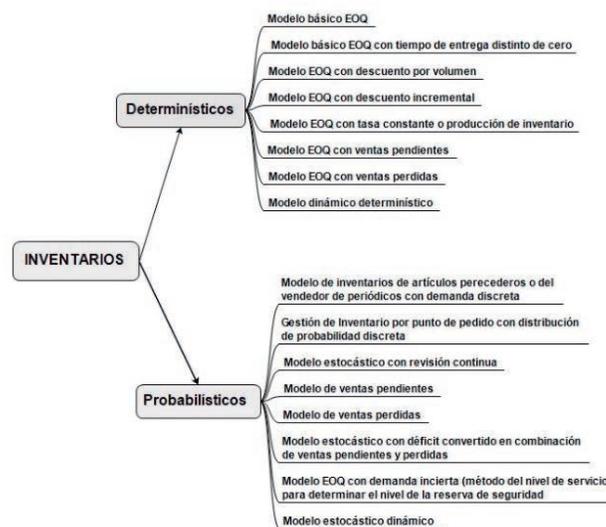


Figura 2. Modelos de Inventarios

F. Modelo de inventarios de productos perecederos con Demanda Discreta y Revisión Periódica

Para la aplicación del modelo en una empresa se necesita la sucesión de 3 eventos; la empresa decide cuantas unidades pedir o producir de q^* , la demanda es estocástica, pero se conoce su distribución de probabilidad $p(d)$, dependiendo de (d) y (q) se incurre en un costo $c(d,q)$.

1. Análisis Marginal

Empleando el análisis marginal para el problema del vendedor de periódico cuando la demanda es una variable aleatoria discreta y $c(d,q)$ tiene la forma (Taha, 2012):

$$c(d, q) = c_0q + (\text{terminos sin } q) \quad (d \leq q)$$

$$c(d, q) = -c_uq + (\text{terminos sin } q) \quad (d \geq q + 1)$$

Donde C_0 es el costo unitario de comprar o producir en excedente y C_u es el costo unitario de tener faltantes.

Costo total es;

$$E(q + 1) - E(q) \geq 0$$

Para calcular q;

$$P(d \leq q^*) \geq \frac{c_u}{c_0 + c_u} \text{ o } (d \geq q^*) \geq \frac{c_0}{c_0 + c_u}$$

2. Gestión de Inventario por punto de pedido con distribución de probabilidad discreta

La gestión de inventarios por medio de distribución de probabilidad discreta parte del análisis de datos donde el comportamiento de los datos de venta no presenta un ajuste a una distribución de la probabilidad continua. En la actualidad, existen paquetes estadísticos para el análisis de datos y que al ser utilizados, no muestra una evidencia clara de ajuste a una distribución como se ve en la Figura 3.

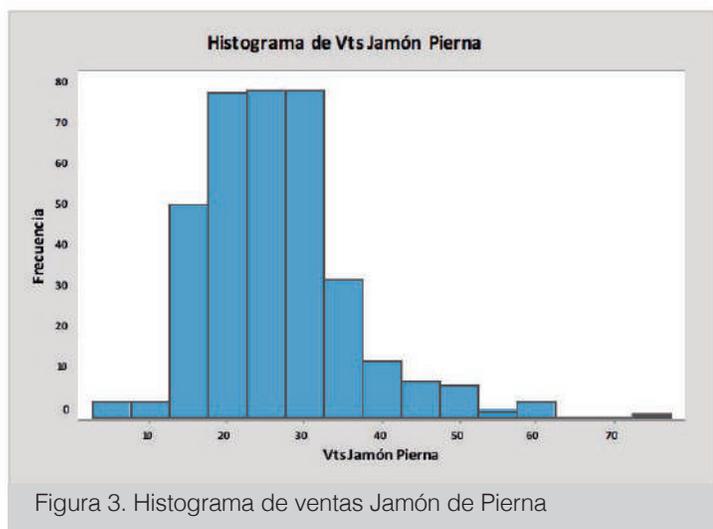


Figura 3. Histograma de ventas Jamón de Pierna

Notación básica de variables

D: Demanda anual media

L: plazo de entrega

h(x): Densidad de probabilidad de la demanda L

Q: Tamaño de lote

S: punto de pedido

H(s): proporción de ciclos con faltante o ruptura y

(s): volumen medio de demanda llegada en ruptura

Hipótesis

Q y s son las variables a determinar

CA: Costo de los productos (u.m/unidad)

CR: Costo de faltante o ruptura (u.m/unidad)

CL: Costo de ordenar (u.m/pedido)

CS: Costo de mantener inventario (u.m/unidades-año)

Demanda: L h(x)

Procedimiento Iterativo

Como lo mencionan (Companys Pascual, Ramón; Corominas Subias, 1998), el proceso a llevar a cabo para conocer Q y s es iterativo hasta llegar al mismo valor de s de la penúltima y última iteración. Este proceso del supuesto de que los datos siguen una distribución de probabilidad discreta h(x) y para el cálculo de la probabilidad de faltante o ruptura, demanda media en faltante o ruptura, demanda perdida, tamaño de lote y punto de reorden se utilizan las siguientes formulas:

Probabilidad de faltante:

$$H(s) = \sum_{x=s+1}^{\infty} h(x) = 1 - \sum_{x=0}^s h(x)$$

Demanda media en faltante o ruptura:

$$y(s) = \sum_{x=s+1}^{\infty} h(x) * (x - s)$$

Demanda perdida:

$$H(s) = \frac{Q * CS}{Q * CS + D * CR}$$

Tamaño de lote (Q):

$$Q = \sqrt{\frac{2 * D * (CL + CR * y(s))}{CS}}$$

El valor de s lo calculamos con el valor de H(s) que corresponde a un valor de x/s.

Este proceso sigue los siguientes pasos de manera iterativa:

1. Calcular Q con el valor de y(s)=0
2. Calcular H(s) con el valor anterior de Q
3. Buscar el valor correspondiente de s mediante el dato de H(s)
4. Con el valor de s buscar el valor nuevo y(s)
5. Con el nuevo valor de y(s) regresar al paso 1.

Para calcular el costo anual medio se utiliza la siguiente expresión:

$$k(Q, s) = CL * \frac{D}{Q} + CS * \left(s - \mu_L + \frac{Q}{2} + y(s) \right) + CR * \frac{D}{Q} * y(s)$$

G. Investigaciones previas

Si bien como lo menciona (Soysal et al., 2015), la gestión de la cadena de suministro ha evolucionado en los últimos años por diversos factores como la alta calidad de los alimentos, el aumento de la conciencia de salud de los consumidores, el crecimiento de la población y la demanda de productos alimenticios seguros.

Un sistema de inventarios bajo revisión continua es el que propone (Sangeetha, Sivakumar, & Arivarignan, 2015), que plantea que las demandas son generadas por un número finito de fuentes, estos modelos surgen cuando la población es finita, sin embargo consideramos el proceso de demanda-llegada se modelaría de forma cuasi aleatorio, contrastando con el supuesto del proceso de Poisson para una población infinita de clientes. Este sistema de inventarios está controlado por una configuración a diferentes tasas de producción, es decir un cliente exige un solo producto, el cual se obtiene de las existencias y para reponer el stock el sistema se activa cuando el nivel de inventario está a un nivel fijado “s”.

Un sistema de control de inventario para perecederos con características de demanda no estacionaria y una restricción de llenado es el que plantea (Pauls-Worm, Hendrix, Alcoba, & Haijema, 2016), donde el principal objetivo es mantener la política de productos frescos, sabiendo que la demanda productos alimenticios es altamente incierta y fluctuante.

Este sistema se plantea con un enfoque de programación estocástica (SP), el objetivo del sistema SP es encontrar las cantidades de pedido que cumplan con el nivel de servicio de tasa de llenado del ciclo mientras se mantenga la fecha de caducidad lo más larga posible.

(Hendrix, Haijema, Rossi, & Pauls-Worm, 2012) coincide con (Pauls-Worm et al., 2016), al describir y analizar un modelo de programación estocástica (SP) que se utiliza para controlar inventarios de productos perecederos.

El objetivo de esta programación, está enfocado al nivel de servicio, donde el autor indica que se han experimentado múltiples soluciones con diferentes enfoques y que simplemente se han aproximado. En este modelo, también se examinó un enfoque de programación que es dinámica estocástica (SDP).

Un sistema de inventario, con una revisión periódica para productos perecederos y con una demanda correlacionada en un horizonte finito, la diferencia de este sistema a los anteriores es que se recibe una cantidad fija de productos en cada periodo. Estos productos se comercializan de forma electrónica y va enfocado al mercado minorista, sin embargo, el éxito de la venta de estos productos depende de la oferta y la demanda, para terminar el inventario y evitar la merma el producto debe ponerse en oferta, este sistema se enfoca a los experimentos numéricos y logra resultados en el mercado electrónico cuando las demandas en diferentes periodos están fuertemente correlacionadas (Bao, Lee, & Lee, 2007).

II. DESARROLLO

Debido a que la revisión de literatura sugiere para la administración de inventarios para productos perecederos un modelo estocástico, con las características de adaptarse a una revisión periódica cumpliendo con el nivel de servicio del 98.5% en la disponibilidad de producto.

La metodología aplicada en el caso de estudio consiste en aplicar el modelo de inventarios por punto de pedido con distribución de probabilidad discreta, este modelo es el que se adapta a la naturaleza de ventas que tiene la tienda mayorista y para fines prácticos únicamente se detallara con un solo producto el proceso a seguir en el diseño del sistema de inventarios.

La aplicación que se sugiere tiene como alcance el obtener la cantidad a solicitar (Q) cada que se tiene una cantidad de existencia igual o menor a (s) con esto se busca una tendencia de mantener un inventario sano que garantice un nivel de servicio del 98.5% y tiene como limitaciones solamente aplicarse para productos con una alta variabilidad en la demanda comparándose tales datos mes a mes de los últimos 4 años y día a día para años completos, buscando con estas análisis una mayor confiabilidad para considerarse que tiene comportamiento probabilístico, además de omitir en el costo de faltante (CR) otras variables como es la perdida de venta de otros productos o la poca frecuencia de clientes cuando no se tiene el producto y para este caso se considera el costo de faltante (CR) igual al costo de adquisición (CR) debido a que no representa ninguna utilidad al no tener producto.

Los pasos a seguir para la implementación del sistema de inventarios fueron los siguientes:

1. Realización de la clasificación ABC de productos para identificar aquellos productos que representan el 80% de la venta, estos fueron 51 productos de 296 productos totales que representa el 17.22%.

2. Una vez identificados los productos de realizo una evaluación de variabilidad de la venta mes a mes para conocer el CV el cual oscila de 0.06 a 0.17 lo que significa que la variación es apreciable como se muestra en la Figura 4. Para esto, se realizó una prueba más que fue evaluar de los últimos años la variabilidad día a día que aquí es donde sí se aprecia una variabilidad superior al 0.2 y se resumen estos valores en la Figura 5, que para ambos casos pertenece al producto Jamón Pierna.

Mes	2015	2016	2017	2018	Media	D.Std	CV
Enero	893	903	966	740	875	96	0.11
Febrero	834	813	832	628	777	99	0.13
Marzo	842	865	825	753	821	48	0.06
Abril	823	987	829	710	837	114	0.14
Mayo	871	979	867	636	838	144	0.17
Junio	852	909	844	702	827	88	0.11
Julio	857	937	839	719	838	90	0.11
Agosto	916	931	842	770	865	74	0.09
Septiembre	869	977	819	765	858	90	0.11
Octubre	999	983	789	748	880	130	0.15
Noviembre	897	968	697	747	827	126	0.15
Diciembre	965	952	753	754	856	118	0.14

Figura 4. CV mes a mes del producto Jamón de Pierna

Día	Media CV por año			
	2015	2016	2017	2018
Lunes	0.28	0.37	0.33	0.39
Martes	0.26	0.31	0.38	0.33
Miércoles	0.29	0.33	0.35	0.45
Jueves	0.36	0.33	0.38	0.41
Viernes	0.32	0.31	0.30	0.33
Sábado	0.29	0.31	0.33	0.42
Domingo	0.33	0.42	0.30	0.36

Figura 5. CV semana a semana del producto Jamón de Pierna

En la Figura 6, se muestra el comportamiento de ventas del año 2018 para visualizar la variabilidad de los datos.

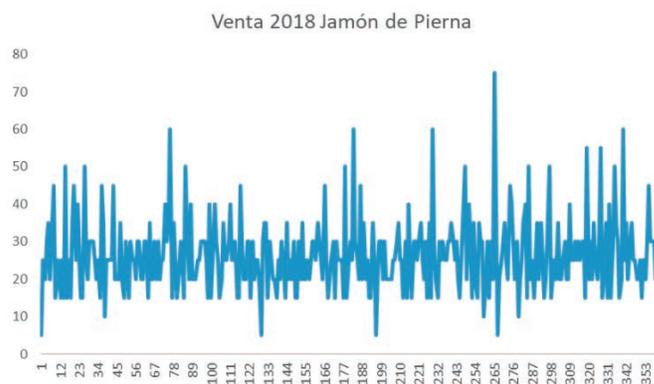


Figura 6. Ventas "Jamón de Pierna"

3. Se realizó el análisis de las ventas primeramente de manera gráfica para identificar el tipo de

distribución de probabilidad a la que se apegan los datos y si cumple la hipótesis para trabajar con el modelo propuesto. Los 51 productos cumplen con tal condición como se muestra en el producto Jamón Pierna en la Figura 6.

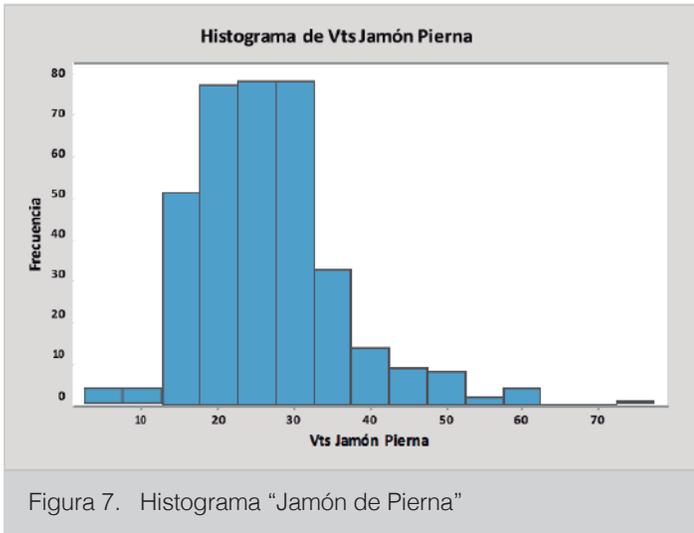


Figura 7. Histograma "Jamón de Pierna"

4. Por último, se procedió a la aplicación del modelo propuesto, para esto se utilizaron los siguientes datos para la determinación de Q y s:

D=	28.93
días x año=	364
CL=	30
Tasa de interés=	0.2
CA=	78.67
CR=	78.67

Calculo de Q con y(s)=0;

$$Q = \sqrt{\frac{2 * 28.93 * 364 * (30 + 78.67 * 0)}{78.67 * 0.2}} = 200.39$$

Calcular H(s);

$$H(s) = \frac{200.39 * 0.2 * 78.67}{200.39 * 0.2 * 78.67 + 28.93 * 364 * 78.67} = 0.00379$$

Se construyó la tabla de probabilidades para el cálculo de s, los cálculos de probabilidades son para un tiempo de entrega de 3 días por tanto en la Figura 8 se muestra el valor x/s para un H(s):

Prob(x)	0.37%	0.22%	0.13%	0.07%	0.04%
x/s	137.5	142.5	147.5	152.5	157.5
H(s)	0.0049	0.0027	0.0015	0.0008	0.0004
y(s)	0.011	0.006	0.003	0.002	0.001

Figura 8. Cálculo de "s"

Por tanto, el valor de s=142.5kgs =30pzs de 4.8 kgs y el valor de y(s)=0.0060 kgs/ciclo. Con el nuevo valor de y(s) calculamos de nuevo la variable Q:

$$Q = \sqrt{\frac{2 * 28.93 * 364 * (30 + 78.67 * 0.060)}{78.67 * 0.2}} = 201.95$$

Nuevamente se calcula el valor de H(s):

$$H(s) = \frac{201.95 * 0.2 * 78.67}{201.95 * 0.2 * 78.67 + 28.93 * 364 * 78.67} = 0.003829$$

De la tabla Figura 8, se obtiene el valor de s=142.5 kgs=30 piezas de 4.8kgs y, el valor de y(s) = 0.0060 kgs/ciclo. En este caso termina el proceso ya que no cambia el valor y(s), por tanto:

$$Q = 201.95 = 42 \text{ pzs de 4.8 kgs de Jamón Pierna}$$

$$s = 142.5 \text{ kgs} = 30 \text{ pzs de 4.8 kgs de Jamón Pierna}$$

Al tratarse de un sistema de inventarios probabilístico con distribución de probabilidad discreta para productos perecederos y revisión periódica se solicitará Q cuando la existencia sea igual o menor a 142.5kgs.

Para el cálculo del costo anual medio se utilizó la siguiente formula:

$$k(Q, s) = CL * \frac{D}{Q} + CS * \left(s - \mu_L + \frac{Q}{2} + y(s) \right) + CR * \frac{D}{Q} * y(s)$$

Sustituyendo los valores en la formula se obtuvo un costo anual medio K(Q,s)= \$ 4,054.12.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos para el producto Jamón Pierna es enviar un lote económico $Q=201.95\text{kgs}$ con un punto de reorden $s=142.5$ con un tiempo de entrega de 3 días. Para este producto en específico es factible el lote económico porque no representa ningún riesgo de merma porque si se traduce el tamaño de lote económico a días de inventario con la venta promedio diaria obtenemos un valor de 7 días para vender.

También podemos visualizar con los resultados anteriores que si la venta promedio diaria es 28.93 por 7 días de venta es igual a 202.51 lo cual nos indica que se estaría realizando prácticamente un abasto por semana con la relación D/Q . Para el caso del costo anual medio se tiene \$4,054.12 con los valores de s y Q , $y(s)=0.0060\text{kgs/ciclo}$ que es el volumen medio de llegada con faltante y con una proporción de ciclos con faltante del 0.279% que es una medida aceptable que supera el 98.5% de nivel de servicio que requiere la empresa.

