



La Gestión del Riesgo y la Gerencia de la Cadena de Abastecimiento



IX Congreso Universidad Militar Nueva Granada
CONGRESO INTERNACIONAL DE LOGÍSTICA APLICADA



IV Congreso Escuela de Postgrados FAC
CONGRESO INTERNACIONAL DE LOGÍSTICA AERONÁUTICA



Fecha: 28 y 29 de agosto de 2019
Lugar: Universidad Militar Nueva Granada
Aula máxima y auditorios Esteban Jaramillo y Germán Arciniegas.
Bogotá - Colombia



**Escuela de Postgrados de la
Fuerza Aérea
Colombiana - EPFAC**

Director

CR. Javier
Neira Peraza

Subdirector General

CR. Martín Fernando
Zorrilla Rodríguez

**Comandante Grupo
Académico**

TC. Jorge Iván
Marín Herrera

**Comandante Escuadrón de
Educación Superior**

TC. Magda Jinette
Rincón Rivera

**Jefe Programa Maestría en
Logística Aeronáutica**

MY. Julio Ernesto
Rodríguez Pirateque

**Jefe Departamento
de Investigación**

TC. Wilson Augusto
Jaramillo García

Coordinadora Editorial

Sinndy Dayana
Rico Lugo, M.Sc.

**Memorias
Congreso Internacional
Logística Aeronáutica**

Compiladores

MY. Julio Ernesto
Rodríguez Pirateque
ST. Jeimmy Nataly
Buitrago Leiva
Álvaro Fernando
Moncada Niño, PhD.
Yeisson Alexis
Rincón Cuta, M.Sc.

Editora

Sinndy Dayana
Rico Lugo, M.Sc.

Equipo Técnico

**Diseño de cubierta y
páginas interiores**

Escuela de Postgrados
Fuerza Aérea Colombiana

Comité Científico

Director del proyecto

MY. Julio Ernesto
Rodríguez Pirateque
Álvaro Fernando Moncada
Niño, PhD.
Yeisson Alexis
Rincón Cuta, M.Sc.

Autores

Luis Gustavo Zelaya Cruz
Felix Mora-Camino
Hamdan Sulaiman Alfazari
Sibusiso Moyo

David Goldsman
John-Paul Clarke
Paul Goldsman
Alejandro Di Bernardi
Matias J. Coppa
Ezequiel Burela
Gabriel Ramirez Diaz
Manuel Antonio Fernández-
Villacañas Marín
Diego Alexander García Salas
Pedro José Sánchez Caimán
Diego Hernán Silva Martínez
Álvaro Fernando Moncada Niño
Yeisson Alexis Rincón Cuta
Dagoberto Castillo Giraldo
James Castro

Colaboradores

**Programa de Maestría en
Logística Aeronáutica**

**Escuadrón de
Investigación EPFAC**

Entidades

Corporación Industria
Aeronáutica. CIAC S.A.

Universidad Militar Nueva
Granada, Facultad de
Ingeniería Industrial.

Información técnica

Fecha del Congreso: 28 y 29 de
agosto de 2019. Bogotá,
D.C., Colombia (Suramérica)

e-ISSN 2539-3251



Periodicidad anual

Sitio web

<https://www.epfac.edu.co/>

Mayores informes

Carrera 11 No. 102-50 Edificio ESDEGUE, Escuadrón de Investigaciones.

Oficina 411. Bogotá D.C., Colombia. A.A.110111

Teléfonos (057-1) 637 8927 – 6206518 Ext. 1700, 1719, 1722.

Correo electrónico: julio.rodriguez@epfac.edu.co

Fecha de publicación: 30 de agosto de 2019.

Está permitida la reproducción total o parcial de los escritos aquí contenidos para uso personal o con fines académicos e investigativos, siempre y cuando se haga la respectiva cita o referencia a la ponencia, autor(es), y a la publicación de las Memorias Congreso Internacional de Logística Aeronáutica "La Gestión del Riesgo y la Gerencia de la Cadena de Abastecimiento", organizado por la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana. Bogotá, Colombia (Suramérica). En caso de querer reproducir esta obra para otros fines, en cualquiera de sus formatos, deberá contar con el permiso escrito de la entidad editora.

Copyright © 2019. Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.



ESCUELA DE POSTGRADOS DE LA FUERZA AÉREA COLOMBIANA
CAPITÁN JOSÉ EDMUNDO SANDOVAL
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN LOGÍSTICA AERONÁUTICA
IV CONGRESO INTERNACIONAL DE LOGÍSTICA AERONÁUTICA
"LA GESTIÓN DEL RIESGO Y LA GERENCIA DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO"

Memorias

IV Congreso Internacional de Logística Aeronáutica

"La gestión del riesgo y la gerencia de la cadena de abastecimiento"

Vol. 4. Enero – diciembre 2019 / pp. 150

Agosto 28 y 29 de 2019

Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana

Bogotá, D.C., Colombia (Suramérica)



CONTENIDO

PRESENTACIÓN.....	6
CAPÍTULO I: NUEVAS TENDENCIAS DE APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN EN CADENA DE ABASTECIMIENTO	
ASSESSING FLEET FLIGHT SCHEDULES THROUGH STRINGS OPTIMIZATION.....	9
ROBUST INPUT MODELING FOR COMPUTER SIMULATION OF LOGISTICS SYSTEMS	27
CAPÍTULO II: HERRAMIENTAS PARA EL SOPORTE LOGÍSTICO	
STRATEGIES AND CHANGES IN THE DIGITAL TRANSFORMATION FOR THE IN-SERVICE SUPPORT (ISS) IN THE AEROSPACE WEAPONS SYSTEMS	50
MODELO DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN LOGÍSTICA BASADO EN PROCESOS PARA EL EJÉRCITO NACIONAL DE COLOMBIA (LIM2).....	72
REDISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DEL PRONÓSTICO DE MATERIAL AERONÁUTICO REQUERIDO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROGRAMA ANUAL DE SOPORTE LOGÍSTICO (PASLO) EN LA FAC ..	90
ADAPTACIÓN DE LA MATRIZ DE LEOPOLD A LA VALORACIÓN DE SIGNIFICANCIA DE VARIABLES EN CALIDAD DE SERVICIO PÚBLICO DE TRANSPORTE TERRESTRE AUTOMOTOR DE CARGA EN COLOMBIA.....	99
CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE VALOR DE LOS JUGUETES EN COLOMBIA.....	107
CAPÍTULO III: LOGÍSTICA SOSTENIBLE	
INTERACCIÓN ENTRE UN AEROPUERTO Y SU ENTORNO INMEDIATO A TRAVÉS DE MAPAS DE DISPERSIÓN GASEOSA GENERADO POR LA OPERACIÓN DE AERONAVES B737-800 Y A320	121



PRESENTACIÓN

Actualmente, la gestión logística es una de las áreas que se encuentra prácticamente en cualquier organización, por lo que para nada es ajena al proceso de globalización que se ha venido consolidando de manera acelerada en las últimas décadas gracias a la revolución tecnológica y a la aceleración de los procesos empresariales. Así, siendo la aviación uno de los medios que ha facilitado que esa globalización se materialice de manera física, acortando las distancias y tiempos entre los innumerables actores de las redes de suministro del mundo, se llega a identificar el alto valor que representan la una en la otra, para, por ende, concentrar el interés en una logística aeronáutica que permite soportar las operaciones aéreas ya sea con fines de defensa, comerciales, apoyo al desarrollo de la nación o, incluso, humanitarias.

Y es así como el Congreso Internacional de Logística Aeronáutica, que se realiza conjuntamente con el Congreso Internacional de Logística Integral, se constituye en esa mirada hacia el exterior para traer lo mejor del conocimiento en temas asociados a esta área tan específica del conocimiento y poder brindar el espacio para la interlocución e interacción entre la academia, la industria y el Estado, procurando fortalecer las bases sobre las que se construye un mejor futuro para el país, un futuro con una industria aeronáutica y logística sostenible, empleos mejor remunerados y un talento humano altamente calificado, para alcanzar una mayor competitividad y, en últimas, una mejor calidad de vida para quienes habitan y habitarán esta bella geografía.

Es por ello que, dentro de temas tratados en esta edición del Congreso, se encontraron la simulación e inteligencia artificial en procesos logísticos, la programación de horarios de vuelo, el ruteo avanzado de vehículos, la planeación de instalaciones modernas, la sostenibilidad de los procesos logísticos aeronáuticos y la fabricación nacional de aeronaves, entre otros. Esto permitió intercambiar resultados parciales y finales de investigación entre las diversas entidades y actores de la cadena logística en el sector aeronáutico internacional y nacional y fortalece el desarrollo y actualización continua de competencias en el capital humano de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana y de todos aquellos que aportan al crecimiento sostenible de la industria aeroespacial.

Finalmente, solo resta agradecer a todos aquellos que de una u otra manera se han vinculado en esta noble iniciativa, que hoy es referente no solo a nivel nacional, sino que ya es reconocida en otras latitudes y permite avanzar en la visión de un impacto internacional para hacer más visibles las capacidades y potencialidades del país en temas asociados a la logística y la aviación como un binomio inseparable, fundamental y estratégico para el país.

MY. Julio Ernesto Rodríguez Pirateque

Jefe Programa Maestría En Logística Aeronáutica





La Gestión del Riesgo y la Gerencia de la Cadena de Abastecimiento



CAPÍTULO I NUEVAS TENDENCIAS DE APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN EN LA CADENA DE ABASTECIMIENTO



ASSESSING FLEET FLIGHT SCHEDULES THROUGH STRINGS OPTIMIZATION

Luis Gustavo Zelaya Cruz

Universidade Federal Fluminense, Rio das Ostras, Brazil

Felix Mora-Camino

ENAC, Université de Toulouse, France

Hamdan Sulaiman Alfazari

Sohar University, Sohar, Sultanate of Oman

Sibusiso Moyo

Durban University of Technology, Durban, South Africa



ABSTRACT

This paper considers the operation of flights operated by airlines in a domestic network. It develops a framework to assist the flight manager of a domestic airline in assessing the cost efficiency of a schedule for a given flight plan. The proposed framework is based on the construction of a flight connection graph which is built from the consideration of preceding constraints resulting from the flight schedules, the planned flight connections, the aircraft, crew and commercial staff assignment to the flights operated by the airline. Then time margins between successive flights can be computed. An optimization problem is formulated to take efficiently into account in-flight delay absorption capabilities of the considered flights resulting in a flight cost optimized time table for the flight plan. This leads also to the optimized definition, at the domestic network level, of the cost indexes assigned to each flight. A medium size case study is developed to illustrate the proposed approach.

Keywords: domestic networks, airlines operations, flight schedules, flight cost, cost index.

1. INTRODUCTION

This paper considers the operation of flights operated by airlines in a domestic network and develops a framework for the assessment of the cost efficiency of a planned flight schedule. In general, domestic airlines try at the same time to offer an on-time air transport service to potential passengers and to maximize the use of their fleet of aircraft. These are contradictory objectives. Indeed, when a tight flight schedule, with as many flights as possible, has been established by an airline, the occurrence of any delay on a flight, either at departure or arrival,

may impact on the remaining flights of the day. This can be in terms of delayed or cancelled flights and maintenance activities, leading to the need for additional aircraft (Cook A. et al. 2011), (N. Jozefowicz et al. 2013). Many studies have already been devoted to the design of numerical methods to generate airline's flight schedules for domestic or more particular networks (Papadakos N. 2009).

Today, there are no complete computer program that, starting from the predicted passenger demand pattern and the available airline and network resources, can generate an optimal flight schedule. Then the planned flight schedule is the result of the heuristically driven interaction of different decision processes. This leads ultimately to the need to assess and to validate the resulting flight schedule (Babic O. et al. 2011). Thus, in this communication is developed a framework to assess the cost efficiency of a proposed airline's flight schedule. This approach is based on the definition of a flight connection graph which is built from constraints resulting from the flight timetable, the planned passenger connections, the aircraft, crew and commercial staff assignment to the flights operated by the airline. This allows to compute delays margins between successive flights.

Then, while taking into account in-flight delay absorption abilities and costs, subsequent flight delays can be computed. In this communication, different performance indices are introduced to assess the cost efficiency of the planned flight schedule of a domestic airline. The paper is organized as follows: in section 2 are introduced different elements composing the background of the problem, then in section 3 a directed graph is introduced to represent the sequencing constraints between flights. In section 4 is considered, based on the proposed graph representation, the feasibility and the cost efficiency of flight schedules. Section 5 considers the cost effectiveness analysis of the planned flight schedule. A case study is developed in section 6 to illustrate the proposed approach. Finally, in the conclusion considerations for further developments and applications of the proposed approach are pointed out.

2. DOMESTIC FLIGHT SCHEDULES

In this section are introduced the main characteristics of domestic air transportation supply and flight schedules generation. The adopted terminology is the one used in textbooks such as (Bazargan M., 2004). Domestic networks operate in general short or medium range flight segments (with flight times between thirty minutes and two hours) from a small number of main bases, very often only one. Areas serviced by this kind of airline network can be limited to a region, can cover a whole national airspace or can even be extended to different close countries. For domestic networks, considering the rather short duration of the flights, two or more flight segments can be operated by the same aircraft, crew or staff when the arrival airports are also the departure airports of the following flight segments and when flight schedules are compatible.



For this, the difference between the departure time of the following flight segment minus the arrival time of the precedent flight segment, their connection time, must be sufficient to perform the corresponding arrival and departure ground handling activities. In domestic networks, operations start early in the morning and finish at night (typically 5am to 12pm). Domestic airline's fleets are composed of a reduced number of types of small to medium size aircraft (turboprop and single aisle jets) with shortened ground handling delays (about 20 min block time). Preventive maintenance develops through a series of mandatory checks of the aircraft with increasing scope and completeness. The frequency of these checks depends on the intensity of flights (flight hours and cycles of take-offs and landings). They may be realized at some of the operated airports or at any other appropriately equipped airport. The first major check (type A) takes place within intervals of up to 60 flight hours and covers the inspection of the main flight systems (landing gear, engines and control surfaces). It is in general executed during the night at a main base of the airline network where the concerned aircraft has been led by its last scheduled flight of the day.

The flight schedule development process begins at least a year in advance and is refined until departure time. Route frequencies are chosen first by considering route demands and aircraft capacity, then few months in advance, timetables, aircraft and crew/staff pairings are established, finally, few weeks in advance aircraft and crew/staff rosters are produced. All along this process revisions are performed to take into account additional information, in particular concerning concurrent airlines. Once a frequency has been chosen for each route, time tables must be established for flight departures. The timing of the flight departures covers as well as possible peak periods of passengers demand while aircraft turn-around times at parking must allow all ground handling activities, including refueling and cleaning the aircraft.