Para realizar un comparativo respecto al costo anual medio es importante revisar los datos para calcular cual es el costo actual de la manera en que se estaba trabajando en la empresa, para esto tenemos pedidos promedio en el último año por 6.52kgs de Jamón Pierna con 331 pedidos, el porcentaje de ruptura promedio es del 2.5%, punto de reorden promedio de 91.72kgs, lo cual nos arrojó $k(s,Q)=\$12,056.31$ que comprado con el modelo propuesto representa una reducción del 66%.

Realizando un experimento en Excel, utilizando los datos del año 2018, podemos lograr probar el funcionamiento de la política al evaluar las existencias bajo la política (s,Q) vs el comportamiento de pedidos enviados como se observa en la Figura 9.

Se puede apreciar en la Figura 9, las existencias con la política (s,Q) tiene un comportamiento uniforme a la llegada de cada pedido y en ningún periodo tenemos agotamiento versus la política anterior tenemos periodos con existencia cero o cercana a cero, esto nos indica que la política de

inventario (s,Q) es adecuada para cumplir con un nivel de servicio superior al 98.5% y también tenemos una reducción significativa en el costo anual medio, lograda a través de la reducción de pedidos.



Figura 9. Comportamiento de existencias con política (s,Q) vs política anterior

En la actualidad, la gestión de inventarios es importante para toda empresa ya que implica costos de adquisición, de mantener el inventario y realización del pedido, sin embargo, el costo más difícil de calcular es por venta perdida ya que no solo implica el no tener el producto en el tiempo correcto y en la cantidad sino también la lealtad del cliente que ha esto le llamamos nivel de servicio.

Para el caso de estudio que es una tienda mayorista que tiene la problemática en la administración de inventarios se realizó primeramente la clasificación ABC de productos para identificar aquellos productos que representan el 80% de la venta y posteriormente se analizaron los datos de venta para determinar la variabilidad de los mismos. La literatura sugiere en la administración de inventarios para productos perecederos aquellos modelos estocásticos debido a la alta variabilidad que pueden presentar la demanda.

El modelo de inventarios que se utilizó es el de distribución de probabilidad discreta por el comportamiento que sigue la venta de los últimos años. Para este caso se planteó el cumplir con dos objetivos primordiales, el primero es el nivel de servicio superior al 98,5% y el segundo mantener o reducir el costo anual medio. Para ambos casos se cumplió el objetivo.

REFERENCIAS

- [1] Ballou, R. H. (2008). *Logística Administración de la cadena de suministro* (Quinta Ed).
- [2] Bao, J., Lee, C., & Lee, L. H. (2007). The value of Electronic Marketplace in a perishable product inventory system with auto-correlated demand. *OR Spectrum*, 29(4), 627–641. <https://doi.org/10.1007/s00291-006-0073-0>
- [3] Chapman, S. N. (2006). *Planificación Y Control De La Producción* (Primera Ed). México: Pearson Educación.
- [4] Companys Pascual, Ramón; Corominas Subias, A. (1998). *Organización de la producción II - Dirección de Operaciones* (PROTHIUS, ed.). Barcelona, España.
- [5] Hendrix, E. M. T., Haijema, R., Rossi, R., & Pauls-Worm, K. G. J. (2012). On solving a stochastic programming model for perishable inventory control. *7335 LNCS(PART 3)*, 45–56. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31137-6_4
- [6] Pauls-Worm, K. G. J., Hendrix, E. M. T., Alcoba, A. G., & Haijema, R. (2016). Order quantities for perishable inventory control with non-stationary demand and a fill rate constraint. *International Journal of Production Economics*, 181, 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.10.009>
- [7] Sangeetha, N., Sivakumar, B., & Arivarignan, G. (2015). Optimal control of production time of perishable inventory system with finite source of customers. *Opsearch*, 52(3), 412–430. <https://doi.org/10.1007/s12597-014-0193-2>
- [8] Saracoglu, I., Topaloglu, S., & Keskinurk, T. (2014). A genetic algorithm approach for multi-product multi-period continuous review inventory models. *Expert Systems with Applications*, 41(18), 8189–8202. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.003>
- [9] Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M. ., Haijema, R., & Van Der Vorst, J. G. A. J. (2015). Modeling an Inventory Routing Problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 164, 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.03.008>
- [10] Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones* (Novena edición). México: Pearson Educación.
- [11] Winston, W. L. (2005). *Investigación de Operaciones* (Cuarta Edición). México: Thomson.

Procedimiento para determinar la cantidad óptima de contadores cíclicos en un centro de distribución utilizando estudio de tiempos y movimientos

Nayeli Galaviz García
Jesús Gonzalo Palacios Valerio

Resumen—Toda empresa requiere abastecerse de materiales para el desarrollo de sus actividades, pues su éxito depende de ello. Para que lo anterior se lleve a cabo, se debe realizar una buena gestión de almacén, lo cual implica elaborar registros confiables de inventarios. Esta labor requiere de recursos para su implementación; el presente artículo se enfocará en el recurso humano requerido en un centro de distribución para la elaboración de inventarios. El objetivo de este proyecto es mostrar un análisis entre los modelos ya existentes para la asignación de recurso humano en distintos campos de estudio, además de presentar un modelo en el área específica de almacenes, a fin de poder determinar la cantidad óptima de personal requerido para llevar a cabo el registro de inventarios por medio del conteo cíclico en un centro de distribución. Para la generación de dicho modelo, se utilizará un estudio de tiempos y movimientos, generando una contribución para la optimización del recurso humano en dicha área.

Palabras Clave—Recurso humano, centro de distribución, inventarios, estudio de tiempos y movimientos, conteo cíclico.

I. INTRODUCCIÓN

A pesar de que los requerimientos de manejo de los artículos en un centro de distribución dependen del volumen del inventario, la realidad es que no se dispone de una herramienta exacta para definir con precisión cuando los recursos humanos en la gestión de materiales son excesivos o escasos. Por tanto, no hay manera de flexibilizar la mano de obra disponible en función de las necesidades reales del almacén.

La escasa optimización de los recursos humanos de una empresa usados durante el proceso de registro de inventarios repercute directamente en una gestión deficiente de los recursos financieros y materiales de la compañía. Es por ello que es necesario que el almacén se gestione con una máxima eficiencia y competitividad.

El presente trabajo busca, en primera instancia, presentar un análisis cuantitativo entre los modelos de asignación de recursos humanos ya existentes, para determinar una correlación entre ellos y precisar la manera más adecuada para calcular la cantidad de recursos humanos requeridos para el registro de inventarios por medio del conteo cíclico.

Por otro lado, se utilizará el estudio de tiempos y movimientos para desarrollar un procedimiento de cálculo y generar el tiempo de ciclo demandado por la tarea del conteo cíclico realizado en un centro de distribución.

II. MARCO TEÓRICO

A. *Importancia de los inventarios*

Toda empresa necesita saber con qué cantidad de producto cuenta su almacén, por lo cual se llevan a cabo la elaboración de inventarios, ya sea de manera manual o digital. Financieramente, los inventarios son muy importantes para las empresas; generalmente representan del 20% al 60% del total de los activos [1]. Para efectuar los registros de dichos inventarios, son necesarios

recursos, tales como maquinaria, tiempo y mano de obra para hacerlos [2]. Las organizaciones pueden mejorar la eficiencia de la ejecución de procesos a través de una correcta asignación de recursos, así como aumentar los ingresos y mejorar la satisfacción del cliente [3].

La asignación de recursos implica la distribución y utilización de los recursos disponibles en el sistema. Debido a que la disponibilidad de recursos suele ser escasa y costosa, es importante encontrar soluciones óptimas para tales problemas [4].

El inventario es todo el dinero que actualmente atado en el sistema y se refiere a los equipos, accesorios, edificios y demás que posee la empresa [5]. El costo de los inventarios es un punto importante en el informe financiero anual de la mayoría de las compañías. Cualquier incorrección en el inventario afectará directamente las ganancias [6].

Los márgenes de ganancia pueden verse mejor o peor de lo que realmente son si el inventario no se ha informado de manera precisa, y si no sabes cuánto cuesta, es imposible planificar. El factor económico es crucial en la toma de decisiones de una empresa. Y en cuestión de inventarios, los costos se pueden elevar si [2]:

- Se tienen existencias en exceso.
- Hay obsolescencia en los componentes.
- No se cumple la demanda de los artículos más esenciales, pues la orden urgente y los costos de envío expreso se agregan a sus compras.

Es por esto que es importante llevar un registro de los recursos con los que se cuentan en almacén. Sin recuentos de inventarios regulares, no hay forma de saber con certeza qué hay disponible [2]. Es por esto que se eligió el conteo cíclico como una herramienta para la elaboración de inventarios, pues con esto se programan conteos regulares para mayor certeza en los registros.

B. *Conteo cíclico*

A pesar de que una organización puede haber realizado esfuerzos sustanciales para registrar el

inventario con precisión, estos registros deben verificarse mediante una auditoría continua. Una revisión periódica de lo que hay en el inventario mostraría dónde tenía un exceso –o falta- de stock disponible. Esa sería la señal para reducir –o aumentar- la frecuencia de los pedidos de esas partes [2]. Estas auditorías se conocen como conteo cíclico [7].

Según el diccionario de la Sociedad Americana de Producción y Control de Inventarios (APICS, por sus siglas en inglés), el conteo cíclico es una técnica de auditoría de precisión de inventario, donde el inventario se cuenta en un cronograma de ciclo en lugar de una vez al año.

Para el recuento de inventario de ciclo generalmente se utiliza la clasificación ABC de los artículos en el inventario. El análisis ABC divide el inventario disponible en tres clasificaciones sobre la base del volumen anual en dólares. Este análisis es una aplicación de inventario de lo que se conoce como el principio de Pareto, el cual establece que hay unos pocos artículos críticos y algunos triviales [7].

El grupo A, generalmente representa alrededor del 20% por cantidad de elementos y aproximadamente entre el 70 y el 80 por ciento por volumen de dólares proyectado. La siguiente agrupación B, generalmente representa alrededor del 30% de artículos, y alrededor del 15% del volumen en dólares. La clase C contiene el 50% de los artículos y representa el 5% del volumen en dólares. El principio de ABC establece que el esfuerzo y el dinero se pueden ahorrar mediante la aplicación de controles más flexibles a los artículos de clase de bajo volumen de dólares que a los de clase de alto volumen de dólares [5].

Los sistemas de conteo cíclico más efectivos requieren el conteo de un cierto número de elementos cada día de trabajo con cada artículo contado a una frecuencia prescrita. El propósito clave del recuento cíclico es identificar elementos erróneos, lo que desencadena la investigación, identificación y eliminación de la causa del error [5].

Durante el conteo cíclico, los contadores de ciclo se envían al almacén para ver físicamente y contar el material que realmente se tiene a la mano [6]. Esto, para poder comparar las cifras con el registro en las bases de datos para conciliar las diferencias [8].

Los artículos A se contarán con frecuencia, tal vez una vez al mes; los artículos B se contarán con menos frecuencia, quizás una vez por trimestre; y los artículos C se contarán quizás una vez cada 6 meses [7].

Este tipo de conteo es muy útil, pues durante el proceso se capturan y corrigen los errores de inventario, mejorando así su precisión. También se valida el uso adecuado de los procedimientos para registrar y manejar transacciones de inventario y se identifican problemas de procedimiento [6].

C. Recurso humano

La planificación de recursos humanos resulta una labor compleja que requiere de herramientas y metodologías que permiten la optimización de variables relacionadas con tiempo y costos [9].

Los recursos humanos son uno de los componentes más complejos y costosos que enfrenta la industria [10]. El elemento humano está presente en todas las actividades de la empresa [11], y para efectuar el registro de inventarios no es la excepción. Este elemento representa una inversión de la empresa, y muchas veces las personas son los recursos que necesitan ser rastreados para controlar gastos y disminuir costos [12].

Las organizaciones deben tratar sus recursos humanos, así como otro tipo de recursos (capital, estructuras, equipos, materiales y suministros, productos y servicios, inventarios y clientes) [13]. La asignación de recursos humanos se considera un problema relevante en la gestión de procesos de negocios, pues implica una distribución y utilización de los recursos disponibles en el sistema.

Los recursos necesitan ser asignados dentro de los estándares de labores legales, nivelando tanto como sea posible para tener el menor costo para

un proyecto, reduciendo el pago de tiempo extra innecesario [14]. Es importante encontrar soluciones óptimas para la asignación de recursos [4], pues la asignación exitosa de recursos disponibles se da cuando se reducen costos y se obtiene una mejor productividad de los recursos [15].

Los encargados de los proyectos frecuentemente enfrentan el manejo de situaciones complejas por la poca disponibilidad de los recursos.

Esta indisponibilidad puede ocurrir por vacaciones, asignación a otras actividades en el mismo periodo, renuncias, entrenamiento, entre otros factores [14].

Ahora bien, el incremento de carga de trabajo se traduce, entre otras cosas, en la adopción de modalidades operatorias más económicas, las que si bien permiten reducir la carga resentida, a menudo conllevan un aumento en los costos de operación [16], por lo que no es conveniente tener un número holgado de personal para la realización de cualquier tarea, incluyendo los registros de inventarios.

Para llevar a cabo el registro de inventarios, se pudiera considerar al contratar ayuda temporal para asistir en el proceso de conteo, pues, según aconseja Andi Gray en su artículo, se recomienda hacer que las personas que no manejan el inventario regularmente realicen el conteo; mientras quienes regularmente tocan el inventario, se deben alejar y realizar otras actividades mientras el conteo se realiza [2].

De aquí que, si una mayor cantidad de personal es asignada a las tareas a realizar, el proyecto puede ser completado más rápidamente, pues diferentes actividades pueden ser desarrolladas simultáneamente. Sin embargo, a mayor cantidad de recursos asignados, mayor será el gasto que se realizará en dicho proyecto [14].

D. Métodos

El problema de asignar un grupo de trabajadores capacitados en varios departamentos, unidades o centros de trabajo es importante tanto para entornos de fabricación como de servicio [17].

La humanidad tomaba decisiones haciendo uso del sentido común, la intuición y ocasionalmente usando métodos heurísticos, los cuales se refieren para definir métodos genéricos para encontrar soluciones a los problemas [24].

Actualmente, no existe un modelo o algoritmo que defina con certeza la cantidad óptima del recurso humano necesario para la elaboración de inventarios en almacenes y centros de distribución, aunque existen varios modelos referentes a la asignación del recurso humano en cada trabajo de las empresas.

Algunos de estos modelos son:

Tabla 1. Modelos de asignación de recursos humanos

Área	Año	Modelo	Aplicación
Empresas/ Negociación	2013	$B(i) = \sum_{j=1}^k B_j(i)$	Este método se utiliza para considerar otras opciones en la negociación [16]
Mercado Laboral	2014		Asignación, por ejemplo, de graduados universitarios al mercado laboral [18]
Asignación de enfermeras	2015	$\phi(n, m) = \sum_{k=0}^m (-1)^k \binom{m}{k} (m-k)^n$	Se asume que cada n trabajadores pueden ser asignados a cualquiera de los m departamentos [17]
Asignación de recursos laborales en situaciones	2018	$\max \lambda + \frac{1}{m} \sum_i^N \lambda_i$	Se busca maximizar el índice de satisfacción entre valores de 0 y 1.

Área	Año	Modelo	Aplicación
Asignación de recursos de crisis			donde a mayor valor, mayor es el nivel de satisfacción [19]
Asignación de médicos especialistas a distintos hospitales	2018	Models:	Modelos de programación lineal mixta para minimizar los costos totales de transporte y maximizar el compromiso del médico y las necesidades de los pacientes [10]

Fuente: Elaboración propia

En el primer método presentado en la tabla, se utilizaron casos reales de desarrollo de productos distribuidos para demostrar cómo funciona el mecanismo de negociación y validar la efectividad del mecanismo. En este caso, la asignación de recursos humanos en el comportamiento de toma de decisiones es un proceso de “juegos” en varias etapas, en varios niveles y en varios participantes. Las personas en el mismo grupo funcional de diseño deben compartir recursos e información para completar el diseño de artículos para un producto [16].

El segundo modelo presentado en la tabla es descrito por el llamado Potts Spin Glass, en donde cada giro de Potts representa una acción de cada estudiante, y toma una variable discreta la cual corresponde a la compañía para la que solicita. En este sistema modelo, las correlaciones entre estudiantes se toman en cuenta a través de las interacciones spin-spin por pares [18].

En el modelo de Brusco, se presenta una formulación bicriterio en el contexto de los servicios como la enfermería hospitalaria, ya que el

problema se ha formulado comúnmente como uno de asignación no lineal con una función objetivo orientada a la maximización de la utilidad del servicio. En este modelo se incorpora el criterio de objetivos y de recursos humanos [17].

En el modelo de Aviso, se utiliza el marco de entrada-salida para tener en cuenta las interdependencias organizativas que existen entre los trabajadores o las unidades departamentales y garantizar una pérdida mínima de servicios vitales entregados a clientes externos. El modelo demuestra que puede proporcionar apoyo a la decisión para los profesionales de la industria, a fin de mitigar los impactos de la escasez de recursos humanos en la comunidad del negocio durante una crisis.

En este modelo se presentan dos situaciones simuladas, una en el ámbito hospitalario y una situación hipotética de una pandemia. Mientras que también se presenta una situación simulada de la externalización en el proceso de negocio, es decir, la contratación de un servicio de 3PL en el ámbito de negocios, esto en un ambiente adverso en las condiciones climáticas. Aplicando el modelo propuesto por Aviso, en el primer caso se obtuvo una satisfacción del 28.4%, mientras que para el segundo caso la satisfacción fue de un 51%.

Por otro lado, Wu, Jiang y Zhu proponen no un modelo, sino un mecanismo de asignación de recursos humanos en el que la asignación de recursos humanos se considera la formación de diferentes equipos [20]:

- Primero, las tareas envían las habilidades que requieren al mecanismo, y luego el mecanismo clasifica las tareas en orden descendente sobre la base de la fuerza de trabajo.
- Segundo, calcule la contribución de los agentes según el tipo de tarea y la base descendente en la contribución de los agentes.
- Finalmente, elija a los agentes que tienen mayor contribución que otros como miembros del grupo para completar la tarea.

Bouajaja & Dridi presentan un análisis acerca del problema de la asignación de recursos humanos. El análisis fue de varios enfoques de resolución: métodos exactos, heurísticos y metaheurísticos propuestos para resolver el problema, en donde se observaron varias limitaciones, como la falta de consideración de factores humanos en la tarea, tales como la motivación personal, el ausentismo, la salud, la fatiga, el nivel de habilidad, la experiencia, las características de la personalidad y la actitud [21].

Otro modelo presentado es el de Jieh-Haur, Shang-I & Tih- Ju, cuya aportación está orientada hacia la construcción de infraestructuras públicas que requieran mucha mano de obra. Su método utilizado para el análisis de datos fue el enfoque de conjunto aproximado y un modelo de red neuronal artificial, el cual aportó una precisión de 88.63% [22].

Finalmente, en la Tabla 1, se presentan varios modelos propuestos por Suppapitnam & Pongpirul, quienes proponen cinco modelos para la asignación de personal, tomando en cuenta la programación lineal para determinar la localización de especialistas en una red de hospitales. Estos modelos toman en cuenta el tiempo trabajado por los médicos (parcial o completo), además del nivel de compromiso de los doctores, y los gastos de traslado entre los centros de trabajo [10].

De acuerdo a los modelos encontrados para la asignación de recurso humano en distintos ámbitos, se puede ver que cada área toma en cuenta aspectos distintos, pues cada entorno maneja distintas variables. En el área de asignación de personal recién egresado de la educación superior para el área laboral se toman en cuenta factores cualitativos. Por otro lado, existen muchos problemas en el área médica en cuanto a su asignación de personal, pues la demanda laboral en este campo es alta, y en muchas ocasiones su personal no es suficiente para cubrir todas las necesidades que se tienen.

También se presenta el modelo de asignación de personal para llevar a cabo obras de construcción

de infraestructura pública, en las cuales se requiere mucho recurso humano, pero se debe buscar la cantidad óptima para no caer en pérdidas para los contratantes. Ante esto, se puede afirmar que para que una asignación de recurso humano sea efectiva, es necesario tener bien definidas las tareas a realizar en cada área, además de definir los aspectos del recurso humano que afectan la realización de dicha tarea. Con esto, se podrá designar de manera óptima el número de personal requerido en cada actividad.

E. Estudios de tiempos y movimientos

Saber cuánto tiempo lleva realizar ciertas tareas permite lograr y mantener una alta utilización de personal, material y equipo. Esto da como resultado, una eficiencia general que hará posible un crecimiento organizativo sostenible [23]. Los estudios de tiempos y movimientos pueden ahorrar un porcentaje mayor de costos que cualquier otra cosa que se pudiera hacer en un centro de trabajo [24].

Los estudios de tiempos y movimientos predeterminados surgieron de la unión de estudios de tiempo, desarrollados por Frederick Taylor, y los estudios de movimientos, desarrollados por Frank y Lillian Gilberth. Estos sistemas utilizan técnicas de estudio del tiempo y micromovimientos para determinar y asignar tiempos a las actividades asignadas a una tarea.

Algunos de estos estudios incluyen el sistema MODAPTS. Este es un sistema de tiempo predeterminado relativamente fácil de usar. MODAPTS significa Arreglo Modular de Estándares de Tiempo Predeterminados (por sus siglas en inglés), y su facilidad radica en que describe el trabajo en términos humanos en lugar de mecánicos.

La aplicación está integrada con las capacidades de procesamiento de las computadoras de escritorio, lo que simplifica su uso. MODAPTS se utiliza para analizar todo tipo de tareas de manejo de materiales industriales, oficiales y de oficina.

Los datos de los estudios de MODAPTS se utilizan para la planificación y programación, la estimación de costos y el análisis, la evaluación ergonómica de las tareas manuales y el desarrollo de estándares laborales [25].

Otros de estos estudios incluyen a la familia de sistemas MTM, como: MTM-1, MTM-2, MTM-3, MTM- V, MTM-C, MTM-M, MTM-EMK, MTM-UAS, MTM-LINK [31]. Además de el sistema MOST, del cual existen varias versiones como: BasicMOST, MiniMOST, AdminMOST y MaxiMOST [23].

Con las técnicas MOST, los analistas pueden establecer estándares al menos cinco veces más rápido que con MTM-1, con poco o ningún sacrificio de la exactitud [26]. Es por esto que se presenta una tabla comparativa entre los niveles del sistema MOST:

Tabla 2. Comparación entre los sistemas MOST

Sistema	Descripción	Tiempo de operaciones	Frecuencia de operaciones
MiniMOST	Se utiliza para medir operaciones cortas y muy frecuentes	Menos de 1.6 minutos por operación	Más de 1,500 operaciones por semana
MaxiMOST	Se aplica en la medición de operaciones largas e infrecuentes	Desde 2 minutos hasta varias horas	Menos de 150 operaciones por semana
BasicMOST	Este sistema cubre las operaciones que caen en el rango de MiniMOST y MaxiMOST	Entre 0.5 y 3 minutos por operación	Entre 150 y 1,500 operaciones por semana
AdminMOST	Este sistema es igual que el BasicMOST, pero aplicado a las operaciones administrativas	Entre 0.5 y 3 minutos por operación	Entre 150 y 1,500 operaciones por semana

Fuente: Elaboración propia

Existe también el sistema de factor de trabajo, el cual es similar en muchos aspectos al sistema MTM, pero difiere en algunos aspectos importantes. Una diferencia es que en el sistema de factor de trabajo se asume a un operador promedio experimentado con buena habilidad y esfuerzo, mientras que MTM asume un operador aceptable; por lo que las predicciones de tiempo en MTM son aproximadamente 20% más lentas

que en el sistema del factor de trabajo. Este método utiliza un conjunto de actividades muy similar al MTM, pero en lugar de distinguir entre los casos, se identifican los factores de trabajo que afectan la dificultad del movimiento [27].

Finalmente, está la toma de tiempos por medio del cronometraje. Este método de determinación de tiempo de las actividades de los procesos se basa en la observación, de manera continuada y durante un intervalo de tiempo, de la operación cuyo tiempo se quiere medir. En este método se deberá ponderar el tiempo medio por un factor de corrección que tendrá en cuenta la destreza o habilidad del operario [28].

A continuación, se presenta una comparación entre algunos aspectos de las medidas de tiempos por cronometraje así como con los sistemas de tiempos predeterminados:

Tabla 3. Comparación de métodos de medición de tiempos

Aspecto	Cronometraje	Tiempos predeterminados
Objetivo	Tiempo	Método
Control	Interno	Externo
Costo	Bajo	Elevado
Aplicaciones	Mejora, costos, primas	Diseño, mejora, costos
Objetividad	Baja	Elevada
Presión sobre el operador	Sí, por presencia elevada	No, por mínima presencia
Actividades de	Procesos en marcha	Nuevos proyectos

Fuente: Cuatrecasas, 2017

III. METODOLOGÍA

Como ya se vio en el análisis hecho en el apartado II, con los modelos presentados en la tabla 1 no es posible determinar el personal necesario para la realización de un registro de inventarios en un centro de distribución, pues las variables que se toman en cuenta en cada uno de los modelos son distintas a las variables presentadas en las

actividades realizadas en los registros de inventarios. Además, las tareas a realizar en dicha actividad no están dentro de los campos de acción de los modelos antes vistos.

Ahora bien, para comenzar a desarrollar algún método para determinar la mano de obra requerida en un centro de distribución para la elaboración de inventarios, se eligió utilizar un estudio de tiempos y movimientos, puesto que representa mayores ventajas en comparación con el cronometraje, ventajas expresadas en la Tabla 3. Este atributo consiste en determinar el tiempo que requiere un operario normal, calificado y entrenado, con herramientas apropiadas, trabajando a marcha normal y bajo condiciones ambientales normales, para desarrollar un trabajo o tarea [29]. Para ello, se deben definir las tareas a realizarse para llevar a cabo los conteos físicos de los inventarios.

Hay que hacer una diferenciación en este punto: una bodega implica que gran parte del espacio del almacén se dedica al aprovisionamiento semipermanente o de largo plazo. Por el contrario, un centro de distribución tiene la mayor parte de su espacio asignado al almacenamiento temporal, y se le da más atención a la velocidad y facilidad del flujo del producto [29].

El concepto de centro de distribución nace a partir del momento en que una compañía decide centralizar el almacenamiento de sus inventarios y la ejecución de las actividades de recibo y despacho de los mismos en una sola instalación, la cual presta estos servicios a todos sus usuarios [30].

En cuanto a los inventarios, se deben distinguir las siguientes fases:

- El recuento de las unidades de cada artículo y el registro de esas actividades.
- La verificación de las cantidades determinadas en la etapa anterior.
- La corrección de las cantidades que figuren en el sistema de registro con los datos proporcionados por el recuento físico realizado.

Hay que tomar en cuenta que las actividades específicas llevadas a cabo en los conteos físicos, se identificaron las siguientes:

- Operaciones (conteos físicos)
- Transportes
- Toma de decisiones

Además de tener en cuenta las demoras que se pueden ocasionar entre una actividad y otra.

IV. RESULTADOS

Con los fundamentos anteriores, se llevó a cabo una investigación de campo, durante la cual se hicieron estudios de tiempos y movimientos utilizando el sistema Basic MOST. Dicho trabajo arrojó como resultado, la siguiente información:

Tabla 4. Resultados obtenidos del estudio de tiempos y movimientos

Actividades	Frecuencia	Distancia (metros)	Tiempo asignado (Segundos/conteo)
Operaciones	24		356.24
Transportes	16	98.4	240.32
Demoras	4		406.64
Toma de decisiones	4		61.92
Total	48	98.4	1065.12
Tiempo estándar por conteo			17 minutos 45 segundos

Para trabajar los datos de la tabla anterior, se plantea una situación simulada, en la que tenemos 10,000 artículos a contar, los cuales están clasificados de la siguiente manera:

- Clase A: 1000 artículos, 12 conteos anuales.
- Clase B: 2,000 artículos, 4 conteos anuales.
- Clase C: 7,000 artículos, 1 conteo al año.

De esto, debemos calcular el número de artículos a contar durante el año:

- Clase A: $1,000 \times 12 = 12,000$ artículos al año.
- Clase B: $2,000 \times 4 = 8,000$ artículos totales anuales.
- Clase C: $7,000 \times 1 = 7,000$ artículos totales anuales.

Tomando en cuenta que al año son 27,000 artículos a contar en el inventario, y tomando un año laboral de 240 días, se tiene que:

- Cantidad de conteos por día (Q) = $27,000/240 = 112$
- Tiempo de ciclo por conteo (X) = 1,065 segundos por conteo
- Tiempo total del proceso (P) = $1,065 \times 112 = 119,280$ segundos/día
- Tiempo total disponible (T) = 8 horas = 28,800 segundos/día

Con esta información, se dedujo el siguiente algoritmo:

$$HR = P / T \quad (1)$$

En donde *HR* es el recurso humano necesario por turno. Con la situación simulada planteada, se tiene que:

$$HR = P / T = 119,280 \text{ segundos/día} \div 28,000 \text{ segundos/día} = 4.14 = 5$$

Por lo tanto, con el procedimiento propuesto, y teniendo en cuenta la información anterior, en esta situación simulada son necesario cinco operarios para llevar a cabo el registro de inventarios, considerando que se sigue el sistema de conteo cíclico para llevar a cabo los conteos físicos.

La ecuación (1) fue propuesta para aplicarse en diez empresas, específicamente en combinación por ingeniería y logística en sus almacenes, de las aproximadamente trescientas diez que se encuentran en la localidad, esperando resultados satisfactorios.

V. CONCLUSIONES

Con todo lo presentado en este artículo, se logró encontrar un procedimiento básico que satisface la necesidad de determinar de manera óptima la cantidad de recurso humano necesario para registrar los inventarios en un centro de

distribución. A este procedimiento debe de incluirse las tolerancias, suplementos y holguras que se demanden al efectuar las tareas relacionadas con los inventarios.

La obtención de la información en este proyecto fue en el sector de manufactura de Ciudad Juárez, aunque el uso del algoritmo podría validarse para centros de distribución de otro tipo de industria, como la de servicios (centros de distribución de supermercados y tiendas de conveniencia).

Además, este algoritmo se propuso utilizando el sistema BasicMOST, aunque para tener mayor exactitud podría utilizarse el sistema MaxiMOST, pues las actividades llevadas a cabo en un centro de distribución para el conteo físico entran en el rango de MaxiMOST más que Basic MOST.

Es por ello que se desarrollará un estudio utilizando MaxiMOST, para verificar, y en su caso, mejorar la precisión del algoritmo propuesto en este documento.

REFERENCIAS

- [1] Arnold, J. R., Chapman, S. (2004). Introduction to materials management, Upper Saddle River, Prentice Hall.
- [2] Gray, A. (2014). Inventory an effective tool for saving money and planning. Westchester County Business Journal, 50 (16), 10.
- [3] Djedovic, A., Karabegovic, A., et al (2018). Innovative approach in modeling business processes with a focus on improving the allocation of huma resources. Mathematical problems in engineering, 1-14.
- [4] Ganesh, K., Punnymoorthy, M., et al (2015). Resource allocation problems in supply chains. UK. Emerald group.
- [5] Pittman, P., Atwater, B: (2016). APICS Dictionary. Estdaos Unidos: APICS.
- [6] Young, J. (2010). Cycle count and physical inventory design and execution

- [7] Heizer, J., Render, B. (2009). Operations management. Upper Saddle River, Prentice Hall.
- [8] Rubinger, J. (2015). Counting techniques to improve accuracy in the warehouse. *Material handling & logistics*, 70 (8), 24-26.
- [9] Bohorquez, J., Porras, H., et al (2018). Planificación de recursos humanos a partir de la simulación del proceso constructivo en modelos BIM 5D. *Revista Entramado*, 14 (1), 252-267.
- [10] Suppavitnarm, N., Pongpirul, K. (2018). Model for allocation of medical specialists in a hospital network. *Journal of healthcare leadership*, 10, 45-53.
- [11] Barquero, A. (2005). Administración de recursos humanos. Costa Rica, Ed, Universidad estatal a distancia.
- [12] Mullins, M. (2018). Put pen and paper in the past, improve process. *Plant engineering*, 72 (4), 47-50.
- [13] Salvendy, G. (2012). Handbook of human factors. New Jersey. John Wiley & Sons, Inc.
- [14] Celkevicius, R., Russo, R. (2018). An integrated model for allocation and leveling of human resources in IT projects. *International journal of managing projects in business*, 11, (2), 234-256.
- [15] Arias, M., Saavedra, R., et al (2018). Human resource allocation in business process management and process minig. *Management decision*, 56 (2), 376-405.
- [16] Chien, T., Lin, Y., Tien, K. (2013). Agent-based negotiation mechanism for multi-project human resource allocation. *Journal of industrial & production engineering*, 30 (8), 518-527.
- [17] Brusco, M. (2015). Discrete optimization: A bicriterion algorithm for the allocation of cross-trained workers based on operational and human resource objectives. *European Journal of Operational Research*, 247 (1), 46-59.
- [18] Inoue, J., Chen, H. (2014). Statistical mechanics of human resource allocation: A mathematical modeling of job-matching in labor markets. Recuperado de: <http://arxiv.org/abs/1403.7370>.
- [19] Aviso, K., Mayol, A., Promentilla, M., et. al. (2018). Allocating human resources in organizations operating under crisis conditions: A fuzzy input-output optimization modeling framework. *Resources, Conservation & Recycling*, 128, 250-258.
- [20] Wu, J., Jiang, Y., Zhu, J. (Agosto de 2016). Human resource allocation combined with team formation. *International Conference on Computational Intelligence and Applications (ICCIA)*.
- [21] Bouajaja, S., Dridi, N. (2017). A survey on human resource allocation problems and its applications. *Operational Research*, 17 (2), 339-370.
- [22] Jieh-Haur, C., Shang-I, L., Tih-Ju, C. (2013). Human resource allocation model in pavement engineering. *International Journal of Pavement Research & Technology*, 6 (5), 643-650.

Análisis del servicio de un nodo público con enfoque de función de pérdida

Leticia Damián Ramírez
Estudiante de Posgrado Departamento
de Estudios Multidisciplinarios
Universidad de Guanajuato Yuriria, Gto. México
l.damianramirez@ugto.mx

Roberto Baeza Serrato
Profesor Investigador Departamento
de Estudios Multidisciplinarios
Universidad de Guanajuato Yuriria, Gto. México
r.baeza@ugto.mx

Rocío Alfonsina Lizárraga Morales
Profesor Investigador Departamento
de Estudios Multidisciplinarios
Universidad de Guanajuato Yuriria, Gto. México
ra.lizarragamorales@ugto.mx

Resumen— Este artículo propone analizar un nodo público con un enfoque de función de pérdida de Taguchi perteneciente al “Programa de reducción de brecha digital”, analizando la característica del tipo mayor es mejor aplicado a las variables de velocidad, cobertura, carga, descarga, visualización de gráficos, señal de la red y aplicando la característica del tipo menor es mejor para intermitencia de la red, concluyendo con un análisis multivariado de deseabilidad, logrando obtener un valor global en la escala de deseabilidad en base al rendimiento del proceso. La evaluación se realizó a través de encuestas hechas a la población de Valtierra, comunidad perteneciente a la ciudad de Salamanca Gto., con el objetivo de mostrar la oportunidad de mejora de cada variable, se muestran las gráficas de la función que puede ser herramienta de apoyo para que el servicio público brinde calidad a sus usuarios. El enfoque propuesto puede ser replicado en análisis de encuestas en cualquier sector productivo.

Palabras Clave— nodos; servicio; función de pérdida; menor es mejor; mayor es mejor; calidad; análisis multivariado.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente vivimos en un mundo donde estar conectado a internet es fundamental, diariamente se usa la tecnología para enviar y recibir información a través de dispositivos móviles.

Hoy en día la infraestructura de programas públicos para conectarse a internet en el estado de Guanajuato ha ido avanzando. Sin embargo, la fiabilidad de los programas públicos debe ser evaluada por el público en general quien utiliza el servicio y corrobore que se esté cumpliendo el objetivo. Es a través de la tecnología que hoy en día podemos tener acceso a diferentes servicios digitales de telefonía móvil.

Para ver el crecimiento de un servicio en las comunidades rurales, debe contar con una herramienta adecuada para una evaluación, y que dicha evaluación sea la respuesta de los usuarios que utilizan el servicio, cuando el proyecto es grande, se debe realizar esta evaluación en cada uno de los nodos pertenecientes al proyecto. Por lo tanto, la evaluación del desempeño del nodo público en la comunidad de Valtierra se realizó en base a las encuestas respondidas por una muestra de usuarios activos que acceden usualmente a este servicio. Para recibir un servicio de telecomunicaciones, un usuario utiliza un equipo terminal a través del cual obtiene entrada a la red por medio de un canal de acceso. Los nodos son parte fundamental en cualquier red de telecomunicaciones, son los equipos encargados de realizar las diversas funciones de procesamiento que requieren cada una de las señales o mensajes que transitan a través de los enlaces de la red [1].