In general domestic airlines try to maximize aircraft commercial utilization by minimizing turn-around times at parking and by flying even in off-peak periods. However, domestic flight schedules must comply with many constraints such as connections with international flights, maintenance facility locations, crew and staff scheduling and night curfews at airports. Many approaches have been proposed in the Operations Research/Management literature to contribute to the generation of optimal flight schedules (Cadarsó L. et al. 2011), (Dunbar M. Et al. 2014) and (Jamili A. 2017). They differentiate by the way the global problem is subdivided into sub-problems and by the numerical techniques used to compute the solution.

These techniques cover a large spectrum of classical Mathematical Programming and of Artificial Intelligence techniques (Cordeau, J.F. et al. 2001) and (Zhifang S. et al. 2013). "Exact" solutions can be provided to some sub-problems while heuristics may produce with a reduced computational effort, sound solutions (Lan, S. et al. 2006). In general, once a flight schedule is operating, incremental changes are made by the flight manager to take into account left aside factors or to stick to the recent evolution of demand and traffic. Feasible pairings and rosters of



aircraft, crew and staff should be defined to give support to the realization of the flights (Desaulniers, G. et al. 1997) and (El Moudani et al. 2000). Let F_α be the set of domestic flights of airline α during a day of operation. To operate these flights, besides the expendable resources (fuel, catering, water,...), the main necessary resources are: the set A_α of operated airports composing the domestic network, the fleet V_α of operated aircraft, a set $C_{T\alpha}$ of available crews and a set $C_{C\alpha}$ of available commercial staffs. Once these feasible pairings and rosters of aircraft, crew and staff have been defined they become constraints for the realization of the planned flight schedule.

3. FLIGHTS CONNECTION GRAPHS

In this section is introduced a mathematical representation of a daily flight schedule for a domestic airline with the objective of enabling the assessment of its feasibility and efficiency. Then let F_α be the set of flight segments $f \in F_\alpha$ offered by a given airline α , $\alpha \in A$, where A is the set of considered airlines. An assigned pairing to aircraft v results in a sequence of time constraints between the flight legs of $F_{\alpha v}$. Let this sequence be given by $(f_1^v, \dots, f_k^v, \dots, f_{|F_v|}^v)$, then between flights k and $k+1$ of this sequence, time constraints such as:

$$t_d^{pf_k^v} + DF_{f_k^v} + GAD_{f_k^v f_{k+1}^v} \leq t_d^{pf_{k+1}^v} \quad (1)$$

should be satisfied. Here t_d^{pf} is the planned or published departure time for flight f , DF_f is the nominal duration of flight f , $GAD_{ff'}$ is the overall duration of ground handling activities for successive flights f and f' . The difference between the RHS and the LHS of relation (1) represents the buffer which could compensate for a delay at departure of flight f_k^v , for a delay during the flight f_k^v or during ground handling tasks at arrival of flight f_k^v or departure of flight f_{k+1}^v . Different flights offered by an airline and operated with different aircraft can also be linked between themselves by flight connections which introduce sequential constraints between these flights.

This situation happens when passenger connections are planned between these flights or when they are supposed to use successively the same commercial staff (in general the situation in which the crew shift from an arriving aircraft to a closely departing one is not allowed). In normal circumstances there are no succession constraints between flights of different airlines. In this study, airlines operating in pool are considered as a single airline. To each departing flight f of airline α can be attached a set of predecessor domestic flights Φ_f^α which satisfy the following constraints: they are operated by the same airline; they arrive at the departure airport of flight f ; they arrive in due time to perform eventual passenger/luggage transfer; total transfer time $\theta_{\phi f}$ is sufficient but not excessive. Various considerations may lead to define an upper bound for



transfer times so that all past flights are not considered. Depending on the airline and operated network characteristics, different considerations could be introduced to bound the total transfer time. Among the daily operated flights, source and end flights can be identified. The set of daily source flights for airline α , S_α , is composed of its flights for which $\Phi_f^\alpha = \emptyset$ (no predecessor that day) and the set of daily end flights for airline α , E_α , is such as: $E_\alpha \cap (\cup_{f \in F_\alpha} \Phi_f^\alpha) = \emptyset$.

A natural representation of the constraints of the air transportation service, often used in fleet pairing and roster problems, consists of a directed graph (Harary F. 1969) where vertices represent airports and arcs represent flights. Another graph representation, used mainly to establish flight pairings, adopts a space-time approach where time lines are associated to each airport and flights are represented by forward arcs between these lines, for example (Pyrgiotis N. et al. 2013) and (Bao D. et al. 2017). In the present case when emphasis is on the connection between the considered flights, a different graph representation is adopted where vertices are the planned flight segments and the arcs are associated with the precedence constraints between the planned flight segments. Then, let $\Phi^\alpha = \cup_{f \in F_\alpha} \Phi_f^\alpha$, the pair $[F_\alpha, \Phi^\alpha]$ built up for each airline α a directed graph G_α , the Flight Connection Graph (FCG). Similar graphs, *flight string* graphs, have been introduced by (Barnhart, C. et al. 1998) to cope with aircraft fleet and routing problems.

Here additional elements related with crew/staff constraints as well as international flights, are taken into consideration. In the common situation in which the domestic network is connected to international flights, incoming international flights $f \in I_\alpha^{in}$, are placed in S_α and arcs are established between them and the domestic flights in charge of the connection with the domestic network of airports. Outcoming international flights $f \in I_\alpha^{out}$, are placed in E_α and arcs are established between the domestic flights in charge of feeding them with domestic traffic of passengers, and these additional vertices. Observe that during a day of operation of the domestic network, the number of incoming and outcoming international flights may be different.

4. FEASIBLE AIRLINES' FLIGHT SCHEDULES

For each domestic flight f in S_α is attached an earliest starting time t_d^{Ef} which corresponds to the earliest time at which all resources for this flight can be made available at its departure airport. For domestic flight this earliest starting time could be related with the opening time of airport operations at d_f early in the morning. For international flights, their origin airport being outside the domestic network, t_d^{Ef} can be taken equal to $t_d^{pf} = t_a^{pf} - DF_f$. Then the following condition must be satisfied: $\forall f \in S_\alpha: t_d^{Ef} \leq t_d^{pf}$. For each flight f in E_α is attached a latest starting time t_d^{Lf} which corresponds to the latest time at which all resources for this flight can be made available



at its departure and arrival airports. In the case of a domestic flight, in general its departure will not be authorised if the estimated landing time is beyond closure hour of the destination airport.

In the case of an international flight, t_d^{Lf} can be taken as $t_d^{Lf} = t_d^{pff} + DW_{max}^{int}$, where DW_{max}^{int} is the maximum delay admitted at departure of an international flight to insure a connection with a feeding domestic flight. Observe that in this case, t_d^{Lf} can be overnight. Then the following condition must be satisfied: $\forall f \in E_\alpha: t_d^{pff} \leq t_d^{Lf}$. Beginning from the earliest starting times of flights in S_α it is possible to compute by increasing rank in G_α for each remaining flight an earliest starting time $t_d^{E_f}$ given by:

$$\forall f \in F_\alpha - S_\alpha: t_d^{E_f} = \max_{\varphi \in \Phi_f^\alpha} \{t_d^{E_\varphi} + DF_\varphi + GAD_{\varphi f} + T_{\varphi f}\} \quad (2)$$

Then, beginning from the latest starting times of flights in E_α , it is possible to compute through decreasing rank for each remaining flight a latest starting time t_d^{Lf} given by:

$$\forall f \in F_\alpha - E_\alpha: t_d^{Lf} = \min_{\varphi \in (\Phi_f^\alpha)^{-1}} \{t_d^{L_\varphi} - DF_f - GAD_{f\varphi} - T_{f\varphi}\} \quad (3)$$

Then a feasible flight programs will exist if: $\forall f \in F_\alpha: t_d^{E_f} \leq t_d^{Lf}$. In this case, for each flight $f \in F_\alpha$, it is possible to compute the feasible period for departure Δ_α^f given by: $\Delta_\alpha^f = [t_d^{E_f}, t_d^{Lf}]$ and a necessary condition for a flight program to be feasible for airline α is that: $\forall f \in F_\alpha: t_d^{pff} \in \Delta_\alpha^f$. Observe that the computation of the lower and upper bounds for feasible departures assumes a nominal duration for flight and ground handling operations. If $\exists f \in E_\alpha: t_d^{pff} > t_d^{Lf}$, the question is, whether or not it is possible to turn them satisfied by modifying the duration of some flights. In the case in which no solution exists, the frame of the flight program must be modified either by deleting some flights or by introducing new airplanes. This in both cases leads to a negative impact on the airline profit either by diminishing its income or increasing its operational costs.

The duration of a flight f , DF_f , covers here taxi-out, take-off and climb, cruise, approach, descent, landing and taxi-in. The duration of the climb, cruise, descent and approach phases depends of the flight plan adopted by the airline through the choice of tactical parameters such as the cost index for its flight management programme which corresponds to a relative weight of the cost of fly time with respect to the and cost of fuel (Hagelauer P. et al. 1997). The other phases of the trip, taxi-out, take-off, landing and taxi-in, are considered to have durations which cannot be changed by the airline even if a limited choice can exist with respect to parking positions. Then the cost of a flight for an airline can be written as:

$$C_f(DF_f) = C_f^{cst} + C_f^{var}(DF_f) \text{ with } DF_f^{min} \leq DF_f \leq DF_f^{max} \quad (4)$$



where C_f^{var} is a decreasing convex function of DF_f , DF_f^{min} corresponds to a maximum value of the cost index CI_f^{max} while DF_f^{max} corresponds to a minimum value of the cost index CI_f^{min} . Figure 1 displays a generic representation of a flight time cost function.

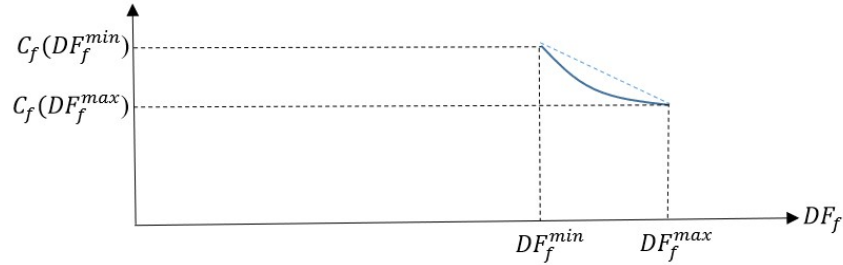


Figure 1. Flight time cost function and linear approximation

It can be easily checked that the set of constraints $\forall f \in F_\alpha: t_d^{pf} \in \Delta_\alpha^f$, written as:

$$\forall f \in F_\alpha: \max_{\varphi \in \Phi_f^\alpha} \{t_d^{E\varphi} + DF_\varphi + GAD_{\varphi f} + T_{\varphi f}\} \leq \min_{\psi \in (\Phi_f^\alpha)^{-1}} \{t_d^{L\psi} - DF_\psi - GAD_{f\psi} - T_{f\psi}\} \quad (5)$$

is equivalent to a reduced set of constraints associated to the cross paths of G_α :

$$t_d^{E f_p^s} + \sum_{n=1}^{n_p} (DF_{f_n^p} + GAD_{f_n^p f_{n+1}^p} + T_{f_n^p f_{n+1}^p}) \leq t_d^{L f_p^e} \quad p \in [1, \dots, P_\alpha] \quad (6)$$

Then if there exist p such as:

$$t_d^{E f_p^s} + \sum_{n=1}^{n_p} (DF_{f_n^p}^{min} + GAD_{f_n^p f_{n+1}^p} + T_{f_n^p f_{n+1}^p}) > t_d^{L f_p^e} \quad (7)$$

the proposed flight plan frame is not feasible, while when:

$$t_d^{E f_p^s} + \sum_{n=1}^{n_p} (DF_{f_n^p}^{min} + GAD_{f_n^p f_{n+1}^p} + T_{f_n^p f_{n+1}^p}) \leq t_d^{L f_p^e} \quad p \in [1, \dots, P_\alpha] \quad (8)$$

feasible timetables will be available. If the following constraints are satisfied:

$$t_d^{E f_p^s} + \sum_{n=1}^{n_p} (DF_{f_n^p}^{max} + GAD_{f_n^p f_{n+1}^p} + T_{f_n^p f_{n+1}^p}) \leq t_d^{L f_p^e} \quad p \in [1, \dots, P_\alpha] \quad (9)$$

then the proposed flight plan is loose enough for each flight be operated at minimum flight cost. In the case in which (8) is satisfied but not (9), it will be necessary to find feasible flight durations so that condition (6) is satisfied. What will be of interest for the airline will be to set the different flight durations to minimize the total flight cost. This leads to formulate the following convex optimization problem with linear constraints:

$$\min \sum_{f \in F_\alpha} C_f(DF_f) \quad \text{under constraints (4) and (6)} \quad (10)$$



Equations (4) and (6) can be rewritten vectorially in R^{P_α} as:

$$A \cdot DF + GADT \leq t_d^L - t_d^E \quad \text{and} \quad \text{with } DF^{min} \leq DF \leq DF^{max} \quad (11)$$

where A is the $0-1 P_\alpha \times |F_\alpha|$ incidence matrix of flights over paths with:

$$GADT_p = \sum_{n=1}^{n_p} (DF_{f_n^p} + GAD_{f_n^p f_{n+1}^p} + T_{f_n^p f_{n+1}^p}) \quad p \in [1, \dots, P_\alpha] \quad (12)$$

$$t_d^L = (t_d^{Lf_1^e}, t_d^{Lf_2^e}, \dots, t_d^{Lf_{n_p}^e})' \quad \text{and} \quad t_d^E = (t_d^{Ef_1^s}, t_d^{Ef_2^s}, \dots, t_d^{Ef_{n_p}^s})' \quad (13)$$

Problem (10) is a linear constrained continuous convex problem whose unique solution can be obtained using iterative algorithms such as the original simplex-convex algorithm of Zangwill (Zangwill W.I. 1967) where the feasibility of the current solution is insured, while the calculation of the reduced costs of the simplex makes use of the current value of the gradient of the cost vector.