La Constitución Mexicana, establece que es derecho de todos los mexicanos contar con acceso a los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones, incluido el de la banda ancha e Internet (artículo 6to. constitucional).

El programa de reducción de brecha digital tiene como objetivos generales: cerrar la brecha digital en el estado de Guanajuato mediante el desarrollo

de infraestructura de banda ancha estatal con cobertura en regiones urbanas, sub-urbanas y rurales, así como también la promoción de acceso WiFi en espacios públicos y escolares mediante un modelo escalable, sustentable y gestión inteligente. Se puede ver en tiempo real el uso de la red a través del sitio:

<http://www.guanajuatoconectado.org/views/index.php>. Para la distribución del servicio de internet en plazas y jardines se hace uso de los nodos de conectividad pública. Los nodos operan de manera autónoma los 365 días de año, las 24 horas del día. Cada uno de estos nodos soporta la conexión simultánea de hasta 30 usuarios gracias a un robusto sistema de control y distribución de ancho de banda, además este mismo sistema permite establecer una política de uso justo del servicio en la cuál a cada usuario se le asignan sesiones de una hora de conectividad con el fin de evitar una sobre explotación al servicio [2].

Taguchi define a la calidad de un producto como la pérdida económica impuesta a la sociedad desde el momento en que el producto es lanzado al mercado [3]. El propósito es obtener la pérdida por unidad producida como indicador del desempeño del proceso, como sostiene Taguchi, cuanto mayor es la pérdida promedio por unidad producida menor es la calidad del producto. Para analizar la función de pérdida y obtener pérdida por unidad producida se deben distinguir tres casos según la característica de calidad en estudio:

- Nominal es mejor
- Menor es el mejor
- Mayor es el mejor

Un producto de calidad es para el cliente aquél que cumple con las expectativas de rendimiento cada vez que lo utiliza, sin fallas y en cualquier condición o circunstancia. Los productos que no cumplen con dichas expectativas causan pérdidas, tanto para los clientes y los productores, como para el resto de la sociedad, eventualmente. Por esto, para Taguchi, la calidad debe medirse en función de la pérdida que causa: mientras mayor es la pérdida que se produce, menor es la calidad [4].

El objetivo de esta investigación es analizar los resultados de una encuesta de la calidad de servicio de internet en un nodo público y determinar la función de pérdida de los siguientes parámetros:

Velocidad, cobertura, carga, descarga, intermitencia, visualización de gráficos y señal.

ESTADO DEL ARTE

El diseño de experimentos es una herramienta que también puede llegar a ser usada en las etapas de diseño de productos y procesos con el objetivo de minimizar la variación del desempeño de éstos en manos de los consumidores finales con respecto a los factores ambientales como medio para mejorar la calidad. La idea de diseñar productos y procesos cuyo desempeño sea insensible a las condiciones ambientales (robustez del sistema) y realizar esto en las etapas de diseño a través del uso de diseño de experimentos ha sido la piedra angular de la metodología Taguchi según [5].

La selección de proveedores es un problema de toma de decisiones clave que implica tanto la evaluación cualitativa y cuantitativa de varios criterios considerados. Este documento, propone un enfoque integral para resolver el problema de selección de proveedores utilizando la función de pérdida de Taguchi, TOPSIS y GP. Este artículo trata de un enfoque integrador, considerando la función de pérdida de Taguchi, técnica por orden de preferencia y similitud con solución ideal (TOPSIS) de programación y multi criterio objetivo en base al artículo [6]. La función de costo de calidad de Taguchi es una forma práctica de evaluar monetariamente todos los costos en que se incurre cuando el producto no satisface las especificaciones del cliente, ya sea productos demasiado húmedos a veces atacados por hongos o por el contrario demasiado secos con problemas de grietas y alabeos como se menciona en el artículo análisis y estudio del contenido de humedad final de la madera según Ihmaidan y Monardez [7]. Este estudio tiene como objetivo contribuir a esta zona mediante la propuesta de una evaluación y clasificación de modelo mediante una integración de la función de pérdida de Taguchi, mejor-peor método (BWM) y

la técnica Vikor. El modelo propuesto permite a los tomadores de decisiones poder establecer diferentes valores objetivos y los umbrales de tolerancia de los consumidores para cada criterio a partir del cual se clasifican los aeropuertos del país así como reducir la cantidad de comparaciones por pares mediante el uso de BWM. Se presenta un estudio real en [8].

Dado que la decisión generalmente implica evaluar diferentes criterios o atributos, el proceso de selección de proveedores es un problema de toma de decisiones de múltiples criterios (MCDM). El estudio integra la función de pérdida de Taguchi, el proceso de jerarquía analítica (AHP) y el modelo de programación de objetivos de opción múltiple (MCGP) para resolver el problema de selección de proveedores. La ventaja de este método, es que permite a los tomadores de decisiones establecer múltiples niveles de aspiración para los criterios de decisión. También se presenta un ejemplo numérico de aplicación en [9].

El estudio utiliza la función de pérdida de Taguchi para determinar la mejor condición para obtener el máximo rendimiento y la caída de paquetes y la sobrecarga de enrutamiento simultáneamente para el protocolo de enrutamiento de origen dinámico (DSR). A su vez, el estudio de los parámetros uno por uno o, por prueba y error, hasta que se encuentra un primer diseño factible parece ser un enfoque común para la optimización del diseño se muestra en el artículo [10].

II. METODOLOGÍA

Se presentan las actividades que forman parte de la planificación, evaluación y aplicación (Ver Figura 1).

Objetivo de la encuesta

El objetivo de esta investigación es determinar la función de pérdida de los parámetros: velocidad, cobertura, carga, descarga, intermitencia, visualización de gráficos y señal.

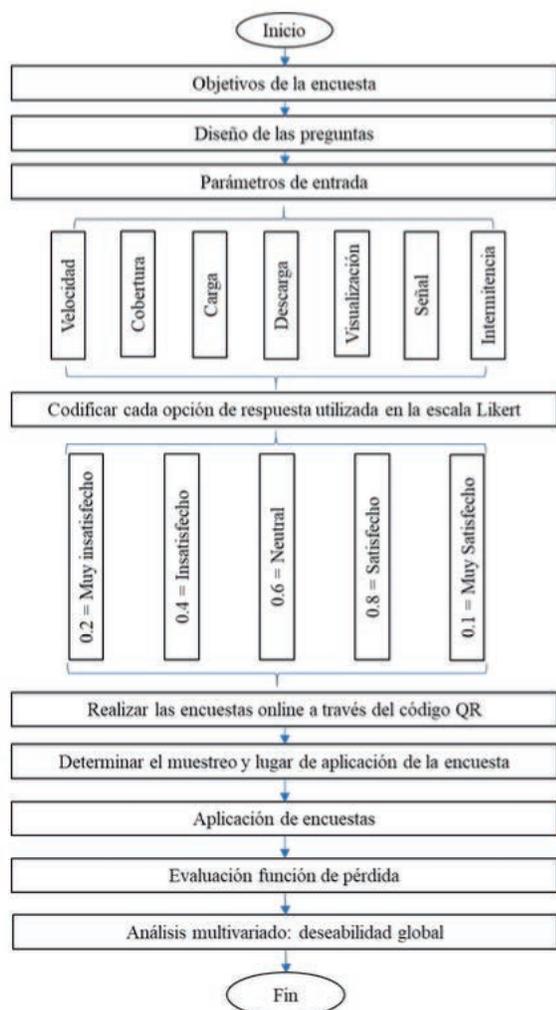


Figura 1. Metodología

Diseño de preguntas

En base a los indicadores más sobresalientes que la población identifica al conectarse a Internet a través del nodo público fue que se determinaron las siguientes preguntas (Ver ilustración 2).

Para el diseño de preguntas y evaluar la calidad del servicio a través de siete preguntas. La escala de Likert fue la utilizada. La escala de Likert contiene un número impar de opciones, se usan cinco o siete incisos y se etiqueta un extremo muy negativo y el otro muy positivo, incluyendo una etiqueta de “neutral” en medio de la escala. Esta escala es un instrumento estructurado, de recolección de datos primarios utilizado para medir variables en un nivel de medición ordinal a través de un conjunto organizado de ítems, llamados

Figura 2. Encuestas

Herramienta de aplicación

La herramienta utilizada para aplicar las encuestas fueron las formas de Microsoft. Microsoft forms, puede crear formularios, cuestionarios, encuestas y ver los resultados

fácilmente que pueden ser exportados a Microsoft Excel. Cada pregunta del formulario es una columna y cada respuesta se convierte en una fila del libro de Excel. Incluye un análisis enriquecido en tiempo real que proporciona información del resumen y resultados individuales.

Muestra de la población

El levantamiento de la encuesta se realizó aleatoriamente a 31 personas en la ubicación del nodo público. A cada una de ellas, se le invitó a que, a través de su celular, contestarán la breve encuesta escaneando el código QR (Figura 3) que lleva al enlace de dicha encuesta.

La ubicación fue el jardín de la comunidad de Valtierra donde se encuentra el nodo público que brinda acceso a internet de forma gratuita por una hora a 30 usuarios simultáneos. Valtierra es una población del estado mexicano de Guanajuato en el municipio de Salamanca, considerada la capital mundial del nopal. Valtierra aporta el 5% de la población del municipio, es mayor que 15 cabeceras municipales en el estado de Guanajuato y ocupa el lugar 34° en las localidades de dicho estado, de acuerdo con su población.



Figura 3. Código QR

Aplicación de encuestas

En la Figura 4, se pueden observar imágenes en el momento que se están realizando las encuestas, todas se realizaron el día 28 de abril de 2019 fue un día donde concurrió más población y se pudo aplicar el modelo propuesto. Se analizó la función de pérdida de cada característica y se finalizó con un análisis multivariado de deseabilidad propuesto por Harrington.

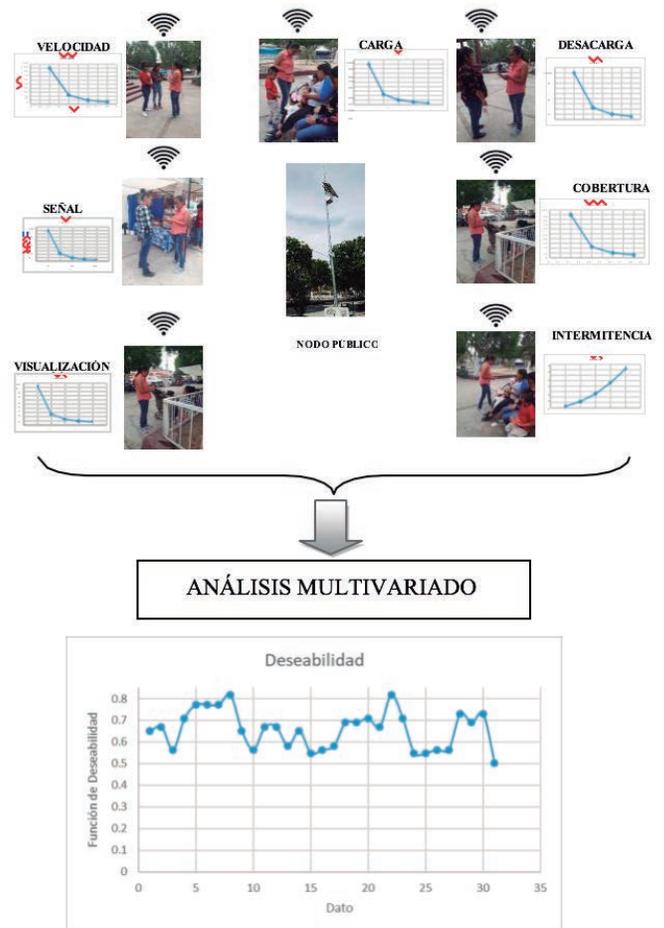


Figura 4. Modelo propuesto

III. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados se obtuvieron aplicando la función de pérdida de Taguchi a los parámetros de: velocidad, cobertura, carga, descarga, señal y la visualización de gráficos. La característica para este caso fue mayor es mejor y para el parámetro de intermitencia se utilizó menor es mejor.

Función de pérdida para las tres características de calidad

Una característica de calidad, por lo general es de uno de los siguientes tipos:

1. *Menor es mejor.* Son aquellas características en que el valor ideal del usuario es mínimo, m es igual a cero y la característica "y" no puede ser menor que la ideal. Ejemplo: desgaste, fricción, etc.

2. Mayor es mejor. Son aquellas características en que el valor ideal del usuario es mayor. Por ejemplo: duración, rendimiento, etc.

3. Nominal es mejor. Son aquellas características en que el valor ideal es un número “m” y la característica real “y” puede ser mayor o menor que el ideal. Ejemplo: diámetro, longitud, etc. [12]

Para cada una de las características cuantitativas, existe una función de pérdida. Las expresiones son:

Nominal es mejor $L(y)=k(y-m)^2$ (1)

Menor es mejor $L(y)=k*y^2$ (2)

Mayor es mejor $L(y)=K/ y^2$ (3)

Donde:

- L(y) indica la pérdida (en unidades monetarias) que sufre la sociedad.
- k es una constante específica de cada caso considerado.
- m es un valor objetivo que la dimensión de interés debe tener (m mide la calidad nominal o de diseño).
- y es el apartamiento que la dimensión de interés presenta con respecto al valor objetivo, m.

En esta investigación, nos enfocaremos en la característica mayor es mejor y menor es mejor.

$$L(y)=K/ y^2 \quad K=\Delta_0^2 A= (0.6*0.6) * (100) = 36$$

Δ = tolerancia = 0.6 siendo el valor neutro asignado en la (tabla 1).

$$A = \text{pérdida por producto} = 100$$

La especificación de la constante A es un valor propuesto por la dependencia de gobierno, la cual determinó un valor de 100 y puede ser generado para el comparativo con las diversas características de calidad evaluadas a través de los usuarios.

Los resultados arrojados del total de encuestas:

Tabla 1. Resultados totales.

	0.2	0.4	0.6	0.8	1
	Muy insatisfecho	Insatisfecho	Neutral	Satisfecho	Muy satisfecho
Velocidad	9.70%	29%	32.30%	29%	0%
Cobertura	12.90%	29%	25.80%	32.30%	0%
Carga	9.70%	25.80%	41.90%	19.40%	3.20%
Descarga	9.70%	35.50%	35.50%	19.40%	0%
Intermitencia	6.50%	41.90%	29%	19.40%	3.20%
Visualización de gráficos	6.50%	22.60%	16.10%	51.60%	3.20%
Señal	12.90%	22.60%	29%	29%	6.50%

Cada una de estas expresiones, indica la dirección de mejora para un proceso cualquiera. Mediante la función de pérdida se puede:

- Cuantificar en dinero, los efectos de una calidad no adecuada.
- Interpretar los resultados de un experimento en base económica.
- Evaluar el impacto económico que sobre el cliente tiene alguna acción de mejora.

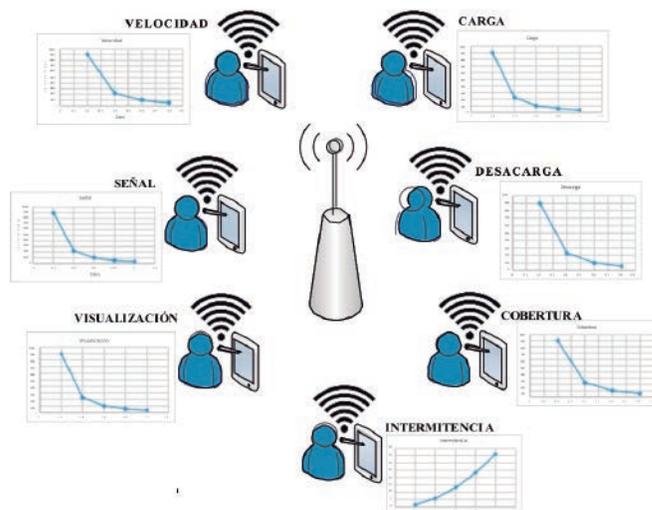


Figura 5. Enfoque propuesto

En este caso, se evalúa la función de pérdida de cada característica evaluada en las encuestas: Velocidad, cobertura, carga, descarga, señal intermitencia y visualización (Figura 5).

En la Tabla 2, se muestran los datos obtenidos de la pregunta; ¿Cómo califica usted la velocidad del Internet al utilizar varias aplicaciones?

En la Figura 6 se puede ver la gráfica con su función de pérdida correspondiente.

Tabla 2. Función de pérdida velocidad

Núm.	Respuesta	y	k	y ²	Función de pérdida $L(y)=k/y^2$
1	Muy Insatisfecho	0.2	36	0.04	900
2	Muy Insatisfecho	0.2	36	0.04	900
3	Muy Insatisfecho	0.2	36	0.04	900
4	Insatisfecho	0.4	36	0.16	225
5	Insatisfecho	0.4	36	0.16	225
6	Insatisfecho	0.4	36	0.16	225
7	Insatisfecho	0.4	36	0.16	225
8	Insatisfecho	0.4	36	0.16	225
9	Insatisfecho	0.4	36	0.16	225
10	Insatisfecho	0.4	36	0.16	225
11	Insatisfecho	0.4	36	0.16	225
12	Insatisfecho	0.4	36	0.16	225
13	Neutral	0.6	36	0.36	100
14	Neutral	0.6	36	0.36	100
15	Neutral	0.6	36	0.36	100
16	Neutral	0.6	36	0.36	100
17	Neutral	0.6	36	0.36	100
18	Neutral	0.6	36	0.36	100
19	Neutral	0.6	36	0.36	100
20	Neutral	0.6	36	0.36	100
21	Neutral	0.6	36	0.36	100
22	Neutral	0.6	36	0.36	100
23	Satisfecho	0.8	36	0.64	56.25
24	Satisfecho	0.8	36	0.64	56.25
25	Satisfecho	0.8	36	0.64	56.25
26	Satisfecho	0.8	36	0.64	56.25
27	Satisfecho	0.8	36	0.64	56.25
28	Satisfecho	0.8	36	0.64	56.25
29	Satisfecho	0.8	36	0.64	56.25
30	Satisfecho	0.8	36	0.64	56.25
31	Satisfecho	0.8	36	0.64	56.25

Las Figuras 7, 8, 9, 10, 11, muestran la fusión de pérdida de cobertura, carga, descarga, intermitencia y visualización, graficas obtenidas de las respuestas arrojadas de la encuesta, aplicando la ecuación (3) como en el caso del parámetro velocidad. Para la Figura 12, se realizó de la misma forma que en las anteriores, sólo que ahora se aplica la ecuación (2).

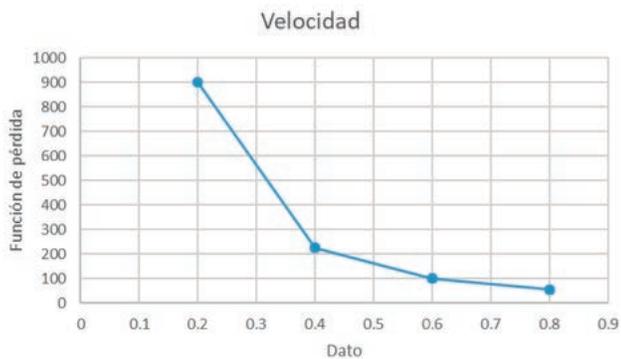


Figura 6. Función de Perdida de la característica velocidad

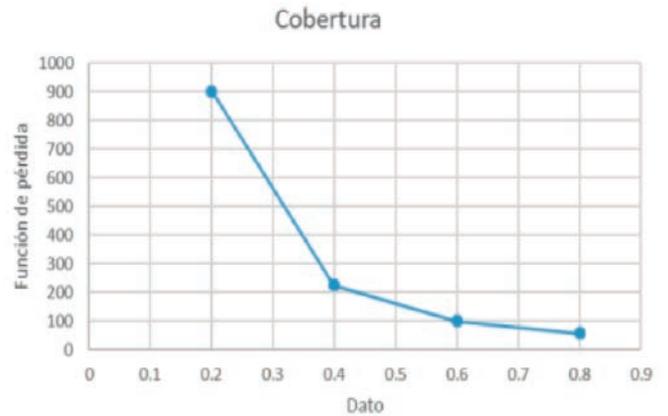


Figura 7. Cobertura

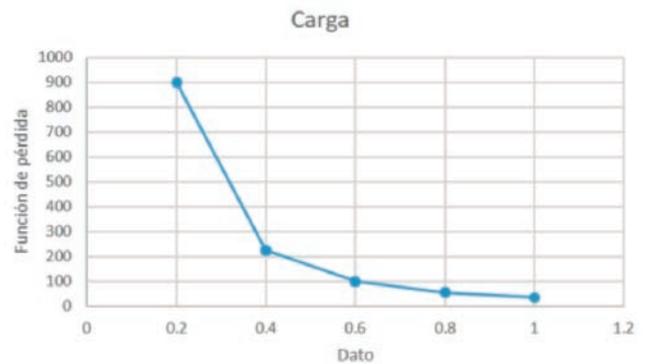


Figura 8. Carga

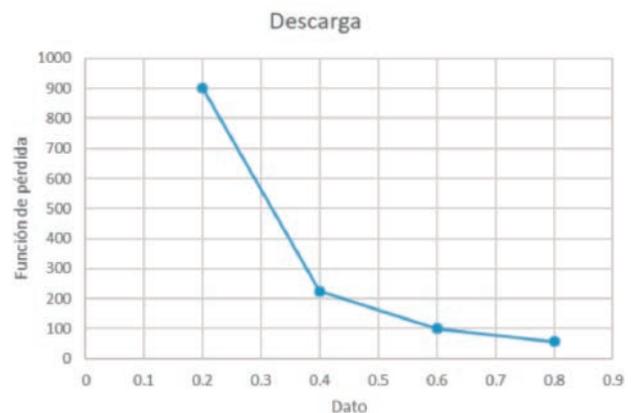


Figura 9. Descarga

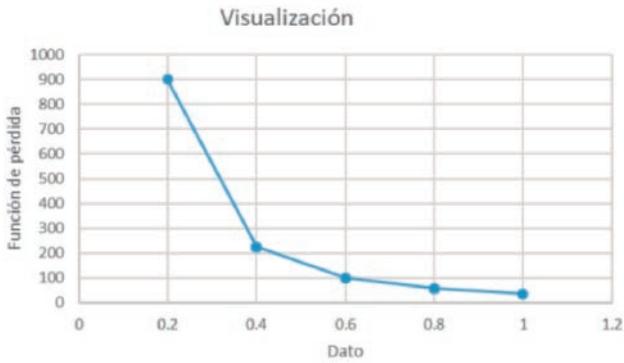


Figura 10. Visualización

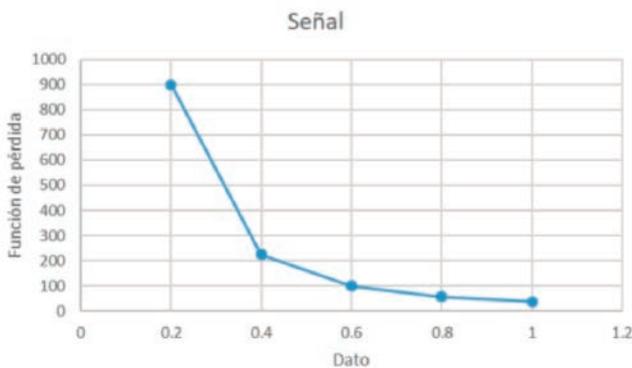


Figura 11. Señal

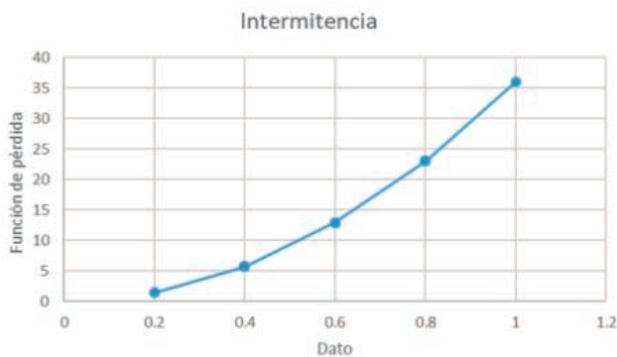


Figura 12. Intermitencia

Función de deseabilidad

Se propone un enfoque multivariado para poder analizar en un sólo conjunto de datos, la evaluación de las respuestas de los siete parámetros arrojadas por los usuarios, para ello se utilizó la función de deseabilidad para calcular su valor en forma individual y finalmente hacer un concentrado en la forma global.

Hay que tomar en cuenta que las actividades específicas llevadas a cabo en los conteos físicos, se identificaron las siguientes:

- Operaciones (conteos físicos)
- Transportes
- Toma de decisiones

Además de tener en cuenta las demoras que se pueden ocasionar entre una actividad y otra.

IV. RESULTADOS

Con los fundamentos anteriores, se llevó a cabo una investigación de campo, durante la cual se hicieron estudios de tiempos y movimientos utilizando el sistema Basic MOST. Dicho trabajo arrojó como resultado la siguiente información:

Tabla 4. Resultados obtenidos del estudio de tiempos y movimientos

Actividades	Frecuencia	Distancia (metros)	Tiempo asignado (Segundos/conteo)
Operaciones	24		356.24
Transportes	16	98.4	240.32
Demoras	4		406.64
Toma de decisiones	4		61.92
Total	48	98.4	1065.12
Tiempo estándar por conteo			17 minutos 45 segundos

Para trabajar los datos de la tabla anterior, se plantea una situación simulada en la que tenemos 10,000 artículos a contar, los cuales están clasificados de la siguiente manera:

- Clase A: 1000 artículos, 12 conteos anuales.
- Clase B: 2,000 artículos, 4 conteos anuales.
- Clase C: 7,000 artículos, 1 conteo al año.

De esto, debemos calcular el número de artículos a contar durante el año:

- Clase A: $1,000 \times 12 = 12,000$ artículos al año.
- Clase B: $2,000 \times 4 = 8,000$ artículos totales anuales.
- Clase C: $7,000 \times 1 = 7,000$ artículos totales anuales.

Tomando en cuenta que al año son 27,000 artículos a contar en el inventario, y tomando un año laboral de 240 días, se tiene que:

- Cantidad de conteos por día (Q) = $27,000/240 = 112$
- Tiempo de ciclo por conteo (X) = 1,065 segundos por conteo
- Tiempo total del proceso (P) = $1,065 \times 112 = 119,280$ segundos/día
- Tiempo total disponible (T) = 8 horas = 28,800 segundos/día

Con esta información, se dedujo el siguiente algoritmo:

$$HR = P / T \quad (1)$$

En donde *HR* es el recurso humano necesario por turno. Con la situación simulada planteada, se tiene que:

$$HR = P / T = 119,280 \text{ segundos/día} \div 28,000 \text{ segundos/día} = 4.14 = 5$$

Por lo tanto, con el procedimiento propuesto, y teniendo en cuenta la información anterior, en esta situación simulada son necesario 5 operarios para llevar a cabo el registro de inventarios, tomando en cuenta que se sigue el sistema de conteo cíclico para llevar a cabo los conteos físicos.

La ecuación (1) fue propuesta para aplicarse en diez empresas, específicamente en combinación por ingeniería y logística en sus almacenes, de las aproximadamente trescientas diez que se encuentran en la localidad, esperando resultados satisfactorios.

V. CONCLUSIONES

Con todo lo presentado en este artículo, se logró encontrar un procedimiento básico que satisface la necesidad de determinar de manera óptima la cantidad del recurso humano necesario para poder registrar los inventarios en un centro de

distribución. A este procedimiento, se debe incluir las tolerancias, suplementos y holguras que se demanden al momento de efectuar las tareas relacionadas con los inventarios.

La obtención de la información en este proyecto fue en el sector de manufactura de Ciudad Juárez, aunque el uso del algoritmo podría validarse para centros de distribución de otro tipo de industria, como la de servicios (centros de distribución de supermercados y tiendas de conveniencia).

Además, este algoritmo se propuso utilizando el sistema BasicMOST, aunque para tener mayor exactitud, se podría utilizar el sistema MaxiMOST, pues las actividades llevadas a cabo en un centro de distribución para el conteo físico entran en el rango de MaxiMOST más que BasicMOST.

Es por ello que se desarrollará un estudio utilizando MaxiMOST, para verificar, y en su caso, mejorar la precisión del algoritmo propuesto en este documento.

REFERENCIAS

- [1] Arnold, J. R., Chapman, S. (2004). Introduction to materials management, Upper Saddle River, Prentice Hall.
- [2] Gray, A. (2014). Inventory an effective tool for saving money and planning. Westchester County Business Journal, 50 (16), 10.
- [3] Djedovic, A., Karabegovic, A., et al (2018). Innovative approach in modeling business processes with a focus on improving the allocation of huma resources. Mathematical problems in engineering, 1-14.
- [4] Ganesh, K., Punnymoorthy, M., et al (2015). Resource allocation problems in supply chains. UK. Emerald group.
- [5] Pittman, P., Atwater, B: (2016). APICS Dictionary. Estados Unidos: APICS.
- [6] Young, J. (2010). Cycle count and physical inventory design and execution

- [7] Heizer, J., Render, B. (2009). Operations management. Upper Saddle River, Prentice Hall.
- [8] Rubinger, J. (2015). Counting techniques to improve accuracy in the warehouse. *Material handling & logistics*, 70 (8), 24-26.
- [9] Bohorquez, J., Porras, H., et al (2018). Planificación de recursos humanos a partir de la simulación del proceso constructivo en modelos BIM 5D. *Revista Entramado*, 14 (1), 252-267.
- [10] Suppavitnarm, N., Pongpirul, K. (2018). Model for allocation of medical specialists in a hospital network. *Journal of healthcare leadership*, 10, 45-53.
- [11] Barquero, A. (2005). Administración de recursos humanos. Costa Rica, Ed, Universidad estatal a distancia.
- [12] Mullins, M. (2018). Put pen and paper in the past, improve process. *Plant engineering*, 72 (4), 47-50.
- [13] Salvendy, G. (2012). Handbook of human factors. New Jersey. John Wiley & Sons, Inc.
- [14] Celkevicius, R., Russo, R. (2018). An integrated model for allocation and leveling of human resources in IT projects. *International journal of managing projects in business*, 11, (2), 234-256.
- [15] Arias, M., Saavedra, R., et al (2018). Human resource allocation in business process management and process minig. *Management decision*, 56 (2), 376-405.
- [16] Chien, T., Lin, Y., Tien, K. (2013). Agent-based negotiation mechanism for multi-project human resource allocation. *Journal of industrial & production engineering*, 30 (8), 518-527.
- [17] Brusco, M. (2015). Discrete optimization: A bicriterion algorithm for the allocation of cross-trained workers based on operational and human resource objectives. *European Journal of Operational Research*, 247 (1), 46-59.
- [18] Inoue, J., Chen, H. (2014). Statistical mechanics of human resource allocation: A mathematical modeling of job-matching in labor markets. Recuperado de: <http://arxiv.org/abs/1403.7370>.
- [19] Aviso, K., Mayol, A., Promentilla, M., et. al. (2018). Allocating human resources in organizations operating under crisis conditions: A fuzzy input-output optimization modeling framework. *Resources, Conservation & Recycling*, 128, 250-258.
- [20] Wu, J., Jiang, Y., Zhu, J. (Agosto de 2016). Human resource allocation combined with team formation. *International Conference on Computational Intelligence and Applications (ICCIA)*.
- [21] Bouajaja, S., Dridi, N. (2017). A survey on human resource allocation problems and its applications. *Operational Research*, 17 (2), 339-370.
- [22] Jieh-Haur, C., Shang-I, L., Tih-Ju, C. (2013). Human resource allocation model in pavement engineering. *International Journal of Pavement Research & Technology*, 6 (5), 643-650.

Determinación del número y capacidad óptimos de carros materialistas para una celda de manufactura utilizando algoritmos genéticos de múltiples objetivos

Denise Barzaga Castellanos
Corporación Mexicana de Investigación en Materiales
S.A. de C.V., COMIMSA Saltillo, México
denise.barzaga@alumnos-comimsa.mx

Eliás Gabriel Carrum Siller
Corporación Mexicana de Investigación en Materiales
S.A. de C.V., COMIMSA Saltillo, México
eliascarrum@comimsa.com

Carlos Alberto Ochoa Ortiz
Doctorado en Tecnología (PNPC) Universidad Autónoma de
Ciudad Juárez, UACJ Ciudad Juárez, México
alberto.ochoa@uacj.mx

Resumen— Actualmente la industria automotriz a nivel internacional requiere el empleo de técnicas novedosas para mejorar el desempeño de sus procesos debido al crecimiento de la demanda de este sector y el aumento de las especificaciones requeridas por los clientes. De ahí la necesidad de considerar la importancia de los procesos logísticos y de realizar acciones de mejora sobre ellos para aumentar la productividad de las organizaciones.

El presente es llevado a cabo en una línea de ensamble de asientos para la industria automotriz, en donde se producen cuatro tipos de versiones diferentes y donde la configuración de las diversas máquinas es flexible, es decir, algunas pueden fabricar partes de las cuatro versiones. Cada máquina tiene tiempos de ciclo variantes entre ellas, dependiendo del producto que procesen o la versión de asiento, haciendo de esto un sistema de producción complejo, donde para realizar el producto final se sigue una metodología de flowshop. El abasto de piezas en las diversas estaciones, se realiza mediante resbaladillas de material en tipo FIFO (primeras entradas, primeras salidas) o bien mediante carros materialistas. Actualmente se tienen en el proceso tiempos de espera y de bloqueo en las máquinas provocados por el traslado de materiales, siendo el principal objetivo de este artículo encontrar la cantidad necesaria de vehículos para trasladar el material en proceso, así como su capacidad para disminuir estos tiempos.

Para ello se desarrolla un modelo de simulación que representa las principales características del proceso y se realiza su optimización mediante el uso de algoritmos genéticos. Como principales resultados se obtiene la representación del proceso estudiado mediante un modelo de simulación el cual, luego de ser optimizado, permite conocer las cantidades y capacidades óptimas de los carros materialistas a utilizar en el proceso para disminuir los tiempos de espera y bloqueo de las máquinas.

Palabras Clave — Logística, simulación de procesos, optimización, algoritmos genéticos

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional actualmente México puede considerarse como importante representante de la industria automotriz [1], de ahí la importancia de realizar acciones de mejora en sus procesos para elevar la eficiencia de los servicios prestados [2] [3].

Sobre ello, influye un correcto diseño y la administración de la cadena de suministro, donde la toma de decisiones cobra un valor significativo, específicamente las relacionadas con la estrategia, el diseño, la planeación y la operación del transporte [4] ya que dentro de las actividades logísticas, las que están relacionadas con el transporte, impactan directamente sobre el costo total del producto [5].

Recientemente, para resolver problemas similares dentro de este sector, se han utilizado técnicas pertenecientes a la manufactura esbelta como la simulación [6] [7] [8] [9]. Esta herramienta realiza la representación de la realidad en un modelo sobre el cual se pueden realizar modificaciones y analizar los cambios que puedan ocurrir en el proceso. Ello posibilita un ahorro considerable en tiempos y costos a la hora de probar una determinada mejora y evaluar su factibilidad [10] [11]. Investigaciones como las realizadas por Siderska [12] y Carrum, Pérez y Robles [13] avalan la obtención de buenos resultados utilizando esta técnica.

Siderska [12] utiliza el software *Tecnomatix Plant Simulation* de SIEMENS, para poder simular el comportamiento de los procesos logísticos y productivos a fin de identificar los cuellos de botella del proceso productivo y aumentar el procesamiento de la planta.

En su investigación, se obtienen resultados satisfactorios y se alcanza un incremento de la producción significativo, por lo que considera el uso de este software como una herramienta efectiva para aumentar la eficiencia de los procesos, optimizar el consumo de recursos, limitar las existencias, así como minimizar los tiempos de producción.

Utilizando el software mencionado anteriormente, Carrum, Pérez y Robles [13] realizan un modelo de simulación que representa un proceso llevado a cabo en una celda de manufactura, la cual pertenece a la industria automotriz. El objetivo de su trabajo es encontrar las cantidades de vehículos y contenedores que se deben utilizar para el traslado de materiales entre las estaciones de trabajo que conforman el proceso.

En el presente trabajo, continúa con el estudio realizado por Barzaga, Carrum y Ochoa [14] y Barzaga y Carrum [15] y se aborda un problema relacionado con la presencia de tiempos de espera y bloqueo en las máquinas que forman parte de una celda de manufactura perteneciente al sector automotriz, donde no se conoce cuáles son las cantidades y capacidades de los vehículos a utilizar para realizar el traslado de materiales dentro del proceso.

Barzaga, Carrum y Ochoa [14], utilizan un modelo de simulación combinado con VSM determinando que no es posible utilizar esta vía para solucionar el problema tratado, no siendo así al emplear un modelo de simulación con el que se logran representar las principales características del proceso estudiado. Otro enfoque para resolver el problema es el abordado por Barzaga y Carrum [15] quienes acuden a la realización y optimización de un modelo heurístico. Para ello emplean el algoritmo de saltas combinado (SFLA).