This class of algorithm presents good numerical performances even for large instances of linear constrained continuous convex problems (Lawphongpanich S. 2008). Let DF_f^* , $f \in F_\alpha$, be the solution of problem (10) and let $[t_d^{Ef^{min}}, t_d^{Lf^{min}}]$ and $[t_d^{Ef^*}, t_d^{Lf^*}]$, $f \in F_\alpha$, be the real segments of the time line representing the solutions of (2) and (3) with respectively $DF = DF^{min}$ and $DF = DF^*$, then: $[t_d^{Ef^*}, t_d^{Lf^*}] \subset [t_d^{Ef^{min}}, t_d^{Lf^{min}}]$ $f \in F_\alpha$. Flights $f \in F_\alpha$ for which $t_d^{Ef^*} = t_d^{Lf^*}$ can be termed as *critical*, since their only feasible departure time will be $t_d^f = t_d^{Ef^*} = t_d^{Lf^*}$. For the others flights f , once a feasible departure time t_d^f has been chosen, such as $t_d^{Ef^*} \leq t_d^f < t_d^{Lf^*}$, since no flight will depart before its published departing time, there will be an *economic margin* em_f for delayed departure with a flight time equal to DF_f^* , that will not generate reactionary delays on subsequent flights. If the assumption that flight f can be performed faster is accepted, the margin for delayed departure not generating reactionary delays increases to become the *accepted margin* am_f . These margins are given by: $em_f = t_d^{Lf^*} - t_d^f$ and $am_f = t_d^{Lf^{min}} - t_d^f$. These individual margins provide first indications of the robustness of the proposed published flight schedule, while global margins indications are such as: $em = \min_{f \in F_\alpha} em_f$ and $am = \min_{f \in F_\alpha} am_f$.

See Figure 2 for a representation of these characteristic departure times and margins. To the globally optimal flight times DF_f^* , $f \in F_\alpha$, can be associated their corresponding cost index CI_f^* since there is a bijection between flight durations and cost indexes. Then the concept of network cost index function appears, where to each flight corresponds a globally optimal cost index instead of fixing independently flight by flight in a suboptimal local approach: $CI^\alpha: f \in F_\alpha \rightarrow CI_f^*$



. The setting of arrival times is in general important for domestic airlines to maximize the revenue of flights, so they may choose feasible departing times t_d^{pf} and flight times DF_f , so that the arrival times given by: $t_a^{pf} = t_d^{pf} + DF_f$ $f \in F_\omega$, are compatible with commercial considerations (competition with other airlines, connexions with ground transportation services).

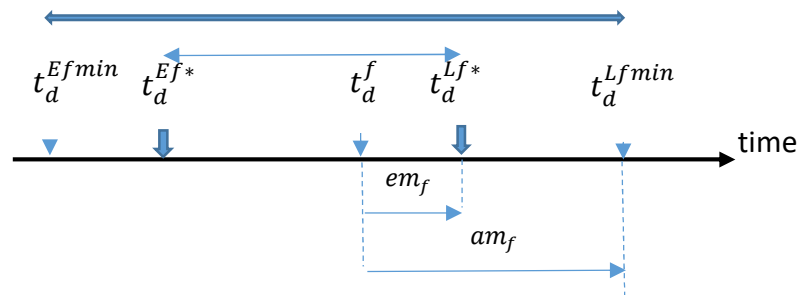


Figure 2. Feasible departure times and margins for a flight

Then it appears of interest for the airline management to compare for each flight f the adopted cost index CI_f corresponding to DF_f not only with the minimum cost index (CI_f^{min}) associated with economic flight, but also with the globally optimal cost index CI_f^* associated with the whole flight schedule.

5. COST EFFICIENCY OF AIRLINES FLIGHT SCHEDULES

Different levels can be adopted to assess the cost efficiency of a flight schedule. Assessment may be performed flight by flight, flights string by flights string or globally at the network level. The first type of assessment, the flight by flight one, does not allow to get a clear view of the main issue which is flight concurrence for a limited resource, time. Then, the assessment considering the different flights strings linking for each aircraft early departures to late arrivals, appears more appropriate. Finally, based on the string assessments, a global view of the quality of the proposed flights schedule can be obtained. Here it is considered that the cost efficiency of a flight is related to the relative position of the planned departure time t_d^f with respect to the minimum cost interval $[t_d^{Ef*}, t_d^{Lf*}]$ and to the duration DF_f of the flight. For each flight f composing a flight string operated by a single aircraft, from the relative position of t_d^{pf} with respect to intervals $[t_d^{Efmin}, t_d^{Lfmin}]$ and $[t_d^{Ef*}, t_d^{Lf*}]$, see figure 2, can be computed a performance value $S_M^f = s_M(\tau_f)$ where τ_f is a reduced variable defined by:

$$\tau_f = \frac{t_d^f - t_d^{Efmin}}{t_d^{Lfmin} - t_d^{Efmin}} \quad (14)$$



where function $s_M(\tau)$ is a semi normalized nonincreasing function such as represented in Figure 3 where:

$$\tau_f^{E*} = \frac{t_d^{Ef*} - t_d^{Efmin}}{t_d^{Lfmin} - t_d^{Efmin}} \quad \text{and} \quad \tau_f^{L*} = \frac{t_d^{Lf*} - t_d^{Efmin}}{t_d^{Lfmin} - t_d^{Efmin}} \quad (15)$$

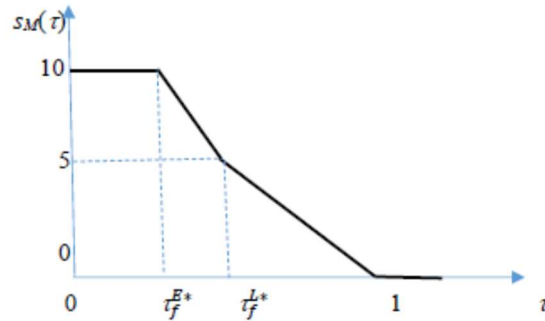


Figure 3. Time margin performance function

With the adoption of such a function it is considered that the time margin maximum performance is obtained when the reduced time margin is between 0 and t_d^{Ef*} , and that beyond it decreases in a linear piece wise way towards 0 which is reached when the chosen departure time is equal to the last feasible time for flight f .

Here flight duration is considered to sufficiently characterize the flight cost without entering in the complex computation associated with cost index. Then, for each flight f belonging to the same aircraft pairing, from the value of its planned duration DF_f , is directly computed a performance value $S_C^f = s_C(\sigma_f)$ where σ_f is a reduced variable defined by:

$$\sigma_f = \frac{DF_f - DF_f^{min}}{DF_f^{max} - DF_f^{min}} \quad (16)$$

where function $s_C(\sigma)$ is a semi normalized function such as represented in Figure 4 where:

$$\sigma_f^* = 1 - \frac{DF_f^* - DF_f^{min}}{DF_f^{max} - DF_f^{min}} \quad (17)$$

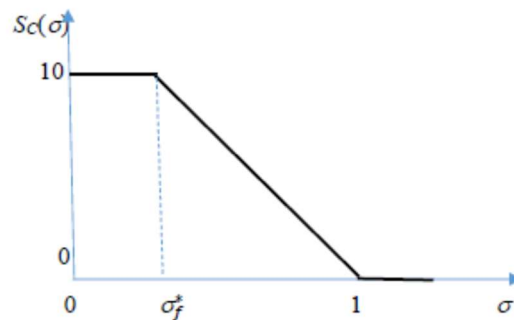


Figure 4. Flight time cost performance function



This function considers that maximum performance is obtained when the reduced flight time is between 0 and σ_f^* and that above, it decreases slowly towards 0. This value is obtained when the chosen flight time is maximum. Then, for each flight string P associated with the same aircraft (a pairing) and from both types of performance indexes can be computed the following performance figures:

$$S_{MP}^{min} = \min_{f \in P} S_M^f \quad S_{MP}^{mean} = \sum_{f \in P} S_M^f / |P| \quad S_{MP}^{max} = \max_{f \in P} S_M^f \quad (18)$$

$$S_{CP}^{min} = \min_{f \in P} S_C^f \quad S_{CP}^{mean} = \sum_{f \in P} S_C^f / |P| \quad S_{CP}^{max} = \max_{f \in P} S_C^f \quad (19)$$

where $|P|$ is the number of flights composing flight string P .

To perform an assessment of cost efficiency at network level, instead of computing global indexes from the flight string performances, which have the tendency to average large variations of performances, two-dimensional displays are considered where the performances of each flight string are given by a point in a two dimensional space (see Figure 5.a, Figure 5.b and Figure 5.c). Since best cost efficiency performances are obtained when both S_C and S_M performance indexes are close to 10, the performance space $([0,10] \times [0,10])$ can be subdivided in qualitative areas such as: bad, fair, good and excellent.

For example, the minimum, mean and maximum performance of flight string P will be qualified as (with $x = \text{min or mean or max}$): *bad* if $S_{CP}^x \cdot S_{MP}^x \leq Z_{fair}^e$, *fair* if $S_{CP}^x \cdot S_{MP}^x \leq Z_{good}^e$, *good* if $S_{CP}^x \cdot S_{MP}^x \leq Z_{excellent}^e$ and *excellent* if $S_{CP}^x \cdot S_{MP}^x > Z_{excellent}^e$, with $0 < Z_{fair}^e < Z_{good}^e < Z_{excellent}^e$ where Z_{fair}^e, Z_{good}^e and $Z_{excellent}^e$ are positive real numbers whose values can be set by the flight manager of the airline.



Figure 5.a Minimum performance



Figure 5.b Mean performance

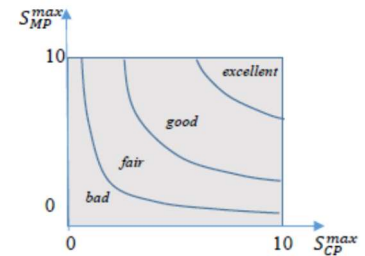


Figure 5.c Maximum performance

Then according to the frequency of flight strings in each area, either for minimum, mean or maximum performance, a global assessment can be performed. Finally, to get a global index of



cost efficiency of the proposed flight scheduling for the planned flight program, the upper bound of the total flight cost is computed as solution of the optimization problem:

$$\max \sum_{f \in F_\alpha} C_f(DF_f) \quad \text{under constraints (4) and (6)} \quad (20)$$

Let DF_f^* , $f \in F_\alpha$, be the solution of problem (24), then a global index for cost efficiency is given by:

$$\varepsilon(\mathbf{DF}) = 1 - \frac{\sum_{f \in F_\alpha} C_f(DF_f^*) - \sum_{f \in F_\alpha} C_f(DF_f)}{\sum_{f \in F_\alpha} C_f(DF_f^*) - \sum_{f \in F_\alpha} C_f(DF_f^*)} \quad \text{with} \quad 0 \leq \varepsilon(\mathbf{DF}) \leq 1 \quad (21)$$

Observe that problem (20) is not a convex program, but having a separable structure, it can be solved by Dynamic Programming (Cotter K. D. et al. 2006). A close upper bound of its optimal performance can be obtained when replacing problem (20) by the linear problem (see Figure 1):

$$\max_{\mathbf{DF}} \sum_{f \in F_\alpha} (C_f(D_f^{min}) + (C_f(D_f^{max}) - C_f(D_f^{min})) \cdot \left(\frac{DF_f - DF_{min}}{DF_{max} - DF_{min}} \right)) \quad (22)$$

under constraints (4) and (6). Observe that a coarser upper bound of the performance of the solution of (20) will be to take for the total flight cost $\sum_{f \in F_\alpha} C_f(DF_f^{min})$, which avoids to solve (20) or its approximation (22).

6. CASE STUDY

The case study considers a domestic network composed by five airports serviced by a single airline operating five out of a six aircraft fleet. The airports are coded as CTG, BGA, MDE, LET and BOG where BOG represents the main base of the airline. Table 1 displays the nominal block times between the different airports while Table 2 displays the daily frequency of service between the different airports. Table 5 displays the details of the nominal flights schedule: flight numbers, codes of the origin and destination airports and nominal departure and arrival times for each of the 38 domestic flights. This table includes also the arriving and departing international flights. Established connections between domestic flights are informed in Table 3, while connections with arriving international flights and with departing international flights are informed respectively in Table 5 and Table 6. Airports CTG, BGA, MDE and LET can operate from 05:30 to 23:00, while BOG is operated from 05:00 to 24:00. The set of domestic flights is covered by five pairings assigned to the five operated aircraft. Pairing one covers flights 1 to 8, pairing 2 covers flights 9 to 14, pairing 3 covers flights 15 to 21, pairing 4 covers flights 22 to 30 and pairing 5 covers flights 31 to 38. Common values have been adopted for ground handling and transfer times: $GA_f = GD_f = 20$ min, $GAD_f = 30$ min, $T_{f\varphi} = 10$ min between domestic flights and $T_{f\varphi} = 30$ min between domestic and international flights.