Específicamente en este caso, se pretende representar la situación bajo análisis utilizando un modelo de simulación que pueda ser utilizado como función de evaluación de un algoritmo genético, herramienta ampliamente utilizada para la optimización de procesos [16] [17] [18].

Un enfoque como este es el adoptado por Robles [19] al realizar un modelo de simulación empleando el software *Tecnomatix Plant Simulation* y, posteriormente, utilizar el módulo de algoritmos genéticos que se encuentra integrado al software. Con este método se logra reducir el tiempo de procesamiento en un proceso perteneciente a la

industria textil al optimizar la secuencia de operaciones.

A continuación, se realiza la descripción a detalle del problema estudiado, la representación del modelo de simulación realizado y los resultados obtenidos a partir de la experimentación llevada a cabo.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se analiza en este trabajo un proceso de fabricación de asientos para la industria automotriz que se lleva a cabo en una empresa en la que se producen variados tipos de asientos, contando la misma con varias líneas de producción.

Específicamente en este estudio se analizará una de las líneas de ensamblaje en la cual se procesan cuatro modelos de asientos: conductor eléctrico (modelo 1), pasajero eléctrico (modelo 2), conductor manual (modelo 3) y pasajero manual (modelo 4).

Se trabaja en la planta en tres turnos de trabajo conformados como sigue: dos turnos de lunes a sábado y comprendidos en los horarios de 06:00 a 14:00 y de 14:00 a 22:00; y el tercero de lunes a viernes y de 22:00 a 06:00. Se tienen en cada turno tres pausas (dos de 15 minutos al inicio y fin del turno y una pausa intermedia de 30 minutos). Intervienen en el proceso 35 máquinas, las cuales tienen distintos tiempos de ciclo y se pueden procesarse en ellas piezas para los distintos modelos de asientos ensamblados.

En algunas máquinas el procesamiento de piezas para determinados modelos se realiza según el horario del día siendo ésta información conocida y no una variable. Además, se realizan ensambles y desensambles de piezas en determinadas estaciones de trabajo. Para realizar el traslado de materiales se utilizan resbaladillas y carros materialistas, siendo éstos últimos empujados por operadores.

En la Figura 1, se muestra una representación del diagrama en red del proceso estudiado donde se muestran las máquinas que lo conforman, los

tiempos de ciclo, el área del supermercado (representado con la abreviatura “SM”) y el flujo de materiales que ocurre dentro del proceso, señalándose las rutas de los carros materialistas.

En dichas rutas, se tienen actualmente tiempos de espera y bloqueo de las máquinas provocados por el traslado de materiales. Esto debido a que se desconocen las cantidades y capacidades óptimas de los carros materialistas para la carga y descarga de material en proceso, siendo éste el problema de investigación.

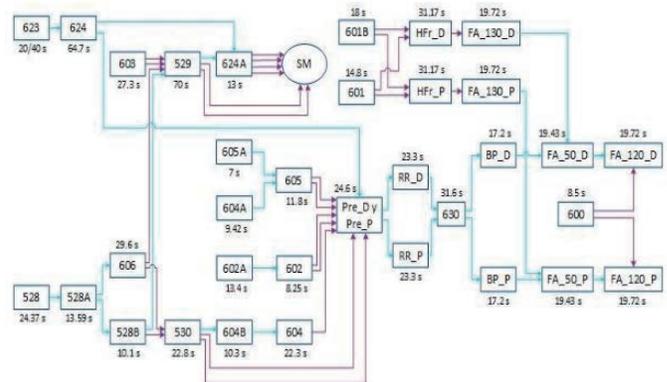


Figura 1. Representación en red del proceso analizado y rutas de los carros materialistas
Fuente: Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

En la Figura 2, se muestra la metodología a seguir en la investigación.

Primeramente, se realiza un estudio sobre la instalación donde se lleva a cabo el estudio, así como del proceso analizado realizando la recolección de todos los datos necesarios con el objetivo de lograr la comprensión de la situación bajo análisis. Con los datos obtenidos en el paso anterior, se realiza el modelo de simulación utilizando el software mencionado anteriormente. Una vez realizado el modelo y representado los aspectos fundamentales del proceso, se valida el modelo contra el proceso real considerando que si no resulta válido se deben realizar los ajustes necesarios para corregir las dificultades presentadas y en caso contrario, se realiza la

optimización del modelo. Para ello, se incorpora al modelo realizado la herramienta de optimización del software de simulación, posibilitando realizar la optimización del proceso mediante el empleo de algoritmos genéticos.

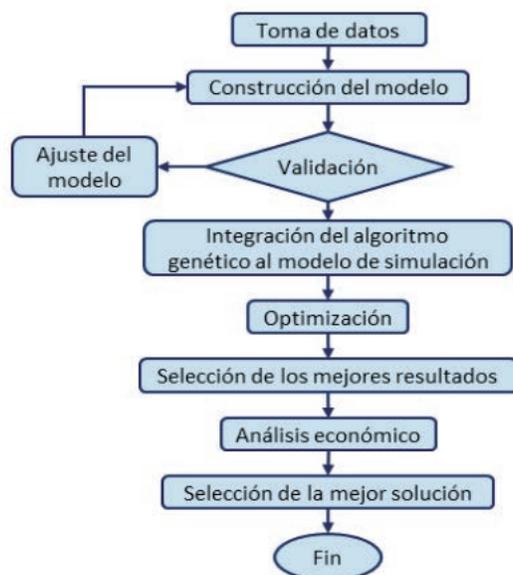


Figura 2. Modelo de simulación realizado
Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se configuran los parámetros a variar durante la experimentación y se realizan diversas corridas variando los valores de los parámetros establecidos a fin de encontrar mejores soluciones.

Posteriormente se analizan los datos obtenidos a partir de las diferentes corridas de la optimización y se seleccionan los mejores resultados en cuanto a dos factores: mayor cantidad de producción y menor cantidad de carros materialistas. A partir de los mejores resultados obtenidos, se realiza un análisis económico que posibilita la toma de decisiones por parte de la empresa ante las posibles alternativas a seleccionar para su implementación.

IV. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

A. Construcción y validación del modelo de simulación
Para la realización del modelo se recopilan los datos necesarios del proceso en cuestión, siendo éstos la cantidad de estaciones de trabajo, detalles de su

funcionamiento, la cantidad de componentes que intervienen y el diagrama en red del proceso.

Teniendo en cuenta que el vehículo con el material es empujado por un operador, se asume que la velocidad del carro es igual a la velocidad promedio de los operadores materialistas de la empresa, siendo ésta equivalente a 0.69 metros por segundo.

El modelo de simulación es realizado utilizando el software de *Siemens Tecnomatix Plant Simulation* en su versión 14.1, mostrándose en el Anexo 1. Los principales elementos utilizados para la confección del modelo de simulación, siendo éstos los datos de las máquinas que intervienen en el proceso, las rutas de traslado de materiales, y los modelos de asientos para los cuales se procesan piezas así como cuántos tipos de piezas entran y salen de cada máquina.

En las rutas en que el traslado de materiales se realiza por resbaladillas, no se considera su capacidad puesto que poseen una capacidad de 1000 a 2000 piezas aproximadamente cada una, por lo que no son significativas para este trabajo.

Por otro lado, cuando se utilizan carros materialistas para el traslado de materiales, se muestra a qué ruta pertenecen (1 ó 2), la cantidad de vehículos que se tienen, así como su capacidad, siendo que actualmente se tienen en el proceso un total de 162 carros. En la Figura 3 se muestra el modelo de simulación realizado.

Para la validación del modelo se realiza una comparación entre el modelo de simulación y la realidad con el objetivo de comprobar que realmente sea una representación fiel del proceso real y que carezca de incoherencias. Como resultado se obtiene que el modelo puede ser considerado válido puesto que representa la realidad actual del proceso, siendo que el mismo se encuentra en arranque.

Al analizar los tiempos de espera y bloqueo de cada máquina obtenidos a partir del modelo de

simulación, se aprecian tiempos de espera que no están relacionados con el traslado de materiales, estando causados por otras características del proceso que no serán analizadas en este estudio como los cuellos de botella provocados por tiempos de ciclo de las máquinas y el procesamiento de varias piezas en la misma máquina.

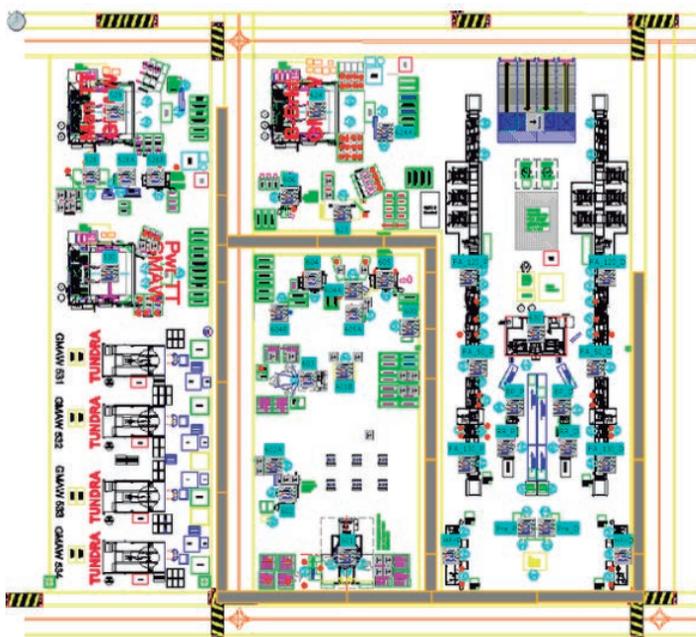


Figura 3. Modelo de simulación realizado
Fuente: Elaboración propia

Por ejemplo, el tiempo de ciclo de la máquina 528 es de 24.37 segundos y el de la máquina siguiente (528A) es de 13.59 segundos, lo cual indica que la segunda máquina tendrá que esperar una significativa porción del tiempo de trabajo para que lleguen las piezas a ella y pueda procesarlas. Similar situación se tiene en las siguientes máquinas:

- **528B:** Tiene un tiempo de ciclo de 10.1 segundos y se genera espera por el tiempo de ciclo de la máquina precedente (528A) que es de 13.59 segundos.
- **602:** El tiempo de ciclo de esta máquina es de 8.25 segundos y se ve afectada por el tiempo de ciclo de la máquina precedente (602A) que es de 13.4 segundos.
- **604B:** Su tiempo de ciclo es de 10.3 segundos y se afecta por el tiempo de ciclo de la máquina precedente (530) que es de 22.8 segundos.

- **624A:** Esta máquina tiene un tiempo de ciclo de 13 segundos e inciden el tiempo de ciclo de las máquinas precedentes (624 y 529) siendo éstos de 64.7 y 70 segundos respectivamente.

Otro factor que incide en la generación de tiempos de espera es que en algunas máquinas se procesan varios tipos de piezas que son enviadas a diferentes máquinas. Lo anterior sucede por ejemplo en la máquina 528B, ya que en la 528A se procesan otras piezas que son enviadas a la máquina 606. Además, se tiene esa situación en las máquinas que se mencionan a continuación:

- **606:** La máquina precedente (528A), como ya se mencionó, produce piezas además para enviar a la máquina 528B.
- **604B:** La máquina anterior (530), además produce piezas que son enviadas a las estaciones Pre_D y Pre_P.
- **624A:** La máquina que le precede (529) procesa además piezas que son llevadas al área de supermercado.

En el caso de las estaciones de trabajo HFr_D y HFr_P se tienen elevados tiempos de espera debido a varias causas. En cada una de estas máquinas se realizan ensambles utilizando piezas de las máquinas precedentes (601B y 601) por lo que el bloqueo de la máquina 601B se traduce en espera para HFr_D y HFr_P.

Además, el funcionamiento de la máquina 601 se rige por un horario que establece qué tipos de piezas se procesan en cada momento del día: modelos 1 y 3 (versión de asiento conductor) que son enviados a HFr_D o modelos 2 y 4 (versión de asiento pasajero) que se procesan en HFr_P. Ello indica que mientras se esté procesando en la máquina 601 los modelos de la versión conductor, la máquina HFr_P estará en espera; y cuando se procesen los modelos de la versión pasajero, el tiempo de espera ocurrirá en HFr_D. La diferencia entre los tiempos de espera de ambas estaciones de trabajo radica en que en la máquina 601 la mayor parte del día se está procesando piezas para la versión de asiento conductor por lo que la espera en HFr_P es mayor.

Además, se originan tiempos de espera y bloqueo por la reacción en cadena que ocurre al ser un proceso en el que las piezas son procesadas secuencialmente en las estaciones de trabajo que intervienen. Por ejemplo, la espera generada en la máquina 528A se traduce en espera para la máquina siguiente (528B) la cual tiene que esperar por material mientras éste está siendo procesado en la máquina anterior. Ello trae consigo tiempos de espera, elevados en las estaciones finales puesto que en ellas se realizan ensambles de varias piezas y se tiene que esperar a tener todas las partes necesarias para comenzar a trabajar generándose entonces tiempos de espera.

Otro aspecto importante que se debe señalar es que se está analizando un sistema en arranque donde no existe inventario en las máquinas, por lo que éstas, tienen que esperar por las piezas que se comienzan a procesar en las máquinas precedentes para comenzar a trabajar, ocurriendo así tiempos de espera.

B. Integración del algoritmo genético al modelo de simulación

Para la optimización de los modelos se utiliza la herramienta GAWizard del software Tecnomatix Plant Simulation el cual incorpora los algoritmos genéticos al modelo de simulación.

Los algoritmos genéticos, toman como base los principios de la genética y la selección natural en donde sólo sobrevive el mejor individuo. Se utilizan códigos genéticos para cada individuo o cromosoma y se mide la capacidad de sobrevivir de cada individuo a través de la función objetivo del problema que se analice [16] [20]. La Figura 4 muestra el pseudocódigo que describe el funcionamiento de esta técnica.

Para la ejecución del ciclo evolutivo intervienen determinadas reglas de selección, cruce y mutación que pueden ser configuradas mediante el uso del objeto GAOptimization de la librería del software Tecnomatix Plant Simulation. Este objeto se encuentra solo disponible para la licencia profesional del software utilizado, y en el caso de la presente investigación se tiene acceso solamente a una licencia educacional que no permite el uso de este objeto, por lo que no pueden ser modificadas estas reglas.

Lo anterior, conduce a que sea solo posible configurar las observaciones por individuo (OI), la cantidad de generaciones (CG) y el tamaño de las mismas (TG). En el presente trabajo, se están realizando simulaciones determinísticas donde no es necesario realizar más de una observación por individuo, debido a lo cual este parámetro se configura en uno para todos los experimentos.

El parámetro tamaño de la generación, representa la cantidad de individuos que serán creados y evaluados en la primera generación o fase de inicialización. Como parte del ciclo de evolución, se crean y evalúan en las siguientes generaciones el doble de estos individuos.

Lo anterior indica, suponiendo que se tiene una optimización donde se utilizan como parámetros cinco generaciones y un tamaño de generación de tres, que se evaluarían en la primera generación cinco individuos y en cada una de las restantes se evaluarían seis individuos, lo que se traduce en un total de 27 individuos como se muestra en la Figura 5.

$$CS = OI \cdot (TG + 2 \cdot TG \cdot (CG - 1)) \quad (1)$$

Ecuación (1) muestra cómo el software determina la cantidad de corridas de simulación (CS) para realizar la optimización.

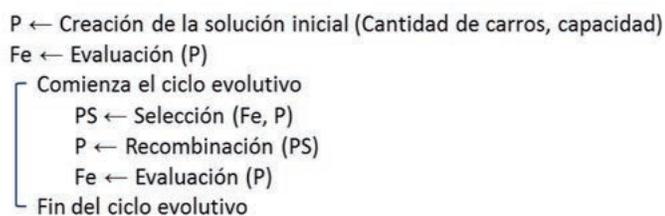


Figura 3. Pseudocódigo del algoritmo genético utilizado para la optimización
Fuente: Elaboración propia

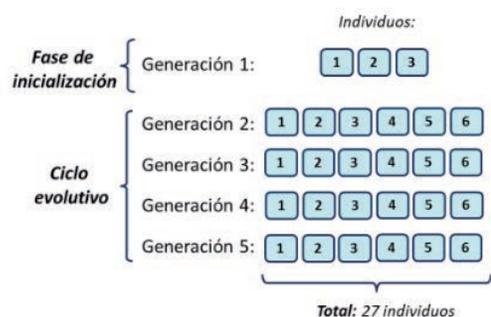


Figura 5. Ejemplo de creación de individuos en el algoritmo genético utilizado para la optimización
 Fuente: Elaboración propia

Las Figuras 7, 8, 9, 10, 11, muestran la fusión de pérdida de cobertura, carga, descarga, intermitencia y visualización, así como las graficas obtenidas de las respuestas arrojadas de la encuesta, aplicando la ecuación (3), como en el caso del parámetro velocidad. Para la Figura12, de la misma forma que las anteriores sólo que se aplica la ecuación (2).

C. Optimización y selección de los mejores resultados

Para los experimentos realizados se utilizaron los parámetros que se muestran en la Tabla 1 y se estableció como objetivo minimizar el total de tiempo de espera y bloqueo de cada una de las máquinas, así como la cantidad total de carros materialistas utilizados. Por lo tanto, el problema corresponde a una optimización multi-objetivo en el que cada una de las funciones tiene un efecto sobre las otras.

Tabla 1. Parámetros utilizados para la experimentación

	Límite inferior	Límite Superior	Incremento
Cantidad de carros	2	30	1
Capacidad	1	200	1

Los parámetros anteriores, indican que para determinar las soluciones se tiene dentro de cada ruta un total de 6,000 posibles combinaciones ya que se pueden utilizar hasta 30 vehículos que pueden tener una capacidad de hasta 200 piezas. Luego, en las 26 rutas se tendría un caso de permutación con repetición por lo que se tendría un total de $6,000^{26} = 1.70582E+98$ posibilidades para encontrar una solución.

Se analiza entonces un problema de optimización en el que se tiene una gran cantidad de soluciones en un espacio de búsqueda multi-objetivo, siendo necesario trabajar en frentes de Pareto y aumentando ello la complejidad del problema tratado en la investigación.

Los experimentos se realizaron en una computadora con sistema operativo Windows, Intel(R) Core(TM) i7-4770S CPU @ 3.10GHz 3.10GHz y 8.00 GB de memoria RAM.