Table 1. Reference block times between domestic airports

Origin/Destin	BOG	MED	CTG	BGA	LET
BOG	0	60	60	90	120
MED	60	0	70	60	150
CTG	60	70	0	70	90
BGA	90	60	2	0	170
LET	120	150	90	170	0

Table 2. Daily flight frequencies between domestic airports

Origin/Destin	BOG	MED	CTG	BGA	LET
BOG	0	5	2	2	3
MED	5	0	1	2	0
CTG	3	1	0	3	1
BGA	3	1	2	0	0
LET	2	0	2	0	0

Table 3. Domestic connections and schedule

Arriving flight N°	Arrival time	Airport	Departure Flight N°	Departure time
17	11 :30	BOG	34	11 :30
18	13 :25	MED	28	17 :30
22	07 :00	MED	32	07 :40
23	08 :30	BOG	10	09 :15
26	14 :50	BOG	6	15 :20
27	16 :30	MED	37	18 :40

Table 4. Domestic connections with international arriving flights

Arriving flight N° (international)	Arrival time	Connection airport	Departure flight N° (domestic)	Departure time
40	09 :00	BOG	4	11 :30
41	12 :00	BOG	6	15 :20
40	09 :00	BOG	18	12 :20
39	07 :00	BOG	10	09 :15
41	12 :00	BOG	12	14 :00
39	07 :00	BOG	24	09 :10
41	12 :00	BOG	27	15 :30



Table 5. Planned flights schedule

Flight N°	Origin	destination	Departure time	Arrival time	Flight N°	Origin	Destination	Departure time	Arrival time
1	BOG	CTG	06:00	07:00	23	MED	BOG	07:30	08:30
2	CTG	BGA	07:40	09:00	24	BOG	LET	09:10	11:30
3	BGA	BOG	09:40	10:40	25	LET	CTG	11:50	13:10
4	BOG	MED	11:30	12:30	26	CTG	BOG	13:50	14:50
5	MED	BOG	13:50	14:50	27	BOG	MED	15:30	16:30
6	BOG	LET	15:20	17:25	28	MED	CTG	17:30	18:50
7	LET	CTG	18:30	20:00	29	CTG	MED	19:30	21:00
8	CTG	BOG	20:50	22:00	30	MED	BOG	21:40	22:40
9	LET	BOG	06:30	08:30	31	BOG	MED	06:20	07:20
10	BOG	CTG	09:15	10:15	32	MED	BGA	07:40	08:40
11	CTG	BGA	11:00	12:20	33	BGA	CTG	09:10	10:30
12	BGA	MED	14:00	15:00	34	CTG	LET	11:30	13:00
13	MED	BOG	15:45	16:50	35	LET	BOG	14:00	16:00
14	BOG	LET	18:00	20:00	36	BOG	MED	17:00	18:00
15	BOG	BGA	06:30	08:00	37	MED	BGA	18:40	19:40
16	BGA	CTG	08:30	09:40	38	BGA	BOG	20:20	22:00
17	CTG	BOG	10:30	11:30	39	CDG	BOG	XX:XX	07:00
18	BOG	MED	12:20	13:25	40	HKG	BOG	XX:XX	09:00
19	MED	BOG	14:05	15:10	41	NYK	BOG	XX:XX	17:00
20	BOG	BGA	16:30	18:00	42	BOG	NYK	17:00	YY:YY
21	BGA	BOG	19:30	20:30	43	BOG	CDG	18:30	YY:YY
22	BOG	MED	06:00	07:00	44	BOG	HKG	23:30	YY:YY

Table 6 Domestic connections with international departing flights

Arriving flight N° (domestic)	Arrival time	Connection airport	Departure flight N° (international)	Departure time
5	14:50	BOG	42	17:00
8	22:00	BOG	44	23:30
19	15:10	BOG	42	17:00
19	15:10	BOG	43	18:30
21	20:30	BOG	44	23:30
35	16:00	BOG	43	18:30
38	22:00	BOG	44	23:30
13	16:50	BOG	43	18:30
14	20:00	BOG	44	23:30
26	14:50	BOG	42	17:00



From the above information a flight connection graph composed of 44 vertices (38+6) can be constructed. Here $S_\alpha = \{1, 9, 15, 22, 31, 39\} \cup \{40, 41\}$ and $E_\alpha = \{8, 14, 21, 30, 38\} \cup \{42, 43, 44\}$ and the number of different flight strings is here $P_\alpha = 36$. In the following is considered the flight string associated to the third pairing ($P = \{15, 16, 17, 18, 19, 20, 21\}$). Then in Figure 8 is displayed the transitive closure of flight 15 while in table 9 are represented for the corresponding domestic flights the planned flight time as well as the minimum and the maximum flight times.

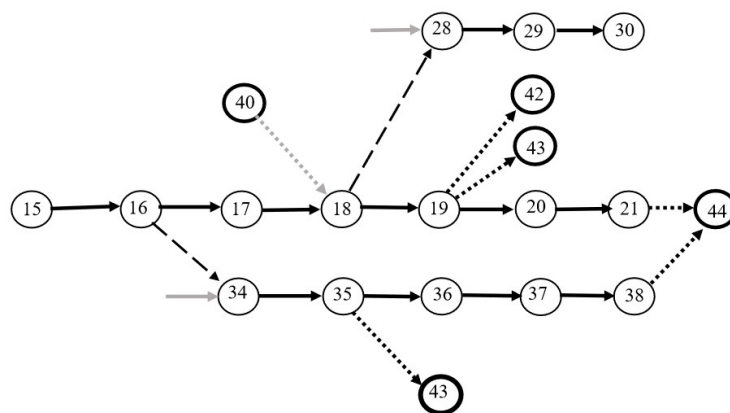


Figure 8. The transitive closure of flight 15 in the FCG

Here are presented the results relative to the third pairing described in the previous paragraph. Table 7 presents for the different flights of the transitive closure of flight 15, the range of feasible time flights and the adopted one in the flight schedule under assessment. Then, Table 9 displays the feasible and the efficient intervals constructed from relations (2) and (3), as well as the adopted time table by the flight schedule under assessment, showing the feasibility of the considered flight string.

Here, the global index for cost efficiency is $\varepsilon(DF) = 0.5$ which shows that the chosen flight times provide a *medium* cost efficiency. The values displayed in table 10 for flight margins show that this performance can be improved through a new setting of more economical flight times while maintaining feasibility of the time table.

Table 7. Flight times (min) for transitive closure of flight 15



Flight number f	15	16	17	18	19	20	21	28	29	30	34	35	36	37	38
DF_f^{min}	80	65	55	60	60	80	55	70	80	55	55	135	55	55	90
DF_f	90	70	60	65	65	90	60	80	90	60	60	150	60	60	100
DF_f^{max}	95	75	65	75	75	100	70	95	100	70	70	165	65	65	115

Table 8. Feasible and efficient intervals for flight string 15 to 21

Flight number f	15	16	17	18	19	20	21
t_d^{Efmin}	06:00	07:50	09:25	10:50	12:20	13:50	15:40
t_d^{Lfmin}	08:15	10:05	12:05	13:30	15:05	19:55	21:45
t_d^{Ef*}	06:00	08:05	09:50	11:25	13:10	14:55	17:05
t_d^{Lf*}	07:45	09:50	11:35	13:10	14:55	19:30	21:40
t_d^f	06:30	08:30	10:30	12:20	14:05	16:30	19:30

7. CONCLUSION

This study has considered the supply side of the operation of a domestic air transportation network, and more particularly the cost efficiency of a planned flight schedule. Many domestic airlines adopt tight flight programs to maximize aircraft utilization. Then, flights belonging to the same string are no more independent from each other and the choice of their flight guidance tactical parameters which are related with their operational cost must be performed globally to claim for some optimality. In this communication has been presented first a theoretical framework based on an oriented graph representing the interdependencies between flights. This framework allows to generate from the constraints considered at both ends of the flight strings, feasible intervals for the departure of each flight and then to formulate a global optimization problem to minimize flight costs, giving way to a network cost index concept. The resulting solutions can then be compared with the planned one which is in general demand oriented, giving hints for incremental improvements of the current flight schedule. This has led to propose a set of metrics to assess, from the supply side, the cost effectiveness of a given flight schedule. The proposed approach has been illustrated by its application to a medium size domestic network. The proposed approach can be adapted to on-line management when, which is a frequent

situation, primary delays appear, to manage reactionary delays and maintain the feasibility of the remaining flight schedule.

REFERENCES

- Babic O. , M. Kalic, D. Babic and S. Dozic (2011), The airline schedule optimization model: validation and sensitivity Analysis , *Procedia Social and Behavioral Sciences* Vol. 20, pp.1029–1040.
- Bao D. and S. Hua (2017), Flight Time and Frequency-Optimization Model for Multiairport System Operation, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol.2017, Article ID 7371461.
- Barnhart, C., Boland, N. L., Clarke, L. W., Johnson, E. L., Nemhauser, G. L., & Shenoi, R. G. (1998), Flight string models for aircraft fleet and routing. *Transportation Science*, Vol. 32, N°3, pp. 208–220.
- Bazargan M. (2004), *Airline Operations and Scheduling*, Ashgate, Farnham, England.
- Cadarso L. and A. Marin, (2011), Integrated Robust Airline Schedule Development, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Vol. 20 , pp. 1041–1050.
- Cordeau, J.F., Stojkovic, G., Soumis, F., Desrosiers, J., (2001), Benders decomposition for simultaneous aircraft routing and crew scheduling. *Transportation Science*, Vol. 35, pp. 375-388.
- Cotter K. D. and J.H. Park, (2006), Non-Concave Dynamic Programming, *Economic letters*, Vol. 90, N° 1, pp. 141-146.
- Desaulniers, G., Desrosiers, J., Dumas, Y., Solomon, M. M. and Soumis, F. (1997). Daily aircraft routing and scheduling. *Management Science*, 43(6), 841–855.
- Dunbar M., G. Froyland and C.L. Wu (2014), An integrated scenario-based approach for robust aircraft routing, crew pairing and re-timing, *Computers & Operations Research*, Vol. 45, pp.68–86.
- El Moudani W. and F. Mora-Camino (2000), A dynamic approach for aircraft assignment and maintenance scheduling by airlines, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 6, pp.233-237.
- Hagelauer P. and F. Mora-Camino (1997), Evaluation of Practical Solutions for Onboard Aircraft Four-Dimensional Guidance. *AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 20, pp. 1052-1054.



- Harary F. (1969), Graph Theory, Addison-Wesley Series in Mathematics, Addison-Wesley Pub. Co., Reading, Massachusetts.
- Jamili A. (2017), A robust mathematical model and heuristic algorithms for integrated aircraft routing and scheduling, with consideration of fleet assignment problem, Journal of Air Transport Management, Volume 58, pp. 21-30.
- Jozefowicz N. , C. Mancel, F. Mora-Camino (2013), A heuristic approach based on shortest path problems for integrated flight, aircraft, and passenger rescheduling under disruptions. Journal of the Operational Research Society, Vol.64, n°3, pp. 384-395.
- Lan, S., Clarke, J.P., and Barnhart, C. (2006), Planning for Robust Airline Operations: Optimizing Aircraft Routings and Flight Departure Times to Minimize Passenger Disruptions. Transportation Science, Vol. 40, pp.15-28.
- Lawphongpanich S. (2008), Convex-Simplex Algorithm. In: Floudas C., Pardalos P. (eds) Encyclopedia of Optimization. Springer, Boston, MA.
- Nihan M. D. and C. Demirel (2018), Evolutionary algorithms for solving the airline crew pairing problem, Computers & Industrial Engineering, Vol.115, pp.389-406.
- Papadakos N. (2009), Integrated airline scheduling, Computers & Operations Research, Vol. 36, pp. 176–195.
- Zangwill W.I. (1967), The convex simplex method, Management Science, Vol.14, pp. 221-283.
- Zhifang S., S. Lu, L. Fujuan, (2013), Optimization Model Integrated Flight Schedule and Maintenance Plans, Advances in information Sciences and Service Sciences, Vol. 5, N°3.



ROBUST INPUT MODELING FOR COMPUTER SIMULATION OF LOGISTICS SYSTEMS

David Goldsman

John-Paul Clarke

Paul Goldsman

H. Milton Stewart School of Industrial and Systems Engineering
Georgia Institute of Technology

Atlanta, GA, USA



ABSTRACT

Simulations of logistics systems are driven by the random variables that are used as model inputs, including customer interarrival times, service times, resource breakdown times, and supply chain lead times. In order to obtain proper and statistically meaningful output from a simulation, these inputs must represent reality, or at the very least, be robust against minor departures from reality. In this paper, we discuss aspects of simulation input analysis, including the choice and validation of proper distributions to model the phenomena driving the simulation, along with commentary on robustness issues.

Keywords: Logistics Systems; Simulation; Input Analysis; Robustness.

1. INTRODUCTION

Computer simulation is one of the most-widely used tools in operations research, industrial engineering, management science, and many other mathematical, science, and engineering disciplines — including aerospace engineering (White and Ingalls 2018). In everyday life, one runs across numerous systems in which simulation has played a role:

- How many servers are available at the post office when a customer show up?
- Should we keep a certain number of spare parts in stock in case an important component fails in a maintenance and repair center?
- How are logistics issues in the supply chain likely to affect the delivery time of a product or service?
- What is the best retirement portfolio for a particular person?



The purpose of this paper is to present a self-contained discussion on computer simulation input modeling issues to help readers model, evaluate, and improve (perhaps even optimize) complicated systems such as logistics applications. Simulations of logistics systems are inherently driven by the random variables that are used as model inputs, including customer interarrival times, service times, resource breakdown times, and supply chain lead times. For instance, once customer arrival times are generated (where a “customer” can be anything from a machine needing repair to a person), then the simulation can place those customers in lines before services begins, possibly at a series of service stations. Some of these services may be disrupted due to planned or unplanned resource breaks or supply chain problems, but eventually the customers will leave the system or recirculate within the system as part of a breakdown-repair cycle. As a specific example, think of aircraft arriving for planned maintenance at a service facility. Certain aircraft may have higher priority; others may encounter unanticipated repairs; or they may have to wait for parts to arrive from a tardy supplier.

Consider the usual simulation project paradigm described in standard textbooks such as Law (2014). Broadly speaking:

1. The analyst determines the problems to be attacked along with specific questions that need to be answered by the project.
2. The analyst collects appropriate data, carries out various statistical analyses, and uses the results to formulate appropriate models that will be constructed and simulated.
3. Such models need to be programmed and checked carefully (steps known informally as verification and validation).
4. Proper experimental design must be developed in order to answer the questions of interest. At this point the main simulation runs can finally be conducted.
5. After the runs are completed, one must analyze the resulting output in a statistically rigorous way, and then draw valid conclusions from that data. If additional runs need to be carried out in order to draw reasonable conclusions (which is usually the case in practice), then some of the above steps must be repeated.

A great deal of work obviously has to be undertaken in order to carry out the paradigm listed above. In fact, it is typically the case that tremendous effort is devoted to data collection, process mapping (perhaps via extensive flowcharting), and programming (in our favorite simulation language). These exercises usually work to give us a pretty good idea of all of the processes that customers have to undergo as they move through the system. However, in order to obtain proper and statistically meaningful output from a simulation, a simulation analyst would be wise to pay heed to the statistical aspects of the project (Steps 2–5 of the paradigm). In particular, the various simulation inputs must represent reality, or at the very least, be robust against minor departures from reality; and the output analysis must be conducted rigorously enough to make sound conclusions upon which to base any decisions. In this paper, we discuss aspects of simulation

input analysis (encompassed in Steps 2 and 3), including the choice and validation of proper distributions to model the phenomena driving the simulation, along with commentary on robustness issues (Law 2016).

The old expression “garbage in garbage out” (GIGO) certainly applies to simulation models. After all, if one uses inaccurate random variables in the simulation (e.g., arrival times, service times, break-down times), then one will get the wrong message from the outputs, and all of the considerable effort that has been put forth on the model will be wasted. Two elementary examples succinctly illustrate the issue.

Example: Consider a simple M/M/1 queueing system — that is, customers arrive at a service center according to a Poisson process with rate λ (mean $1/\lambda$) and seek service at a single resource that processes customers with service times that are exponential with rate μ (mean $1/\mu$). Customers wait in a first-in-firstout (FIFO) queue if the server is busy. If $\mu > \lambda$, then it is easy to show that this system is “stable,” with an expected customer cycle time (wait plus service) $w = 1/(\mu - \lambda)$. Nevertheless, a surprisingly common modeling error encountered in practice is simply to model all times between arrivals as the constant mean $1/\mu$ and all service times as the constant mean $1/\mu$. In this case, if $\mu > \lambda$ (service times are faster than interarrival times), then the simulation will never produce a line at all — a clear violation of what is undoubtedly observed in reality.

Example: We can still encounter problems even if the process is modeled in a less-naive way than constant interarrival and service times. Suppose in the previous example that the arrivals follow a Poisson process with mean $1/\lambda = 10$ minutes, so that the interarrival times are independent exponential random variables, denoted $\text{Exp}(\lambda = 1/10)$. Further suppose that the service times are independent $\text{Exp}(\mu = 1/8)$ random variables with mean $1/\mu = 8$ minutes. Then the expected cycle time is $w = 1/(0.125 - 0.1) = 40$. But what happens if we incorrectly model the interarrivals as uniform(5,15) random variables instead of $\text{Exp}(1/10)$? Both the uniform and exponential options have the same mean interarrival time of 10, yet it turns out that a simulation of the queueing system using the incorrect uniform (5,15) interarrivals yields a cycle time of only about 23 — considerably below the correct value of 40!

Keeping these illustrative examples in mind, this paper is primarily concerned with proper input analysis and its consequences for simulation analysis of complicated systems, e.g., military simulations such as aircraft maintenance and mission scheduling. A lot of input analysis is really a glorified statistics exercise — a bit more sophisticated than what we might encounter in a first statistics course due to the presence of nonnormal, correlated, missing, and otherwise tricky and poorly modeled data that one encounters in simulation projects. For this reason, section 2 of our paper starts off with some high-level advice for identifying useful, elementary probability distributions. We review some standard statistical tools in section 3, namely, unbiased estimation, the concept of mean squared error, and maximum likelihood estimators. After the estimation review, we will be equipped to carry out various goodness-of-fit (GOF) tests to



determine if a project's hypothesized simulation input distributions are, in fact, any good; this is the topic of section 4, where we give a number of explicit examples demonstrating GOF methodology, specifically, χ^2 and Kolmogorov-Smirnov GOF tests. Section 5 concerns situations involving various problem children. For instance, what do you do if there is very little data available? What if the data is nonstationary, multivariate, etc.? We wrap things up in section 6 with a discussion of what lies ahead, including the incorporation of predictive analytics and adaptive decision-making into the analysis mix.

2. ELEMENTARY HIGH-LEVEL STATISTICAL METHODS

Before encountering more-sophisticated modeling methods in section 3, we first discuss high-level input modeling considerations. Our main goal herein is to determine proper/reasonable probability distributions to model interarrival times, service times, breakdown times, etc., in order to be able to feed these random variables into our simulation with some confidence. A number of natural questions about interarrival times arise:

- Are the interarrival times exponential? Weibull? Stationary? Independent?
- What if we think the interarrivals are constant but they are actually exponential? Then (as illustrated by an example in section 1, we may never see a line form, which is unrealistic and indicative of a poor model.
- What if we believe that the arrival rate (not necessarily the random arrivals themselves, just the rate) stays constant over the day but it does not? The arrival rate at a restaurant, for instance, ebbs and flows between and during meal times. If this issue is ignored, a bad model certainly results.
- What if we correctly model the interarrivals as exponential but get the arrival rate wrong? The distributional form by itself is not enough— one needs to estimate the distribution's parameter(s) correctly as well.

The moral of the story is that proper input analysis can help us to think about these questions and potentially save our model from GIGO.

So far, we have just complained about problems. What kinds of things can we do to ameliorate some of the issues? A reasonable game plan is as follows.

- Collect data for analysis (discussed in this section)
- Determine/estimate the underlying distribution (along with associated parameters), e.g., Nor (30,8) (discussed in section 3).
- Conduct a statistical test to see if the proposed distribution is “approximately” correct (section 4).

First-Pass Data Analysis: One should always plot out data before doing anything else, if only to identify any obvious issues such as nonstandard distributions, missing data points, outliers, etc.



Example: Histograms provide a quick, succinct look at what we are dealing with. It can be shown (by what is known as the Glivenko-Cantelli Theorem) that if one takes enough observations, the histogram will eventually converge to the true distribution, thus showing that histograms are reliable at portraying data. One thorny issue, however, is that of determining the proper number of cells to partition the data (Figure 1); but many software packages (e.g., Excel, R, Matlab, etc.) can be coaxed into doing this chore automatically.

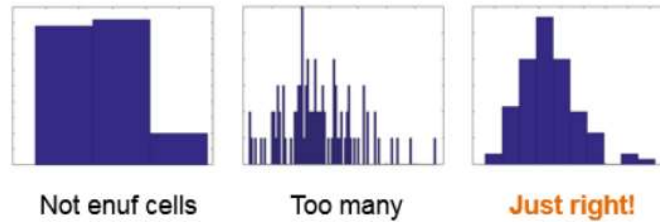


Figure 1. Different histograms depicting the same data

Example: Stem-and-leaf diagrams (which are essentially sideways histograms with numbers) provide a more-complete story than histograms.

10	000
9	998764422110
8	9764544321
7	965432100
6	7532
5	433
4	8

After having done a preliminary pass/look at the data, one might wish to determine which distribution best fits the data. It may indeed be the case that a “standard” distribution (such as the geometric, exponential, or normal) results in a perfectly fine data fit; or we may have to punt and use a nonstandard solution. How do we even start to decide?

- Discrete or continuous or mixed distribution?
- Univariate/multivariate?
- How much data is available?
- Are experts around to ask about nature of the data?
- What if we do not have much/any data — can we at least guess at a good distribution?



If the distribution is a discrete random variable, then we have a number of familiar choices to select from.

- Bernoulli(p) (success with probability p)
- Binomial(n, p) (number of successes in n Bern(p) trials)
- Geometric(p) (number of Bern(p) trials until first success)
- Negative Binomial (number of Bern(p) trials until multiple successes)
- Poisson(λ) (counts the number of arrivals over time)
- Empirical (“sample” distribution)

And if the data suggest a continuous distribution. . .

- Uniform (not much known from the data, except perhaps the minimum and maximum possible values)
- Triangular (know minimum, maximum, “most likely” values)
- Exponential(λ) (interarrival times from a Poisson process)
- Normal (good model for heights, weights, IQs, sample means, etc.)
- Beta (good for specifying bounded data)
- Gamma, Weibull, Gumbel, lognormal (reliability data)
- Empirical (“sample” distribution)

Our eventual game plan in section 4 is to choose a “reasonable” distribution, and then do a formal hypothesis test to see if our selection is not too bad. For example, if we hypothesize that some data is normal, then the data should fall approximately on a straight line when graphed on a normal probability plot, and it should also pass goodness-of-fit tests for normality. Before discussing GOF tests, we first present a self-contained statistical estimation tutorial in section 3.

3. STATISTICAL TOOLS

The purpose of this section is to give a self-contained tutorial on statistical estimation methods. We begin with a short discussion on the goals of parameter estimation in section 3.1. Then we discuss various types of estimators and their properties in section 3.2–3.4. 3.1

3.1. Introduction to Point Estimation

Suppose that, based on histograms from the collected data as well as past experience, we believe that certain interarrival times follow an $\text{Exp}(\lambda)$. Before we can undertake a formal goodness-of-fit test in section 4, we need to estimate the exponential distribution’s unknown parameter value λ .

Definition: A *statistic* is a function of the observations $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, and not explicitly dependent on any unknown parameters.



Examples: The *sample mean* and *sample variance*, commonly denoted as $\bar{x} \equiv \sum_{i=1}^n x_i/n$ and $s^2 \equiv \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)$ respectively.

Statistics are *random variables*. If we take two different samples, we would expect to get two different values of a statistic. A statistic is usually used to estimate some unknown parameter from the underlying probability distribution of the X_i 's. To this end, let $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ be independent and identically distributed (i.i.d.) random variables (RVs), and let $T(X) \equiv T(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ be a statistic based on the X_i 's. Suppose we use $T(X)$ to estimate some unknown parameter θ . Then $T(X)$ is called a *point estimator* for θ .

Examples: The sample mean \bar{x} is usually a point estimator for the mean $\mu = E[X_i]$, and S^2 is often a point estimator for the variance $\sigma^2 = Var(x_i)$. It would be nice if $T(X)$ had certain desirable properties (which we shall discuss in the sequel).

- Its expected value should equal the parameter it is trying to estimate.
- It should have low variance.

3.2. Unbiased Estimators

A good property for an estimator to have is that it is correct 'on average.'

Definition: $T(X)$ is unbiased for θ if $E[T(X)] = \theta$.

Example/Theorem/Proof: Suppose X_1, X_2, \dots, X_n are i.i.d. anything with mean μ . Then

$$E[\bar{X}] = \frac{1}{n} E\left[\sum_{i=1}^n X_i\right] = E[X_i] = \mu.$$

So \bar{x} is always unbiased for μ ; and that is why \bar{x} is aptly called the *sample mean*.

Example/Theorem: Suppose $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ are i.i.d. anything with mean μ and variance σ^2 . Then $E[S^2] = Var(x_i) = \sigma^2$, so S^2 is always unbiased for σ^2 , and why we call S^2 the sample variance.

Proof: First, some straightforward algebra shows that

$$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2,$$

so that

$$E[S^2] = E\left[\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1}\right] = \frac{\sum_{i=1}^n E[X_i^2] - nE[\bar{X}^2]}{n-1} = \frac{n}{n-1} \left(E[X_1^2] - E[\bar{X}^2] \right).$$



Since $E[x_1] = E[\bar{x}]$ and $Var(\bar{x}) = Var(x_1)/n = \sigma^2/n$, we have

$$E[S^2] = \frac{n}{n-1} \left(Var(X_1) + (E[X_1])^2 - Var(\bar{X}) - (E[\bar{X}])^2 \right) = \frac{n}{n-1} (\sigma^2 - \sigma^2/n) = \sigma^2.$$

The individual unbiased estimators \bar{x} and S^2 for respective unknown parameters μ and σ^2 make good intuitive sense. It is sometimes possible to have multiple reasonable unbiased estimators for an unknown parameter, in which case we will have to take certain measures to determine which estimator is the best in some sense.

Example: Suppose that $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ are i.i.d. $Unif(0, \theta)$, i.e., the probability density function (p.d.f.) is $f(x) = 1/\theta, 0 < x < \theta$. We will look at two unbiased estimators for the unknown upper bound θ , namely, $T_1 = 2\bar{x}$ and $T_2 = \frac{n+1}{n} \max_{1 \leq i \leq n} X_i$.

$$\begin{aligned} Pr(M \leq y) &= Pr(X_1 \leq y \text{ and } X_2 \leq y \text{ and } \dots \text{ and } X_n \leq y) \\ &= Pr(X_1 \leq y) Pr(X_2 \leq y) \dots Pr(X_n \leq y) \quad (\text{the } X_i\text{'s are independent}) \\ &= [Pr(X_1 \leq y)]^n \quad (\text{the } X_i\text{'s are identically distributed}) \\ &= \left[\int_0^y f_{X_1}(x) dx \right]^n = \left[\int_0^y (1/\theta) dx \right]^n = (y/\theta)^n. \end{aligned}$$

This implies that the p.d.f. of M is $f_M(y) \equiv \frac{d}{dy} (y/\theta)^n = ny^{n-1}/\theta^n, 0 < x < \theta$, and this in turn implies that

$$E[M] = \int_0^\theta y f_M(y) dy = \int_0^\theta \frac{ny^n}{\theta^n} = \frac{n\theta}{n+1}.$$

This finally shows that $T_2 = \frac{n+1}{n} \max_{1 \leq i \leq n} X_i$ is unbiased for θ .

Thus, both T_1 and T_2 are unbiased. In order to break the tie, we will calculate the variances of these estimators. Since $Var(x_1) = \sigma^2/12$, we have

$$Var(T_1) = 4Var(\bar{X}) = \frac{4Var(X_i)}{n} = \frac{\theta^2}{3n}.$$

In addition, after a the corvee of algebra, which will not reproduce here, we can obtain $Var(T_2) = \sigma^2/(n^2 - 2n)$. The bottom line is that even though both T_1 and T_2 are unbiased, the second estimator T_2 has *much lower variance* than T_1 , and is therefore the winner.



3.3. Mean Squared Error

We saw in section 3.2 that unbiasedness is a good thing, but that it doesn't tell the entire story; variance must also enter into the conversation. Mean squared error (MSE) takes both bias and variance into consideration when evaluating estimator performance.

Definition: The mean squared error of an estimator $T(X)$ of θ is $MSE(T(X)) \equiv E[(T(X) - \theta)^2]$. We also define the *bias* of an estimator as $\text{Bias}(T(X)) \equiv E[T(X)] - \theta$.

Remark: We now have an easier interpretation of MSE.

$$\begin{aligned} \text{MSE}(T(X)) &= E[T^2] - 2\theta E[T] + \theta^2 \\ &= E[T^2] - (E[T])^2 + (E[T])^2 - 2\theta E[T] + \theta^2 \\ &= \text{Var}(T) + \underbrace{(E[T] - \theta)^2}_{\text{Bias}}. \end{aligned}$$

So the MSE combines the bias and variance of an estimator. The lower the MSE the better. If T_1 and T_2 are two estimators of θ , we might prefer the one with the lower MSE — even if it happens to have higher bias.

Definition: The *relative efficiency* of T_2 to T_1 is $MSE(T_1)/MSE(T_2)$. If this quantity is < 1 , then would prefer T_1 .

Example: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \sim^{iid} \text{Unif}(0, \theta)$. Recall that we examined two unbiased estimators for θ , $T_1 = 2\bar{x}$ and $T_2 = \frac{n+1}{n} \max_i X_i$. We found that $\text{Var}(T_1) = \sigma^2/3$ and $\text{Var}(T_2) = \sigma^2/(n^2 + 2n)$, so that

$$\frac{\text{MSE}(T_1)}{\text{MSE}(T_2)} = \frac{\theta^2/(3n)}{\theta^2/(n^2 + 2n)} = \frac{n+2}{3} > 1, \quad \text{for } n > 1.$$

This indicates that T_2 is the better estimator.