Como parte del proceso de optimización se realizan los experimentos variando dentro del optimizador la cantidad de generaciones y el tamaño de las mismas, observándose el comportamiento de las gráficas de convergencia y la variedad genética de los hijos creados en el proceso evolutivo. Luego de varios experimentos realizados se aprecia la variedad entre las soluciones obtenidas, no coincidiendo ninguna de ellas. Ello, sumado a las características complejas del proceso en el que un cambio en cuanto a cantidad de vehículos o su capacidad dentro de una ruta determinada tiene repercusión en el resto del proceso, indica que no es posible asegurar que se puede alcanzar un resultado óptimo para este tipo de modelos.

En el Anexo 2, se muestra el resumen de los resultados obtenidos en cada uno de los experimentos realizados.

Analizando los resultados se aprecia que al correr los experimentos dos y tres, que tienen la misma configuración en cuanto a cantidad y tamaño de las generaciones, se detecta que los individuos que crea el algoritmo genético dentro de distintas simulaciones son idénticos, por lo que no existe aleatoriedad entre diferentes corridas, conduciendo ello a que se obtengan los mismos resultados al realizar varios experimentos con igual configuración.

La mayor producción de asientos al final del día se alcanzó en los experimentos 11; 12; 13 y 19 siendo ésta de 804 asientos, donde el experimento 12 es el de menor cantidad de carros materialistas. Por otra parte, el experimento con menor cantidad de vehículos utilizados para el transporte de material

(308) es el número 17, en el que se alcanza una producción final de 791 asientos, valor cercano a la producción máxima alcanzada que se mencionó anteriormente.

Por lo anterior, se considera que los mejores resultados son los obtenidos por los experimentos 12 y 17. En las Figuras 6 y 7, se muestran las gráficas de convergencia de estos experimentos. En ellas se refleja el comportamiento del valor fitness para cada generación, el cual refleja en este caso, los valores de cantidad de carros materialistas y de los tiempos de espera y bloqueo obtenidos en cada generación.

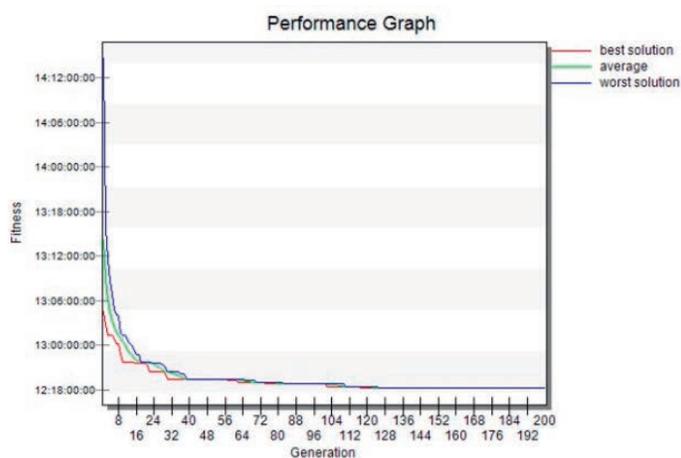


Figura 6. Gráfica de convergencia obtenida en el experimento 12
Fuente: Elaboración propia

La convergencia mostrada en la Figura 6 se considera como satisfactoria debido a que se aprecia una convergencia escalonada en las primeras generaciones obteniéndose el valor óptimo en la generación 126.

Se alcanza una reducción del valor fitness de un 16% aproximadamente desde las primeras generaciones hasta la generación donde se alcanza el óptimo.

En la Figura 7 se observa una buena convergencia, pero se refleja la posibilidad de encontrar mejores resultados al aumentar el número de generaciones debido a que entre una mejora de solución y otra pasan alrededor de 40 generaciones y el valor óptimo es alcanzado en la generación 160. Este experimento se realiza

configurando 200 generaciones y 200 como tamaño de individuos, lo cual conduce a una elevada cantidad de corridas (con un total de 79,800) considerando la gran cantidad de posibles soluciones. Ello hace que se eleve el tiempo computacional en el que se logra obtener las respuestas del algoritmo, por lo que se decide no realizar este experimento aumentando la cantidad de generaciones para esta investigación.

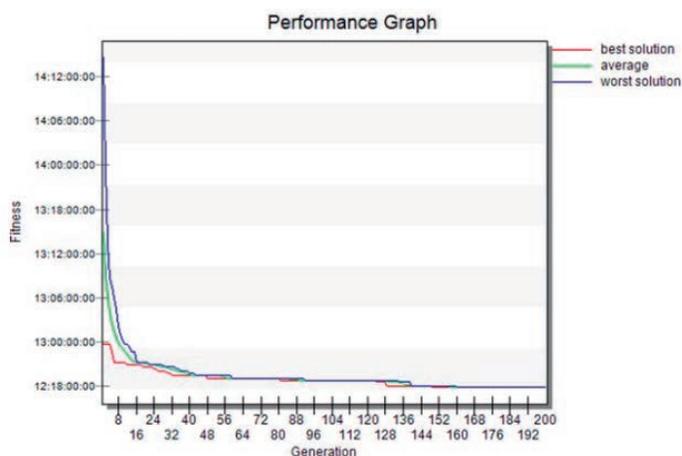


Figura 7. Gráfica de convergencia obtenida en el experimento 17
Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 3 se muestran la cantidad de carros materialistas a utilizar en cada ruta, así como su capacidad obtenidas en ambos experimentos, mientras que en el Anexo 4 se muestran los tiempos de espera y bloqueo obtenidos, donde se aprecia la reducción de aquellos relacionados directamente con los vehículos utilizados para el transporte de material.

D. Análisis económico y selección de la mejor solución

Analizando los resultados obtenidos en la optimización del modelo del proceso en arranque, se aprecia que en el caso del experimento 12, en los recorridos 13, 14 y 15 se utilizan un total de 49 vehículos para mover en cada traslado una, dos y tres piezas respectivamente; mientras que para el caso del experimento 17, en el recorrido seis se utilizan 19 vehículos solamente para trasladar dos piezas. Considerando las dimensiones y el peso de las piezas, se propone realizar estos recorridos utilizando contenedores que puedan ser cargados

por el operador materialista para reducir los costos por concepto de adquisición de carros materialistas en \$7,227,500.00 para el experimento 12 y en \$2,802,500.00 para el experimento 17 como se muestra en la Tabla 2. Para ello se considera un costo de contenedores de \$ 2,500.00.

Tabla 2. Ahorros de costos al sustituir BINES por carros materialistas

	<i>Experimento 12</i>	<i>Experimento 17</i>
Recorridos donde se puede utilizar contenedores	49	19
Costo de utilizar carros materialistas	\$7,350,000.00	\$2,850,000.00
Costo de utilizar contenedores	\$122,500.00	\$47,500.00
Ahorro	\$7,227,500.00	\$2,802,500.00

En la Tabla 3, se muestran los datos utilizados para realizar un sencillo análisis económico a fin de facilitar la toma de decisión entre ambas variantes. Para ello se consideró el aumento de carros materialistas con respecto a la situación actual (135 en el caso del experimento 12 y 127 para el experimento 17), así como el costo que tendría para la empresa para la adquisición de cada uno de ellos, que como se mencionó anteriormente, es de \$150,000.00. Ello implica que la empresa tendría que invertir para las variantes propuestas en los experimentos 12 y 17, un total de \$20, 372,500.00 y \$19, 097,500.00 respectivamente.

Con respecto a la cantidad de asientos producidos al final del día, se consideró su aumento en ambas variantes: 137 para el experimento 12 y 124 para el experimento 17. Suponiendo una utilidad de \$400.00 por cada asiento y 357 días laborables al año, se determina la ganancia anual de la entidad al variar únicamente la cantidad de carros materialistas a utilizar y su capacidad, siendo de \$19,563,600.00 para el experimento 12 y \$707,200.00 para el experimento 17. Cabe señalar que se asume el valor de la utilidad puesto que, por motivos de confidencialidad, no es posible hacer pública la información real de la empresa.

Al realizar una proyección en un período de cinco años y suponiendo una tasa de descuento igual a la inflación y equivalente a 4% (tasa de inflación de México según el Banco de México a la fecha), se

obtienen la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) para cada uno de los experimentos.

Tabla 3. Datos utilizados para el análisis económico

	<i>Experimento 12</i>	<i>Experimento 17</i>
Incremento de carros materialistas	135	127
Cantidad de contenedores	49	19
Incremento de producción final en un día	137	124
Incremento de producción final en un año	48,909	44,268
Inversión inicial	\$ 20,372,500.00	\$ 19,097,500.00
Ganancias anuales	\$ 19,563,600.00	\$ 17,707,200.00
TIR	92%	89%
VAN	\$ 64,154,972.46	\$ 57,434,431.13

V. CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo se obtiene un modelo de simulación que logra reflejar el proceso analizado en fase de arranque considerando sus principales características, en el cual es posible representar la disponibilidad de los vehículos para el traslado de materiales en cada ruta, así como los tiempos de espera y bloqueo que ocurren en el proceso.

Se debe analizar la situación en un sistema estable en el que se tenga inventario en las máquinas al inicio del proceso de producción para disminuir los tiempos de espera.

Debido a que el problema corresponde a una optimización multi-objetivo, el software se ve en la necesidad de trabajar en frentes de Pareto, por lo cual no se garantiza una respuesta óptima para ninguna de las tres funciones a evaluar.

En cuanto a la herramienta de optimización utilizada se aprecia que no existe aleatoriedad en la creación de individuos entre diferentes corridas de simulación, siendo esta una limitante para la obtención de mejores resultados. Además, no es posible configurar operadores genéticos como selección, cruce y mutación dentro del algoritmo genético para aumentar la variabilidad de las soluciones alcanzadas debido a limitaciones

relacionadas con la licencia del software utilizado. Se logra una reducción de los tiempos de espera y bloqueo, así como incrementar la producción diaria al modificar la cantidad de carros materialistas en cada ruta y su capacidad.

Analizando los resultados obtenidos, se le entregan a la empresa las variantes obtenidas en los experimentos 12 y 17, quedando a su criterio la selección de la mejor opción. Para ello se debe considerar que, si bien la variante del experimento 12 representa una mayor inversión, es más rentable en comparación a la otra según lo indican los valores de la TIR, por lo que se debería escoger esta opción si se planea ver el proceso como un proyecto a largo plazo en donde se generaría mayor cantidad de ingresos. Por otro lado, la variante del experimento 17 representa una menor inversión inicial, pero es menos rentable que la otra variante, aunque igualmente aportaría un incremento significativo de ganancias, por lo que se debería elegir esta opción previendo un cambio de producción dentro de la empresa o el efecto que pueden tener los cambios en el entorno actual y en la demanda de los clientes.

Se propone además a la empresa considerar que, al liberar capacidad en determinadas máquinas debido a la disminución de los tiempos de espera y bloqueo, se debe analizar el control de producción donde se pudieran procesar piezas para otros procesos.

VI. TRABAJO FUTURO

Se propone estabilizar el sistema colocando inventario en las máquinas para que al inicio del proceso puedan ser procesadas y se reduzcan los tiempos de espera. Se pretende además programar dentro del software utilizado un algoritmo genético para realizar experimentos con diferentes configuraciones de operadores genéticos como cruce, mutación y selección para aumentar la variabilidad dentro del algoritmo. Del mismo modo, se planea incorporar otras técnicas de optimización para comparar los resultados alcanzados por estas diferentes vías.

REFERENCIAS

- [1] C. R. Durán, «Desarrollo y estructura de la industria automotriz en México,» *Análisis*, n° 6, pp. 1-28, 2016.
- [2] J. Carrillo, «Calidad con consenso en las maquiladoras ¿Asociación Factible?,» *Frontera Norte*, pp. 105-131, 2017.
- [3] M. S. Yalán, «La producción automotriz en México y el tratado de libre comercio México-Estados Unidos-Canadá,» *Frontera Norte*, pp. 166- 172, 2017.
- [4] S. Chopra y P. Meindl, *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación.*, México: Pearson Education, 2013.
- [5] S. García, J. M. Velarde y M. López, «Aplicación de un modelo de optimización para el diseño de rutas de distribución en una empresa de la industria de materiales de la construcción,» de *Investigaciones y aplicaciones de ingeniería en la cadena de suministro*, Pearson, 2017, pp. 95-102.
- [6] E. Hofmann y M. Rüsçh, «Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics,» *Computers in Industry*, n° 89, pp. 23-34, 2017.
- [7] M. F. Yegul, F. S. Erenay, S. Striepe y M. Yavuz, «Improving configuration of complex production lines via simulation-based optimization,» *Computers & Industrial Engineering*, n° 109, p. 295-312, 2017.
- [8] J. R. Do Rego y M. A. De Mesquita, «Demand forecasting and inventory control: A simulation study on automotive spare parts,» *Int. J. Production Economics*, n° 16, pp. 1-16, 2015.
- [9] M. Kovalský y B. Mičieta, «Support planning and optimization of intelligent logistics systems,» *Procedia Engineering*, n° 192, pp. 451- 456, 2017.
- [10] N. Sa'udah, N. Amit y M. Nazri Ali, «Facility layout for SME Food Industry via Value Stream Mapping,» *Procedia. Economics and Finance*, n° 31, pp. 797-802, 2015.
- [11] H. De Steur, J. Wesana, M. K. Dora, D. Pearce y X. Gellynck, «Applying Value Stream Mapping to reduce food losses and wastes in supply chains: A systematic review,» *Waste Management*, n° 58, pp. 359-368, 2016.
- [12] J. Siderska, «Application of Tecnomatix Plant Simulation for modeling production and logistics processes,» *Business, Management and Education*, vol. 14, n° 1, p. 64-73, 2016.
- [13] E. G. Carrum, P. Pérez y D. M. Robles, «Caso de estudio: Simulación para determinar la cantidad exacta de carros materialistas en una celda de manufactura de asientos automotrices,» de *Compendio Investigativo de Academia Journals*, Celaya, 2017.

- [14] D. Barzaga, E. G. Carrum y C. A. Ochoa, «Modelo de simulación utilizando VSM para la evaluación de material en proceso dentro de una celda de manufactura,» de Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CILOG), 2018.
- [15] D. Barzaga y E. Carrum, «Searching for the optimum number of capacitated materialistic cars for an automotive manufacturing cell using a Shuffled Frog Leap Algorithm,» de Handbook of research on metaheuristics for order picking optimization in warehouses to smart cities, IGI-Global, 2019, pp. 363-380.
- [16] Y.-Q. Rao, M.-C. Wang, K.-P. Wang y T.-M. Wu, «Scheduling a single vehicle in the just-in-time part supply for a mixed-model assembly line,» Computers & Operations Research, n° 40, p. 2599–2610, 2013.
- [17] M. M. Eusuff y K. E. Lansey, «Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm,» Journal of water resources planning and management, pp. 210-225, 2003.
- [18] K. Dapa, P. Loreunghup, S. Vitayasak y P. Pongcharoen, «Bat algorithm, genetic algorithm and shuffled frog leaping algorithm for designing machine layout,» de 7th International Workshop, MIWAI 2013, 2013.
- [19] D. M. Robles, «Simulación en planeación táctica de la producción tipo taller mediante algoritmo genético,» Tesis de Maestría, 2018.
- [20] H. A. Taha, Investigación de operaciones, México: Pearson Educación, 2012.

Anexo 1: Principales elementos utilizados para la confección del modelo de simulación
Fuente: Elaboración propia

Máquina origen	Tiempo de ciclo	Máquina destino	Tipos de piezas que entran	Tipos de piezas que salen	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Traslado de materiales	Ruta	Cantidad	Capacidad
528	24.37	528A	-	4	X	X	X	X	R	-	-	-
528A	13.59	528B	4	4	X		X		R	-	-	-
		606				X	X	R	-	-	-	
528B	10.1	529	2	2			X		R	-	-	-
		530			X			C	1	3	128	
606	29.6	529	2	2				X	C	1	3	144
		530				X		C	1	3	144	
530	22.8	604B	2	4	X	X			R	-	-	-
		PRE			X			C	1	11	24	
		Pre				X		C	1	8	48	
603	27.3	529	-	2			X		C	1	5	44
		529					X	C	1	7	44	
604A	9.42	605	-	1				X	R	-	-	-
604B	10.3	604	2	2	X	X			R	-	-	-
604	22.3	Pre	2	2	X	X			C	1	4	28
605A	7	605	-	1		X			R	-	-	-
605	11.8	Pre	2	2				X	C	1	19	28
		Pre				X		C	1	10	19	
623	20/40	624	-	4	X	X			R	-	-	-
624	64.7	624A	4	4	X	X			R	-	-	-
		PRE			X	X			R	-	-	-
624A	13	SM	4	4		X			C	1	6	45
		SM			X			C	1	5	45	
		SM					X		C	1	6	36
		SM					X		C	1	5	36
601	14.8	HFrD	-	4	X				C	2	8	48
		HFrP				X		C	2	6	48	
601B	18	HFrD	-	2	X				C	2	1	110
		HFrP				X		C	2	1	110	
602A	13.4	602	-	4	X		X		R	-	-	-
602	8.25	Pre	4	4			X		C	1	9	80
		Pre			X			C	1	9	80	
HFrD	31.17	FA_130_D	3	1	X				C	2	5	40
HFrP	31.17	FA_130_P	3	1		X		X	C	2	5	40
630	31.6	BP_D	4	4	X		X		R	-	-	-
		BP_P				X	X	R	-	-	-	
600	8.5	FA_120_D	-	4	X		X		C	2	6	24
		FA_120_P				X	X	C	2	6	24	
529	70	SM	4	4			X		C	1	5	36
		SM					X		C	1	6	36
		624A				X	X	R	-	-	-	
Pre_D	24.6	RR_D	10	2	X		X		R	-	-	-
Pre_P	24.6	RR_P	8	2		X		X	R	-	-	-
RR_D	23.3	630	2	2	X		X		R	-	-	-
RR_P	23.3	630	2	2		X		X	R	-	-	-
BP_D	17.2	FA_50_D	2	2	X		X		R	-	-	-
BP_P	17.2	FA_50_P	2	2		X		X	R	-	-	-
FA_130_D	19.72	FA_50_D	1	1	X		X		R	-	-	-
FA_130_P	19.72	FA_50_P	1	1		X		X	R	-	-	-
FA_50_D	19.43	FA_120_D	3	3	X		X		R	-	-	-
FA_50_P	19.43	FA_120_P	3	3		X		X	R	-	-	-
FA_120_D	19.72	-	5	2	X		X		-	-	-	-
FA_120_P	19.72	-	6	2		X		X	-	-	-	-

R: el traslado de materiales se realiza mediante el uso de resbaladillas.

C: el traslado de materiales se realiza mediante el uso de carros materialistas.