3.4. Maximum Likelihood Estimators

Maximum likelihood estimators (MLEs) serve as an alternative approach to unbiased estimation (though MLEs are sometimes unbiased themselves). MLEs have numerous desirable properties and are important components of the goodness-of-fit tests that will be discussed in section 4.



Definition: Consider an i.i.d. random sample $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, where each x_i has probability mass or density function $f(x)$. Further suppose that θ is some unknown parameter from x_i . The *likelihood function* is $L(\theta) \equiv \prod_{i=1}^n f(x_i)$.

The *maximum likelihood estimator* of θ is the value of θ that maximizes $L(\theta)$. The MLE is a function of the x_i 's and is a RV.

Example: Suppose $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \sim^{iid} \text{Exp}(\lambda)$. Let us find the MLE for λ . We start with the likelihood function,

$$L(\lambda) = \prod_{i=1}^n f(x_i) = \prod_{i=1}^n \lambda e^{-\lambda x_i} = \lambda^n \exp\left(-\lambda \sum_{i=1}^n x_i\right).$$

Now the task is to maximize $L(\lambda)$ with respect to λ . We could take the derivative and plow through all of the horrible algebra in the usual way, but this is usually too tedious. A useful trick that often applies is simply to perform the maximization on the natural logarithm of the likelihood function. Since the natural log function is one-to-one, it is easy to see that the λ that maximizes $L(\lambda)$ also maximizes $\ln(L(\lambda))$. For this purpose, we have

$$\ln(L(\lambda)) = \ln\left(\lambda^n \exp\left(-\lambda \sum_{i=1}^n x_i\right)\right) = n \ln(\lambda) - \lambda \sum_{i=1}^n x_i,$$

So that

$$\frac{d}{d\lambda} \ln(L(\lambda)) = \frac{d}{d\lambda} \left(n \ln(\lambda) - \lambda \sum_{i=1}^n x_i \right) = \frac{n}{\lambda} - \sum_{i=1}^n x_i \equiv 0.$$

Solving for the critical point (and doing a second-derivative test not illustrated here), we find that the MLE is $\hat{\lambda} = 1/\bar{x}$. This MLE makes sense since $E[X] = 1/\lambda$.

Remark: Perhaps surprisingly, even though we showed in section 3.2 that $\bar{x} = 1/\hat{\lambda}$ is unbiased for $E[X] = 1/\lambda$, it turns out that the MLE $\hat{\lambda}$ is slightly biased for λ . This is actually a minor drawback of unbiased estimation.

MLEs work well for discrete distributions as well.

Example: Suppose $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \sim^{iid} \text{Bern}(p)$. We will find the MLE for p . Since

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{with probability } p \\ 0 & \text{w.p. } 1 - p \end{cases},$$

we can write the probability mass function (p.m.f.) as



$$f(x) = p^x(1-p)^{1-x}, \quad x = 0, 1.$$

Thus, the likelihood function is

$$L(p) = \prod_{i=1}^n f(x_i) = \prod_{i=1}^n p^{x_i}(1-p)^{1-x_i} = p^{\sum_{i=1}^n x_i}(1-p)^{n-\sum_{i=1}^n x_i},$$

so that

$$\ln(L(p)) = \sum_{i=1}^n x_i \ln(p) + (n - \sum_{i=1}^n x_i) \ln(1-p).$$

Setting the derivative to 0 and solving for the critical point, we obtain the MLE $\hat{p} = \bar{x}$, which makes sense since $E[X] = p$.

MLEs can also be used to attack more-substantial examples. What follows is a normal distribution example in which we find MLEs for two parameters at once.

Example: Suppose $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \sim^{iid} \text{Nor}(\mu, \sigma^2)$. We will find the simultaneous MLE's for μ and σ^2 . The likelihood function is

$$L(\mu, \sigma^2) = \prod_{i=1}^n f(x_i) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{(x_i - \mu)^2}{\sigma^2}\right\} = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{n/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \mu)^2}{\sigma^2}\right\}.$$

This implies that

$$\ln(L(\mu, \sigma^2)) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2.$$

Thus, taking the partial derivative with respect to μ , we obtain

$$\frac{\partial}{\partial \mu} \ln(L(\mu, \sigma^2)) = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu) \equiv 0,$$

and so $\hat{\mu} = \bar{x}$ (which again makes sense).

We will now attempt similar manipulations for σ^2 , by taking the partial w/rt σ^2 (not σ),

$$\frac{\partial}{\partial \sigma^2} \ln(L(\mu, \sigma^2)) = -\frac{n}{2\sigma^2} + \frac{1}{2\sigma^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{\mu})^2 \equiv 0,$$

to eventually get



$$\widehat{\sigma^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}.$$

Remark: Notice how close $\widehat{\sigma^2}$ is to the (unbiased) sample variance

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{n}{n-1} \widehat{\sigma^2}$$

$\widehat{\sigma^2}$ is a little bit biased, but it has slightly less variance than σ^2 . In any case, as n gets big, S^2 and $\widehat{\sigma^2}$ become the same.

The MLEs for the normal distribution's two parameters μ and σ^2 are more-or-less uncoupled in such a way that the respective calculations were easy. That is not the case for the gamma distribution, which also has two parameters.

Example: The p.d.f. of the gamma distribution with parameters r and λ is

$$f(x) = \frac{\lambda^r}{\Gamma(r)} x^{r-1} e^{-\lambda x}, \quad x > 0.$$

Suppose $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \sim^{iid} \text{Gam}(r, \lambda)$. We will find the MLEs for r and λ .

$$L(r, \lambda) = \prod_{i=1}^n f(x_i) = \frac{\lambda^{nr}}{[\Gamma(r)]^n} \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{r-1} e^{-\lambda \sum_{i=1}^n x_i},$$

so that

$$\ln(L) = rn \ln(\lambda) - n \ln(\Gamma(r)) + (r-1) \ln \left(\prod_{i=1}^n x_i \right) - \lambda \sum_{i=1}^n x_i.$$

We first get the MLE of λ by setting

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \ln(L) = \frac{rn}{\lambda} - \sum_{i=1}^n x_i = 0,$$

And solving $\hat{\lambda} = \hat{r} / \bar{X}$. The difficulties start with \hat{r} , but we will try our best. Similar to the above work, we get

$$\frac{\partial}{\partial r} \ln(L) = n \ln(\lambda) - \frac{n}{\Gamma(r)} \frac{d}{dr} \Gamma(r) + \ln \left(\prod_{i=1}^n x_i \right) \equiv 0,$$

Where



$$\Psi(r) \equiv \Gamma'(r)/\Gamma(r)$$

is known as the digamma function. At this point, substitute in $\hat{\lambda} = \hat{r}/\bar{X}$, and use a computer (bisection, Newton's method, etc.) to search for the value of r that solves

$$n \ln(r/\bar{X}) - n\Psi(r) + \ln\left(\prod_i x_i\right) \equiv 0.$$

If the digamma function happens to be unavailable in your town, you can take advantage of the approximation (for any small h of your choosing)

$$\Gamma'(r) \approx \frac{\Gamma(r+h) - \Gamma(r)}{h}$$

Finally, an interesting example where calculus is not applied directly.

Example: Suppose $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \sim^{iid} \text{Unif}(0, \theta)$. We will find the MLE for θ . The p.d.f. is $f(x) = 1/\theta, 0 < x < \theta$, and so the likelihood function is

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i) = \begin{cases} 1/\theta^n & \text{if } 0 \leq x_i \leq \theta, \forall i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

In order to have $L(\theta) > 0$, we must have $0 \leq x_i \leq \theta, \forall i$. In other words, we must have $\theta \geq \max_i x_i$. Subject to this constraint, $L(\theta) = 1/\theta^n$ is maximized at the smallest possible θ value, namely, $\hat{\theta} = \max_i x_i$. This makes sense in light of the similar (unbiased) estimator, $T_2 = \frac{n+1}{n} \max_i X_i$, that we looked at previously.

All of our work so far on MLEs leads up to the *Invariance Property*, which allows us to use MLEs in extremely general ways, notably on the GOF tests that we will discuss in section 4.

Theorem (Invariance Property): If $\hat{\theta}$ is the MLE of some parameter θ , and $h(\cdot)$ is a reasonably well-behaved function, then $h(\hat{\theta})$ is the MLE of $h(\theta)$.

Example: Suppose $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \sim^{iid} \text{Bern}(p)$. Recall that the MLE of p is $\hat{p} = \bar{X}$ (which also happens to be unbiased). If we consider the function $h(\theta) = \theta^2$ (for $\theta > 0$), then the Invariance Property says that the MLE of p^2 is \bar{X}^2 .

Remark: Such a property does *not* hold for unbiasedness. For example, $E[\theta^2] = \theta^2$, but $E[\sqrt{S^2}] \neq \sigma$.

Example: Suppose $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \sim^{iid} \text{Nor}(\mu, \theta^2)$. We saw that the MLE for θ^2 is



$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

The good news is that the Invariance Property says that the MLE of σ is simply $\sqrt{\hat{\theta}^2}$.

And, finally, an example that has tremendous applications in survival analysis, where we are interested in whether or not an item will survive beyond a certain time.

Example: Suppose $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \sim^{iid} \text{Exp}(\lambda)$. We saw that the MLE for λ is $\hat{\lambda} = 1/\bar{X}$. Meanwhile, we define the *survival function* as $\bar{F}(x) = \text{Pr}(X > x) = 1 - F(x) = e^{-\lambda x}$. Then the Invariance Property says that the MLE of $\bar{F}(x)$ is $\widehat{\bar{F}}(x) = e^{-\lambda x} = e^{-x/\bar{X}}$.

Remark: Another rich class of estimators arise from the *method of moments* (MoM). We are nothing without our MoMs, but space limitations prevent further exposition on that subject; see Hines et al. (2003).

4. GOODNESS-OF-FIT TESTS

At this point, we have ostensibly guessed a reasonable distribution and then estimated the relevant parameters. Now it is time to conduct a formal test to see just how successful our toils have been. In particular, test

$$H_0 : X_1, X_2, \dots, X_n \stackrel{iid}{\sim} \text{p.m.f. / p.d.f. } f(x)$$

at level of significance

$$\alpha \equiv \text{Pr}(\text{Reject } H_0 | H_0 \text{ true}) = \text{Pr}(\text{Type I error}) \text{ (usually, } \alpha = 0.05 \text{ or } 0.01).$$

Here is a high-level view of a typical goodness-of-fit (GOF) test procedure:

1. Divide the domain of $f(x)$ into k sets, say, A_1, A_2, \dots, A_k (distinct points if X is discrete or intervals if X is continuous).
2. Tally the actual number of observations that fall in each set, say, $O_i = 1, 2, \dots, k$. If $p_i \equiv \text{Pr}(X \in A_i)$, then $O_i \sim \text{Bin}(n, p_i)$.
3. Determine the expected number of observations that would fall in each set if H_0 were true, say, $E_i = E[O_i] = np_i, i = 1, 2, \dots, k$.
4. Calculate a test statistic based on the differences between the E_i 's and O_i 's. The *chi-squared* GOF test statistic is $\chi_0^2 \equiv \sum_{i=1}^k (O_i - E_i)^2 / E_i$.
5. A large value of χ_0^2 indicates a bad fit. If $\chi_0^2 > \chi_{\alpha, k-1-s}^2$, we reject H_0 , where s is the number of unknown parameters from $f(x)$ that have to be estimated (e.g., if $X \sim \text{Nor}(\mu, \sigma^2)$, then $s = 2$), and $\chi_{\alpha, v}^2$ is the $(1 - \alpha)$ quantile of the χ_v^2 distribution, i.e., $\text{Pr}(\chi_v^2 < \chi_{\alpha, v}^2) = 1 - \alpha$. Otherwise, if $\chi_0^2 \leq \chi_{\alpha, k-1-s}^2$, we fail to reject H_0 .



Remarks: For the χ^2 GOF test to work, the usual rule of thumb is to pick k, n such that $E_i \geq 5$ and n at least 30. In addition, there are many other GOF tests out there: Kolmogorov–Smirnov, Anderson–Darling, Shapiro–Wilk, etc.

Some examples illustrate the mechanics of the χ^2 test.

Example: Test $H_0: X_i$'s are Unif(0,1). Suppose we have $n = 1000$ observations divided into $k = 5$ intervals

interval	[0,0.2]	(0.2,0.4]	(0.4,0.6]	(0.6,0.8]	(0.8,1.0]
E_i	200	200	200	200	200
O_i	179	208	222	199	192

An easy calculation reveals that

$$\chi_0^2 \equiv \sum_{i=1}^k (O_i - E_i)^2 / E_i = 5.27.$$

Suppose we take $\alpha = 0.05$. Since there are no unknown parameters, we have $s = 0$, and so $\chi_{\alpha, k-1-s}^2 = \chi_{0.05, 4}^2 = 9.49$.

Since $\chi_0^2 \leq \chi_{\alpha, k-1-s}^2$, we fail to reject H_0 , and thus grudgingly regard the X_i 's as Unif(0,1).

Example: The number of defects in printed circuit boards is hypothesized to follow a Geometric(p) distribution, for which the p.m.f. $f(x) = (1 - p)^{x-1} p, x = 1, 2, \dots$ A random sample of $n = 70$ printed boards has been collected, and the number of defects observed.

# defects	frequency
1	34
2	18
3	2
4	9
5	7
70	

We assume that p is unknown and must be estimated. It turns out that the MLE of p (not derived here) is

$$\hat{p} = \frac{1}{\bar{X}} = \frac{70}{1(34) + 2(18) + 3(2) + 4(9) + 5(7)} = 0.476.$$

In order to get the GOF test statistic, χ_0^2 , we have prepared the following table, assuming $\hat{p} = 0.476$ is correct. By the Invariance Property of MLEs, the expected number of boards having a certain value x is $E_x = nPr(X = x) = n(1 - \hat{p})^{x-1} \hat{p}$. Note that we have combined the entries



in the last two rows (≥ 4) so that (i) the probabilities add up to one, and (ii) all rows have $E_x \geq 5$ as per our recommendations.

x	$\Pr(X = x)$	E_x	O_x
1	0.4762	33.33	34
2	0.2494	17.46	18
3	0.1307	9.15	2
≥ 4	0.1436	10.06	16
	1.0000	70	70

Thus, the resulting test statistic is

$$\chi_0^2 = \sum_{x=1}^4 \frac{(E_x - O_x)^2}{E_x} = \frac{(33.33 - 34)^2}{33.33} + \dots = 9.12.$$

Let $k = 4$ denote the number of cells (that we ultimately ended up with), and let $s = 1$ denote the number of parameters we had to estimate. Suppose the level $\alpha = 0.05$. Then we compare χ_0^2 against $\chi_{\alpha, k-1-s}^2 = \chi_{0.05, 2}^2 = 5.99 = 5.99$. Since $\chi_0^2 \leq \chi_{\alpha, k-1-s}^2$, we reject H_0 . This means that the number of defects probably is not geometric.

Continuous Distributions: For the continuous case, we denote the intervals $A_i \equiv (a_{i-1}, a_i]$, $i = 1, 2, \dots, k$. For convenience, we choose the a_i 's to ensure that we have equal-probability intervals, i.e.,

$$p_i = \Pr(X \in A_i) = \Pr(a_{i-1} < X \leq a_i) = 1/k \quad \text{for all } i.$$

Then we immediately have $E_i = n/k$ for all i , so that

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - (n/k))^2}{n/k}.$$

The issue is that the a_i 's might depend on unknown parameters.

Example: Suppose that we are interested in fitting a distribution to a series of interarrival times. Could they be *exponential*, i.e., $H_0: x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \sim^{iid} \text{Exp}(\lambda)$. We will conduct a χ^2 GOF test with *equal-probability intervals*. This amounts to choosing a_i 's such that

$$F(a_i) = \Pr(X \leq a_i) = 1 - e^{-\lambda a_i} = i/k, \quad i = 1, 2, \dots, k.$$

That is,

$$a_i = -(1/\lambda) \ln(1 - \frac{i}{k}), \quad i = 1, 2, \dots, k.$$



Since λ is unknown, we will use the MLE $\hat{\lambda} = 1/\bar{X}$ thoughtfully provided in section 3.4. Thus, by the Invariance Property, the MLEs of the a_i 's are

$$\hat{a}_i = -\frac{1}{\hat{\lambda}} \ln\left(1 - \frac{i}{k}\right) = -\bar{X} \ln\left(1 - \frac{i}{k}\right), \quad i = 1, 2, \dots, k.$$

Example (continued): Suppose that we take $n = 100$ observations and divide them into $k = 5$ equal-prob intervals. Further suppose that the sample mean based on the 100 observations is $\bar{X} = 9.0$, so that the MLEs for the interval endpoints are given by $\hat{a}_i = -9.0 \ln(1 - 0.2i)$, $i = 1, 2, \dots, 5$. We determine which interval each of the 100 observations belongs to and tally them up to get the O_i 's.

interval $(\hat{a}_{i-1}, \hat{a}_i]$	O_i	$E_i = n/k$
(0, 2.01]	25	20
(2.01, 4.60]	27	20
(4.60, 8.25]	23	20
(8.25, 14.48]	13	20
(14.48, ∞)	12	20
	100	100

Easy calculations give $\chi_0^2 = 9.80$ and $\chi_{\alpha, k-1-s}^2 = \chi_{0.05, 3}^2 = 7.81$, where $s = 1$ to take to account the fact that we had to estimate λ . In any case, $\chi_0^2 \leq \chi_{\alpha, k-1-s}^2$, so we reject the exponential hypothesis.

See Banks et al. (2010) for χ^2 GOF examples involving more-complicated distributions such as the Weibull, which the present paper does not have room to include.

Kolmogorov-Smirnov Test: There are plenty of GOF tests that can be used instead of a χ^2 test. The K-S test is one that works well in arbitrary, low-data situations. We test

$$H_0 : X_1, X_2, \dots, X_n \stackrel{\text{iid}}{\sim} \text{some distribution with c.d.f. } F(x).$$

To carry out this test, we define the empirical c.d.f. (aka the sample c.d.f.) of the data, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, by

$$\hat{F}_n(x) \equiv \frac{\text{number of } X_i\text{'s} \leq x}{n}.$$

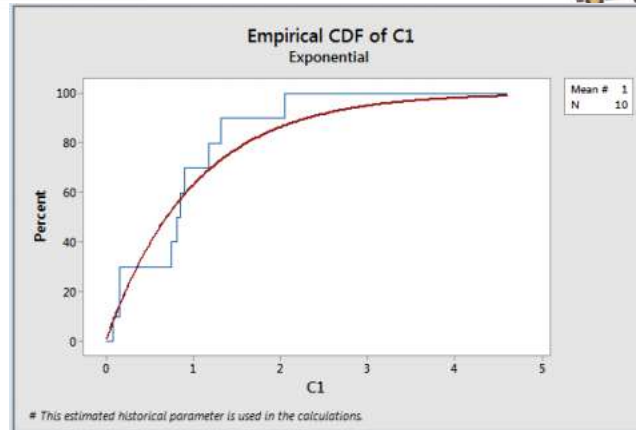


Figure 2. Empirical and fitted distributions arising from 10 Exp(1) observations.

Note that $\hat{F}_n(x)$ is a step function with jumps of height $1/n$ (every time an observation occurs). For example, Figure 2 gives the empirical c.d.f. of 10 Exp(1) observations that we generated (along with the Exp(1) c.d.f.).

As alluded to earlier, the Glivenko-Cantelli Theorem says that $\hat{F}_n(x) \rightarrow F(x)$ for all x as $n \rightarrow \infty$. So if H_0 is true, then $\hat{F}_n(x)$ should be a good approximation to the true c.d.f., $F(x)$, for large n . The main question is therefore: Does the empirical distribution actually support the assumption that H_0 is true?

The K-S test rejects H_0 if

$$D \equiv \max_{x \in \mathbb{R}} |F(x) - \hat{F}_n(x)| > D_{\alpha, n},$$

where α is the level of significance, and $D_{\alpha, n}$ is a K-S quantile that depends on the hypothesized $F(x)$.

5. INPUT MODELING CHALLENGES

Nobody likes to talk about them, but every family has problem children. One might think that with so much available theory, we could always find good distributions to fit our data. Not exactly. Here are some cases that we have to be especially careful about: little/no data (section 5.1), data that does not look like one of the usual distributions (section 5.2), nonstationary data (from distributions that change over time) (section 5.3), and multivariate/correlated data (section 5.4).



5.1. Little/No Data

This issue turns up more often than we would expect. There could literally be no data available, or the data that you have is poor (impossible values, not cleaned properly, etc.). There are no great options, but here are some suggestions about what to do.

- Interview so-called “experts.”
 - Try to at least get minimum, maximum, and “most likely” distribution values out of them — then we can guess uniform or triangular distributions.
 - Getting quantiles is even better, e.g., by what time do about 90% of the components fail?
 - At least discuss the nature of the observations.
- If we have some idea about the nature of the RVs, then we might be able to make a good guess about the distribution. —
 - Discrete or continuous?
 - Are observations successes/failures? Then think Bernoulli, binomial, geometric, etc.
 - Do observations adhere to Poisson assumptions? Then Poisson (if we are counting arrivals) or exponential (interarrival times).
 - Are observations averages or sums? Then perhaps the normal distribution applies.
 - Are observations bounded? Then think beta.
 - Reliability or job times? Maybe gamma, Weibull, lognormal, etc.
 - Can we think of anything else from the physical characteristics underlying the RV?
 -

5.2. Nonstandard/Mixture Distributions

To illustrate, Figure 3 depicts a forced marriage of two normals — most distribution-fitting computer packages are unable to pick this up or fit it properly.

- We can attempt to model this data as a *mixture* of reasonable distributions.
- Or we can simply sample from the empirical distribution or a smoothed version of the empirical. This is a form of *bootstrapping*.

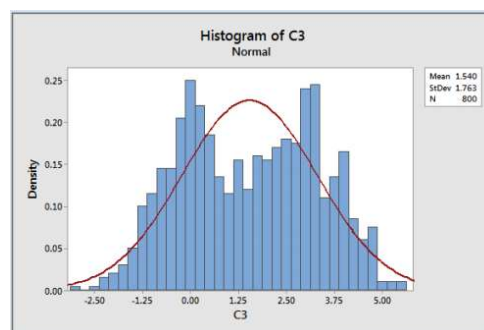


Figure 3. Histogram of a mixture distribution.



5.3. Nonstationary Data

Arrival rates change over time — think restaurants, traffic on the highway, call center activity, seasonal demands for a product. You *must* take this variability into account, else GIGO!

- Suggestion: Use a nonhomogeneous Poisson process (NHPP), where the arrival rate changes over time (but then we need to model the rate function properly).
- Some simulation packages, e.g., Arena, use a piecewise-constant rate function; so specify a constant arrival rate for each separate period.

5.4. Multivariate/Correlated

Data Data do not have to be i.i.d.! What if data is multivariate and/or serially correlated in time? Examples:

- Multivariate RVs — A person's height and weight are correlated.
- Serially correlated examples such as monthly unemployment rates; arrivals to a social media site may be correlated if an interesting item appears there and the public gets wind of it; a badly damaged part may require more service than usual at a series of stations; if a server gets tired, his subsequent service times may be longer than usual.

What can we do about this type of difficult data?

- Identify multivariate/serial correlation situations.
 - Propose appropriate models. Examples: Multivariate normal for heights and weights.
 - Time series models for serial correlation, e.g., autoregressive-moving average ARMA(p,q).
- Estimate relevant parameters (easier said than done). Examples:
 - Multivariate normal: Marginal means/variances (no big deal) plus covariances (not so easy).
 - Time series: For simple models like the AR(1), estimating the relevant parameters is straightforward; but parameters for more-complicated models need to be estimated using available software, e.g., Box-Jenkins technology.
- Validate to see if the estimated model is actually reasonably good.
- Alternative: One can bootstrap (re-sample) from an empirical distribution if there is enough data.

6. THE FUTURE

This article has discussed issues and consequences related to simulation input modeling. The problems are challenging, but the future holds a great deal of promise. For instance, many



simulation and statistics packages have reasonable plug-and-play distribution-fitting applications: Arena’s Input Analyzer delivers the “best” fit distribution from its library, along with relevant sample and GOF statistics; the ExpertFit package is a specialty product that does distribution fitting with a larger library of distributions; Minitab and R have distribution fitting functionality, though not quite as convenient as the previously mentioned tools.

As we gain the ability to improve input models, we will be able to do more with our simulations. For instance, if we have excellent knowledge of aircraft failure times and/or the relevant supply chain, we may be able to use *predictive analytics* and *machine learning techniques* to schedule maintenance earlier or later than that prescribed by the supplier (Figure 4). As an example, suppose that a plane has been used on fewer missions than usual over the last six months, but has otherwise been kept in great condition — might it be possible to temporarily postpone maintenance so that it can carry out another short mission? Or can we simulate anticipated issues in the supply chain ahead of time so as to assess potential consequences? For example, what happens to our nation’s health if the influenza vaccine manufacturing process suffers slowdowns or bad batches (as it occasionally does)?

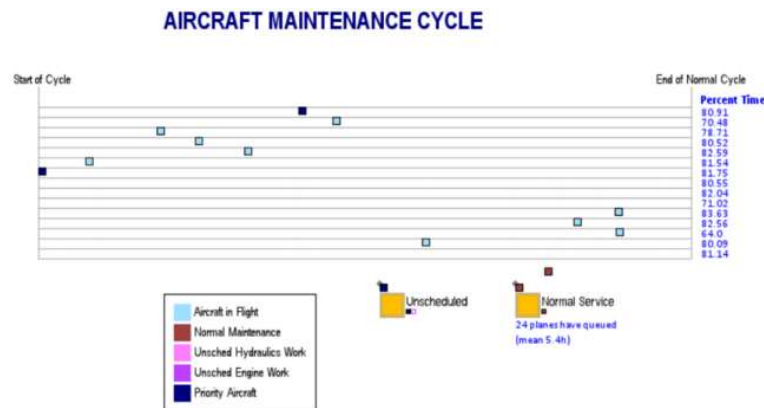


Figure 4. Simulating the aircraft maintenance cycle.

REFERENCES

- Banks, J., J. S. Carson, B. L. Nelson, and D. M. Nicol. 2010. *Discrete-Event System Simulation*. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Hines, W. W., D. C. Montgomery, D. Goldsman, and C. M. Borror. 2003. *Probability and Statistics in Engineering*. 4th ed. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Law, A. M. 2014. *Simulation Modeling and Analysis*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
- Law, A. M. 2016. “A Tutorial on How to Select Simulation Input Probability Distributions”. In *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, edited by T. M. K. Roeder, P. I.



Frazier, R. Szechtman, E. Zhou, T. Huschka, and S. E. Chick, 103–117. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

White, K. P., and R. G. Ingalls. 2018. “The Basics of Simulation”. In *Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference*, edited by M. Rabe, A. A. Juan, N. Mustafee, A. Skoogh, S. Jain, and B. Johansson, 147–161. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

AUTHOR BIOGRAPHIES

JOHN-PAUL CLARKE is a College of Engineering Dean’s Professor in the H. Milton Stewart School of Industrial and Systems Engineering, with a joint appointment in the Daniel Guggenheim School of Aerospace Engineering He is also Director of Georgia Tech’s Air Transportation Laboratory. His research focuses on the development and use of stochastic models and optimization algorithms to improve the efficiency and robustness of aircraft, airline, airport, and air traffic operations. John-Paul is a Fellow of the American Institute of Aeronautics and Astronautics and is a member of AGIFORS, INFORMS, and Sigma Xi. His e-mail address is johnpaul@gatech.edu.

DAVID GOLDSMAN is a Professor and Director of Master’s Programs in the H. Milton Stewart School of Industrial and Systems Engineering at the Georgia Institute of Technology. His research interests include simulation output analysis, ranking and selection, and healthcare simulation. He has published numerous papers in archival journals, and engages in a great deal of editorial and conference organizational work. He is also active with regard to STEM outreach with respect to Operations Research and Industrial Engineering. Dave is a Fellow of the Institute of Industrial and Systems Engineers. His e-mail address is sman@gatech.edu, and his Web page is www.isye.gatech.edu/~sman.

PAUL GOLDSMAN received his Ph.D. from the School of Industrial and Systems Engineering at the Georgia Institute of Technology. His research interests lie in applications of simulation, supply chains, and logistics systems. His e-mail address is pgoldsm@gmail.com.