Anexo 2: Resumen de los resultados obtenidos en el modelo de simulación
Fuente: Elaboración propia

No.	Cantidad de generaciones	Tamaño de la generación	Cantidad de corridas de simulación	Tiempo de simulación	Tiempo de bloqueo	Tiempo de espera	Cantidad de carros	Producción final
1	5	5	45	0:00:40.919	0:03:12.953	13:01:03:21.2833	474	660
2	50	5	495	0:06:32.594	0:11:45.243	12:21:16:43.0066	435	716
3	50	5	495	0:06:34.419	0:11:45.243	12:21:16:43.0066	435	716
4	100	5	995	0:42:03.390	0:12:33.180	12:20:45:04.2166	470	720
5	50	2	198	0:04:27.853	0:02:50.240	12:21:44:03.9566	427	774
6	5	10	90	0:01:18.737	0:37:06.317	13:01:32:14.9966	450	542
7	50	10	990	0:12:03.082	0:11:06.580	12:20:50:02.5000	447	752
8	100	10	1990	0:23:55.242	0:07:47.180	12:20:12:46.7300	384	746
9	200	10	3990	0:48:10.760	0:11:04.193	12:19:05:40.6066	462	792
10	300	10	5990	1:58:59.255	0:01:04.953	12:18:51:23.8266	421	772
11	100	50	9950	1:57:04.313	0:10:28.463	12:18:27:41.5500	399	804
12	200	50	19950	4:57:54.825	0:03:57.100	12:18:03:10.0800	346	804
13	300	50	29950	5:48:48.807	0:03:46.053	12:17:53:52.4100	381	804
14	100	100	19900	5:16:37.505	0:15:02.813	12:17:45:42.9866	349	787
15	200	100	39900	7:42:27.606	0:09:14.077	12:17:26:27.9466	437	802
16	300	100	59900	11:38:30.504	0:03:00.563	12:17:22:57.3433	388	802
17	200	200	79800	20:14:07.027	0:01:11.003	12:17:43:52.7566	308	791
18	400	10	7990	1:47:02.003	0:01:51.220	12:18:29:07.8900	390	781
19	400	50	39950	8:40:17.775	0:03:46.053	12:17:53:52.4100	381	804

Formato del tiempo: dd:hh:mm:ss.0000

Anexo 3: Cantidad de carros materialistas a utilizar en cada ruta y su capacidad obtenidas en los experimentos 12 y 17
Fuente: Elaboración propia

Recorrido	De	A	Ruta	Experimento 12		Experimento 17	
				Carros	Capacidad	Carros	Capacidad
1	528B	530	1	6	159	5	167
2	606	529	1	19	198	13	195
3	606	530	1	2	26	3	44
4	530	Pre	1	6	162	21	142
5	530	Pre	1	4	98	16	184
6	603	529	1	3	6	19	2
7	603	529	1	21	139	7	141
8	604	Pre	1	4	102	30	53
9	605	Pre	1	17	117	10	128
10	605	Pre	1	9	115	8	136
11	624A	SM	1	25	60	23	18
12	624A	SM	1	7	21	8	16
13	624A	SM	1	7	1	12	12
14	624A	SM	1	15	2	11	140
15	601	HFrD	2	27	3	22	18
16	601	HFrP	2	19	55	25	11
17	601B	HFrP	2	24	194	9	64
18	602	Pre	1	26	72	30	151
19	602	Pre	1	21	167	4	169
20	HFrD	FA_130_D	2	30	15	13	7
21	HFrP	FA_130_P	2	2	81	5	35
22	600	FA_120_D	2	9	136	5	100
23	600	FA_120_P	2	13	50	3	199
24	529	SM	1	8	97	2	102
25	529	SM	1	7	124	2	119
26	601B	HFrD	2	15	148	2	129
Total				346		308	

Anexo 4: Tiempos de espera y bloqueo en cada máquina obtenidos en los experimentos 12 y 17
Fuente: Elaboración propia

Máquinas	Experimento 12				Experimento 17			
	Bloqueo		Espera		Bloqueo		Espera	
	Tiempo	Porcentaje	Tiempo	Porcentaje	Tiempo	Porcentaje	Tiempo	Porcentaje
528	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%
528A	0:00:00.000	0.00%	9:04:15.430	37.80%	0:00:00.000	0.00%	9:04:15.430	37.80%
528B	0:00:00.000	0.00%	16:15:49.000	67.77%	0:00:00.000	0.00%	16:15:49.000	67.77%
529	0:00:00.000	0.00%	0:02:56.130	0.20%	0:00:00.000	0.00%	0:01:46.767	0.12%
530	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%
600	0:00:00.700	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.233	0.00%	0:00:00.000	0.00%
601	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%
601B	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%
602	0:00:00.000	0.00%	7:52:57.550	32.84%	0:00:00.000	0.00%	7:52:57.550	32.84%
602A	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%
603	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%
604	0:00:00.000	0.00%	7:33:13.000	31.47%	0:00:00.000	0.00%	7:28:36.500	31.15%
604A	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%
604B	0:00:00.000	0.00%	14:31:13.000	60.50%	0:00:00.000	0.00%	14:28:59.100	60.35%
605	0:03:36.400	0.25%	0:00:07.000	0.01%	0:01:05.040	0.08%	0:00:07.000	0.01%
605A	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%
606	0:00:00.000	0.00%	8:01:53.210	33.46%	0:00:00.000	0.00%	8:01:53.210	33.46%
623	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%	0:00:00.000	0.00%
624	0:00:00.000	0.00%	0:00:20.000	0.02%	0:00:00.000	0.00%	0:00:20.000	0.02%
624A	0:00:00.000	0.00%	17:01:08.000	70.91%	0:00:00.000	0.00%	17:00:42.000	70.88%
630	0:00:00.000	0.00%	12:09:39.190	50.67%	0:00:00.000	0.00%	12:08:50.493	50.61%
Pre_D	0:00:00.000	0.00%	16:10:28.200	67.39%	0:00:00.000	0.00%	16:09:14.400	67.31%
Pre_P	0:00:00.000	0.00%	18:19:37.200	76.36%	0:00:00.000	0.00%	18:18:48.000	76.31%
RR_D	0:00:00.000	0.00%	16:24:11.100	68.35%	0:00:00.000	0.00%	16:23:01.200	68.27%
RR_P	0:00:00.000	0.00%	18:26:30.600	76.84%	0:00:00.000	0.00%	18:25:44.000	76.79%
BP_D	0:00:00.000	0.00%	17:28:49.600	72.84%	0:00:00.000	0.00%	17:29:06.800	72.86%
BP_P	0:00:00.000	0.00%	18:58:50.400	79.09%	0:00:00.000	0.00%	18:58:16.000	79.05%
HFrD	0:00:20.000	0.02%	5:00:44.400	20.88%	0:00:05.730	0.01%	5:04:23.357	21.14%
HFrP	0:00:00.000	0.00%	14:47:38.970	61.64%	0:00:00.000	0.00%	14:44:31.950	61.43%
FA_130_D	0:00:00.000	0.00%	10:47:01.850	44.93%	0:00:00.000	0.00%	10:46:15.227	44.88%
FA_130_P	0:00:00.000	0.00%	16:57:01.440	70.63%	0:00:00.000	0.00%	16:51:26.200	70.24%
FA_50_D	0:00:00.000	0.00%	7:31:19.790	31.34%	0:00:00.000	0.00%	7:34:04.137	31.53%
FA_50_P	0:00:00.000	0.00%	15:17:10.620	63.69%	0:00:00.000	0.00%	15:11:01.450	63.27%
FA_120_D	0:00:00.000	0.00%	18:08:24.800	75.58%	0:00:00.000	0.00%	18:12:58.987	75.90%
FA_120_P	0:00:00.000	0.00%	19:11:49.600	79.99%	0:00:00.000	0.00%	19:10:44.000	79.91%
Total	0:03:57.100		306:03:10.080		0:01:11.003		305:43:52.758	
Días	0		12		0		12	
Horas	0		18		0		17	
Minutos	3		3		1		43	
Segundos	57		10		11		53	

Formato del tiempo: dd:hh:mm:ss.0000

[INTELIGENCIA COLECTIVA EN LOGÍSTICA]

INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA PARA UN MUNDO SOSTENIBLE.

La creciente tendencia hacia la “*globalización en reversa*” está provocando cambios estructurales importantes en las organizaciones. Las dificultades económicas que ha experimentado el mundo, aunado al crecimiento del nacionalismo/proteccionismo en diversos países, están generando incertidumbre y un mayor interés tanto por el desarrollo de los mercados internos, como por fortalecer el intercambio comercial sostenible con una mayor diversidad de naciones. Es así que, al mismo tiempo que el mundo comercial se fragmenta en millones de mercados, derivado de los enfoques proteccionistas, las exigencias en sostenibilidad del consumidor se incrementan. Como resultado, las cadenas de suministro son cada vez más complejas y vulnerables a la variabilidad, por lo que requieren de mayores competencias en logística. Estar alerta ante los avances en investigación, innovación y tecnología, es fundamental para caminar hacia el mundo sostenible que todos queremos y de hecho, necesitamos para prevalecer como especie.

De forma concreta, la estrategia de varios países de América Latina para moverse desde un paradigma de crecimiento económico basado en la exportación enfocada en unos cuantos grandes mercados, hacia uno basado en la diversificación de mercados internacionales y fortalecimiento de sus mercados internos, se está volviendo un reto logístico importante para las Pequeñas y Medianas Empresas (PyME). Dado que las PYME latinoamericanas son casi el 99% del total de empresas y emplean a cerca del 67% del total de trabajadores, desempeñan un papel fundamental en el desarrollo económico y social de la región. Sin embargo, tienen un diferencial en productividad que es importante reducir. De acuerdo con la CEPAL, la productividad de las microempresas es 33 veces más baja que el de las grandes empresas.

En este contexto la logística tiene una importancia estratégica, no solo por el costo directo que implica para las operaciones, sino también por las ventajas que puede aportar al conjunto de la economía regional. De acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el costo nacional de la logística como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) es de entre un 50% y un 100% mayor en América Latina y el Caribe, que en los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Ante ello, varias organizaciones internacionales están empujando desde diversas direcciones, para que se reconozca que el desarrollo de cadenas de suministro integradas a diversos mercados y colectivamente inteligentes, es un elemento fundamental para la competitividad.

Como lo señala Guerrero et al (2014): “*los sistemas productivos no están desconectados de los territorios*”, en consecuencia, el sistema industrial, no puede tener un desempeño asíncrono de aquel del sistema territorial. Actualmente es evidente que es la efectiva sincronización de los flujos intra e inter empresas, es lo que genera beneficios económicos colectivos que las empresas no pueden alcanzar de forma aislada. Lo mismo se comienza a percibir en cuanto a la sincronización de flujos (información, talento, finanzas, tecnología) entre las empresas y el territorio. La reciente pandemia del COVID19 nos ha enseñado que en la medida en la que los flujos industriales, no sean abastecidos por flujos territoriales necesarios para su operación (recursos humanos sanos, tecnología de diagnóstico y salud, información sanitaria, etc.), el tiempo para un re-inicio seguro de operaciones, es más lento o puede resultar en el cierre definitivo de las empresas. Ante eventos “Cisne Negro” cada vez más frecuentes, las competencias logísticas serán un tema clave para la sobrevivencia económica y social de nuestra región.

Es un hecho que como lo señala O'Neil (2018) "Latinoamérica necesita más cadenas de suministro propias". Sin embargo, uno de los principales desafíos de las PyME a nivel global, es incrementar sus competencias logísticas a través de la movilización de las capacidades de su capital humano. Es decir, evolucionar hacia el desarrollo de una "inteligencia colectiva en logística" como un mecanismo de desarrollo competitivo. Para impulsarla, las PyME requieren implementar procesos que favorezcan la innovación abierta de modo que les permita internalizar el conocimiento, la innovación y las prácticas ya generadas por otras organizaciones a nivel global.

Si bien existen varias definiciones sobre lo que se entiende por "inteligencia colectiva", para Pierre Levy (1999) se entiende como: "Una forma de inteligencia universalmente distribuida, constantemente mejorada, coordinada en tiempo real, resultando en la efectiva movilización de competencias." o como él mismo lo resume: "nadie lo sabe todo, pero todos sabemos algo". Es decir, una forma de inteligencia que se desarrolla con la intervención activa de todos los miembros de una organización. De forma específica al área logística, Cedillo-Campos (2018) ha propuesto entenderla como:

Capacidad para co-crear soluciones a retos logísticos complejos mediante la sinergia de un diverso grupo de personas miembros de un eco-sistema de organizaciones, quienes comparten de forma constante información, conocimiento y mejores prácticas, consiguiendo un coordinado desempeño conjunto que individualmente les sería imposible alcanzar.

Del mismo modo, debido a que la innovación es un elemento clave para el desarrollo de la inteligencia colectiva en logística de una organización, es importante establecer su definición. Para la OCDE se entiende por innovación a: "la implementación de un producto nuevo o significativamente mejorado (bien y/o servicio), o proceso (un nuevo o significativamente mejorado método de fabricación o suministro que incluye cambios significativos en técnicas, equipamiento y/o software), un nuevo método de comercialización (diseño de producto, método de embalaje, promoción, distribución o fijación de precios) o un nuevo método organizacional en la práctica de negocios, lugar de trabajo o relaciones externas". Asimismo, otro concepto importante a establecer es el de "innovación abierta". Para Chesbrough y Crowther (2006) es: "el uso de entradas y salidas intencionales de conocimiento tanto para acelerar la innovación interna, como para expandir los mercados para el uso externo de la innovación".

Desde esta perspectiva y como consecuencia de la infatigable labor de los miembros de la Asociación Mexicana de Logística y Cadena de Suministro, A.C. y sus aliados institucionales, desde 2013 se desarrolla anualmente el Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CiLOG). Se trata de un vivo esfuerzo por desarrollar, promover y difundir el conocimiento, tecnologías y mejores prácticas en logística.

A lo largo de estos años, se ha podido verificar lo que el profesor Alan C. McKinnon ha dejado establecido en su publicación titulada: "Logistics Competencies, Skills, and Training: A Global Overview" publicada por el Banco Mundial en 2017. A pesar del incremento de la inteligencia artificial tanto en la automatización de procesos, como en la gestión de la administración de la cadena de suministro, la efectiva implementación de la logística en las organizaciones sigue fuertemente vinculada a un conjunto bastante específico de habilidades y competencias que dependen del ser humano. Por lo tanto, dicha vinculación implica que el desempeño logístico de las empresas, industrias y estados nacionales está actualmente y cada vez más en el futuro, fuertemente influenciado por la cantidad y calidad de sus profesionales en logística.

Para América Latina y el Caribe no hay buenas noticias. En dicho estudio se menciona que la región tiene la mayor brecha en habilidades logísticas. De hecho, el 43 % de los encuestados del estudio, indicaron que la disponibilidad de gerentes de logística en Latinoamérica, es decir, personal con responsabilidades más especializadas, era "baja" o "muy baja". Sin embargo, también para cada uno de los tres grupos de empleados restantes (operativos, administrativos y de supervisión), aproximadamente un tercio de los encuestados señalaron una baja o muy baja disponibilidad de personal competente. Frente a la importancia crítica de la logística para las PyME de América Latina, existe una importante escasez de talento y herramientas tecnológicas especialmente concebidas para elevar continuamente sus competencias y habilidades en logística.

Desde su fundación en 2012 y sin tener a la mano un documento diagnóstico como el desarrollado por el Profesor MacKinnon, los miembros de la Asociación Mexicana de Logística y Cadena de Suministro, A.C. (AML), percibimos la necesidad y hemos tomado el reto de apoyar el desarrollo de competencias logísticas en la región. Cabe resaltar que, dentro del estudio citado, una gran mayoría de los encuestados atribuyen a las Asociaciones Profesionales de Logística, un rol y responsabilidad clave en cuanto a la promoción y certificación de competencias en logística, transporte y cadena de suministro. Incluso se identifica que en las regiones en desarrollo (como lo es el caso de América Latina) "una proporción significativamente mayor de encuestados consideró que el papel de las asociaciones era esencial".

Es ante este reto que los miembros de la AML, en cada edición del CiLOG, estamos en la constante búsqueda de talento académico, estudiantil, profesional y de toda persona con interés en contribuir al desarrollo de la logística en nuestra región. Se trata de construir inteligencia colectiva, se trata de impulsar un ambiente más propicio para el desarrollo de la investigación, de la innovación y de la tecnología en logística.

Miguel Gastón Cedillo-Campos

[Asociación Mexicana de Logística y
Cadena de Suministro A.C.]

INTELIGENCIA COLECTIVA EN LOGÍSTICA

Investigación, innovación y tecnología para un mundo sostenible

Se terminó de editar en Ciudad Obregón, Sonora, el 15 de agosto de 2020
por la Oficina de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Sonora.

Fue puesto en línea para su disposición en el sitio www.itson.mx
en la sección Publicaciones.

INTELIGENCIA COLECTIVA EN LOGÍSTICA

Investigación, innovación y tecnología para un mundo sostenible

Miguel Gastón Cedillo Campos
María Paz Acosta Quintana
Jonathan Cuevas Ortuño
Ernesto Lagarda Leyva
Alfredo Bueno Solano

El presente libro presenta un conjunto de contribuciones científicas que permiten comprender la creciente tendencia hacia la “globalización en reversa”. Fenómeno que está provocando cambios estructurales importantes en las organizaciones y en consecuencia, en la forma de hacer logística y diseñar las cadenas de suministro. Del mismo modo, se analizan modelos de operación que funcionan ante la incertidumbre, haciendo frente a las dificultades económicas que está experimentando el mundo. Las contribuciones que integran el presente libro, permiten entender cómo el mundo comercial se está fragmentando en millones de mercados, derivado del enfoque proteccionista que resulta tanto de las políticas públicas de los países, como de las estrategias de las empresas. Pero, además, sus efectos se suman a las crecientes exigencias del consumidor final por productos y servicios desarrollados desde una perspectiva de mayor sostenibilidad. Es así como los capítulos que integran este libro, favorecen una mejor comprensión sobre los retos que enfrentan las modernas cadenas de suministro, cada vez más complejas y vulnerables, cada vez más demandantes de mejores competencias en logística. Este libro permite la actualización de profesionales y académicos. Estar alerta ante los avances en investigación, innovación y tecnología, es fundamental para caminar hacia el mundo sostenible que todos queremos y de hecho, necesitamos para prevalecer como especie.



MéxicoLogístico®

Asociación Mexicana de Logística & Cadena de Suministro, A.C.

ITSON
UNIVERSIDAD