La Gestión del Riesgo y la Gerencia de la Cadena de Abastecimiento



CAPÍTULO II HERRAMIENTAS PARA EL SOPORTE LOGÍSTICO

STRATEGIES AND CHANGES IN THE DIGITAL TRANSFORMATION FOR THE IN-SERVICE SUPPORT (ISS) IN THE AEROSPACE WEAPONS SYSTEMS

Manuel A. Fernández-Villacañas Marín

PhD Researcher, International Consultant in Logistics & Management and Director of Consulting M&M Planning and Project Management. Colonel of the Spanish Air Force (R). Associate professor of the Higher Technical School of Aeronautical and Space Engineering, Technical University of Madrid. Spain

ABSTRACT

The transformation that the logistic systems are experiencing as a result of the digital revolution, requires a complete organizational, cultural and strategic reinvention, which in the defense and security sector affects both the military and police forces and all the participating companies in the same. Since last decade, the international community has been affected for the generation of a New World Order that in the defense and security sector has conditioned the establishment of new general requirements to concretize the strategic concept of support of weapons systems. Based on these new requirements the Air Forces in particular will have to manage the aerospace operations to respond to the risks and threats, both in current and future terms, of the new international defense and security paradigm. This translates into the need to assume the permanent transformation of the models and processes of integrated logistic support (ILS) and in-service support (ISS) which guarantees the viability and sustainability of aerospace operations. The paper analyzes the most significant conceptual elements of what is the application of the new logistics 4.0 represents in the defense and security sector. It also explores the possible strategic changes that are considered necessary to be introduced in-to the aeronautical logistics in order to carry out the transformation of ISS of aerospace weapons systems, in view of the foreseeable exponential digital technological evolution.

Keywords: New logistics 4.0, aerospace logistics, integrated logistics support ILS, in-service support ISS, aerospace defense industry.

1. INTRODUCTION

The current global security scenario, which is undergoing constant transformation and where risks can only be assumed collectively, requires an ever-increasing use of the military apparatus and one that is profoundly adapted. It is necessary to face up to a set of certain risks, which in the



framework of the New World Order, barely involves the usual threat of territorial invasion and firmly implies the presence of a new and diverse set of threats. These include international terrorism, cyber attacks, corruption, drug trafficking and international arms trafficking, global organized crime, or the trafficking of human beings, which are supported by anonymous groups willing to achieve their objectives at the expense of international social insecurity and destabilization (Fernández-Villacañas VII, 2017).

Under this new scenario, the strategic that will guide the development of new operational concepts and the acquisition of new military and police capabilities, is based on three key premises. Firstly, that the present and future strategic environment is uncertain, complex and conflictive. Secondly, that no crisis can be resolved satisfactorily with the isolated use of military or police means, which must be combined and integrated with other initiatives of a civil, political, economic, humanitarian or informative nature. Finally, the military and police forces need to have a balanced and adequate catalogue of capabilities, both for conventional conflicts as well as for irregular and hybrid combat against new risks and threats. As a result, the response of the Nations, in addition to the traditional defense and security capabilities, has integrated and needs to continue integrating new ones, in an approach in which the "source of military-police advantage" is that of technology and economic-logistic capacity (García Arnáiz, 2017).

In recent years, the military forces of all Western countries have been undergoing a profound process of trans-formation and adjustment to the major changes that have taken place in their environment. The perspective of a globalized world constitutes the framework of economic relations that generate wealth and progress for the nations. However, this framework is incompatible with the serious alterations affecting international stability that have recently been provoked. In addition, modern post-industrial societies have interests in whose guarantee many of them coincide. In the last few decades there has been an evolution from a concept of territorial defense to one of collective deterrence, which has finally led to a phase in which defense is also conceived as a projection of stability. The coexistence under the mantle of globalization of the two worlds, one which is advanced and stable and the other retarded and violent, compromises those who enjoy the peace and security of the former with those who lack the necessary stability in the latter in order to attend to their most basic needs of subsistence, coexistence and well-being. Governments have a sense of the need to guarantee global stability, because it is the peace and prosperity of their nations that are at stake.

The general design of the support system that the Air Forces would need to have in order to respond, both in current and future terms, to the new international defense and security paradigm that has been described, should generally conform to the following requirements (Fernández-Villacañas VI, 2011):



- To ensure the sustainability of their weapons systems and improve their availability in accordance to their assigned national and international mission in the short, medium and long term.
- Be equipped with a logistics system capable of generating sustainability in a highly uncertain geo-strategic environment, as well as risks and threats that are generated in the short term and that demand the capacity to project peace and security immediately in remote and different operation scenarios.
- Increase the efficiency within the support system, by optimizing the resources available in a scenario involving shortages, by avoiding internal duplicity as well as between the air forces and the defense and security industry as far as possible, by reducing support costs and their risks, as well as by minimizing the investments required.
- To maximize profit from the excess logistic capacities over the internal demand of support related ser-vices, by means of commercial exploitation regarding the different existing resources of infrastructures, technology and knowledge, capital goods and personnel.
- Improving the air force's logistical response in a highly evolving, highly obsolescent and complex techno-logical environment, whereby the involvement of the defense and security industry is becoming increasingly essential.
- To be equipped with logistic systems that are strongly competitive in national and international spheres both in terms of their public, private or public-private conception.

To progress from the implementation of inorganic sustainability solutions, by means of traditional outsourcing to the companies in an environment of limited public budgets, to the preferential implementation of organic solutions and public-private cooperation formulas. Likewise, ensuring the possible reversibility of the outsourcing process in the event of it being necessary to apply.

In accordance to the new framework and requirements described above, operations involving In-service sup-port (ISS) of weapons systems, which are those that guarantee the viability and sustainability of military and police force operations, are becoming increasingly critical due to the vast amount of human, financial and material resources used, as well as their impact on operational availability. The presence of weapons systems based on increasingly complex technologies and the necessarily expeditionary nature of these forces (they must be projectable, flexible, interoperable and fully suitable for joint and combined action) makes it essential to develop a strategy for optimizing their sustainability. The development of a systemic technological concept is necessary through the integration of the functions of procurement, transport, maintenance, life cycle engineering and deployment of weapons systems at all levels of performance and sophistication. This integration must also be consistent with digital transformation initiatives and the incorporation of their disruptive technologies, both those that are currently available and those which will in the future correspond to a foreseeable exponential technological development.



The progression since the last decade in most nations regarding the production factors of the sustaining services of aerospace weapons systems has resulted in the current aerospace logistics system, which is generically characterized by three main factors (Fernández-Villacañas V, 2009):

- In the first place, due to the decrease of its organic productive capacity through the progressive deterioration of the productive fabric, especially due to the loss of qualification of human resources.
- Secondly, because of the increased need for support due to the arrival in service of new weapons systems characterized by greater technological complexity, as well as achieving the end of their life cycle of some very old systems that are still in service and difficult to replace.
- And finally, owing to both increases in maintenance costs and reduced budgetary resources, surrounded by continuous budgetary adjustments caused by public deficit reductions, the shortage has to be compensated by a significant increase in the workload which needs to be diverted to specialized national and international companies, due to the lack of organic capacity for maintenance, which is significantly more burdensome economically.

The combined effect of the foregoing factors, together with the need to avoid a reduction in the quality that could jeopardize the safety of air operations, is reflected in the delay regarding the execution of the work, resulting in a progressive deterioration in operational availability. However, it is paradoxical that the organic logistics and MRO (Maintenance, Repair and Overhaul) centers have a clear unused surplus of certain capacities that can be valued and made profitable.

1.1. Objectives, methodology and contents

Taking into account these requirements, the work aims to reflect on the most significant conceptual elements of what the application of the new logistics 4.0 represents in the defense and security sector (see Romero, 2018). It also aims to generically explore the possible organizational, cultural and above all strategic changes that are considered necessary to be introduced into the aeronautical logistics so as to carry out the transformation of the In Service Support (ISS) of aerospace weapons systems within the foreseeable exponential digital technological evolution.

In relation to the methodology, the research has been developed under a systemic conception through a systematized deductive process (Top-Down) that is complemented by empirical evidences based on the author's logistical and research experience and the evolution of his professional maturity, such as it is included in the cited bibliography of said author from 2007 to 2019 (Bottom-Up). The rest of the bibliographic review has served to synthesize the essential concepts and approaches on the investigated problem, reviewing all this with a level of detail that is considered sufficient, looking for its original aspects to guarantee objectivity and avoid interpretive biases.

In order to achieve the objectives, the work has been structured in two sections, after which conclusions are synthesized. In the first section, the conceptual development of the new logistics 4.0 is analyzed, initially studying the concept of the new logistics as a source of competitiveness and sustainability, to later address the digital transformation of it. In the second section, the digital transformation of the In-Service Support (ISS) phase with-in the Integrated Logistic Support (ILS) is analyzed, reviewing thirteen strategic concepts that should guide this transformation so that, taking into account the enabling disruptive technologies, and in order to reduce the gap between its implementation in the companies of the defense and security sector, and the military and police aero-space structures.

2. THE CONCEPTUAL DEVELOPMENT OF NEW LOGISTICS 4.0

2.1. The New Logistics: Creating Competitiveness and Sustainable Global Development

As is well known, the globalization phenomenon has generated a dramatic and noticeable change in the commercial structures of organizations, promoting a new global strategic mentality that tries to confront new competitors as well as the search for new markets. All these factors have led to the development of the logistics function as an essential support to meet the increasingly demanding needs of customers at an international level. In an increasingly global, dynamic, complex and uncertain environment, the logistics which started with a very limited functional definition, has experienced rapid growth and evolution in almost all industrial sectors, including defense and security. Therefore, it has become an essential element of business strategy, contributing to a main source of competitive advantage and giving rise to the polysemic and multifaceted development of the so-called new logistics.

The strategic development of this new logistics is based on a series of previous concepts. First of all, it is necessary to refer to sustainable global logistics (Fernández-Villacañas IV, 2008) and supply chain management. This is defined as a strategy for the transparent integration of the organization's social, environmental and eco-nomic objectives, within the coordination system of the main inter-organizational business processes, to improve the long-term economic results of each company as well as its supply chains (Carter & Rogers, 2008). The sustainability concept, which had been related by many socio-economic factors on an exclusive basis to respectful environmental practices, evolved to include other dimensions such as responsibility and ethics of social behavior, new consumer demands or sustainable economic well-being, comprehensively understood in terms of the analysis of international competitiveness. Consequently, many multinational companies have reviewed their manufacturing processes and the configurations of their logistics chains based on these approaches. Nevertheless, it is still necessary to continue the rigorous academic debate of applicable multidisciplinary science within the government. According to Professor Andy Hoffman (2006) from the University of Michigan, sustainability is not a projectable value, it is not CSR and it is not an aspiration. It is a real market pressure. In addition, the answer to that constraint will mean success and good management in the 21st century.



In this context, the new logistics are based on the well-known conceptual transition from the push approach to the pull approach, from a strategic supply perspective to a demand perspective, by developing new logistics models that are more efficient, sustainable, intelligent, agile, adaptable, scalable as well as resilient.

On the other hand, the response to the new determining factors of the global environment has also involved changes in the relationships of the companies regarding their suppliers and their clients. Both of these groups are increasingly heterogeneous and are moving from a view that was centered on the reduction of supply, storage, distribution and waste costs, towards another focused on consumers. The latter, seeks to be more flexible regarding their requirements, by systematically improving service levels, applying technology, managing supply chains in an integrated way - not only with minimal costs but also with minimal risks - promoting competition and in-novation, as well as creating and managing global value networks. In other words, beyond the supply chain in which the consumer is the last link, a complex and dense network of socio-economic "actors" can be identified, which are focused on the consumer and woven by information and communication. In this network, the consumer adopts the role of a judge who constantly evaluates the activities of all the "actors" involved thus deciding for his consumption and purchase those he considers best meet his needs (Fernández-Villacañas VIII, 2018).

The new logistics is based on a conceptual transition from a "push" approach to a "pull" approach, developing new logistic models that are more efficient, sustainable, intelligent, agile, adaptable, scalable and resilient. The following figure summarizes the main aspects of traditional logistics and its evolution to the new logistics (Fernández-Villacañas VIII, 2018).

THE TRADITIONAL LOGISTICS	THE NEW LOGISTICS
Competition for price	Competition for service
Transportation of large lots, rare	Transport of smaller and more frequent lots
Supply type push, driven by the offer	Supply type pull, driven by demand
Existence of large inventories	Inventory zero (just in time)
Focus on business by contracts	Focus on the integration of processes, with the use of ICTs for coordination and control
Distribution networks organized at multiple levels with reduced areas of influence	Global networks of logistics platforms and integrated distribution centers
Producers and marketers with their own organization, including transportation	Outsourcing to logistics operators (3PL and above), focus of the entrepreneur on activities of greater added value
Provision and sales focused on the country itself	Globalization of suppliers and customers
Low environmental awareness	Greater environmental awareness, circular economy and reverse logistics

Figure 1. The Traditional Logistics Vs the New Logistics. Source: Fernández-Villacañas VIII, 2018.

2.2. The New Logistics 4.0: Transforming New Logistics to the Digital Field

Digital transformation can be conceptually defined as the process of organizational, cultural and strategic re-invention not only of companies but also of public entities. This is necessary for the comprehensive application of the technology that we call digital, which generates, processes, stores and uses data, information and intelligence, to improve its performance as well as its capacity to adapt quickly to disruptive or radical changes generated in the environment (Fernández-Villacañas VIII, 2018).

Although information technology marked a cyclopean advance in the atomization of processes, and the later connection of the equipment between them, generated the creation of an enormous capacity for processing, transmission of information and generation of intelligence, the digital has multiplied with an exponential order of magnitude the connectivity of all public and private entities, including citizens. The response in the business world has led to the emergence of initiatives called the "Factory of the Future", "The Intelligent Factory" or "Industry 4.0" that result in a new integrated production scenario through the incorporation of innovative solutions, optimizing and connecting production, logistics, commercial and management processes (Borda, 2016). In fact, the inclusion of digital technologies and the transformation induced by them define what has come to be called the Fourth Industrial Revolution. Thus, globalization, the universalization of the use of the Internet, the full automation of processes and the digitalization of information have all given rise to an authentic Industrial Revolution in which the hybridization of the physical and digital world is taking place. That is to say, products, machines, tools, factories, warehouses and vehicles are interconnected to each other and work automatically, an interconnection of all the elements of the value chain that is becoming intelligent and that is giving rise, as the new logistics, to the creation of real networks centered on customers (Navarro & Sabalza, 2016). Consequently, the environment is changing, interdependent, competitive, global, hybrid and hyper-connected. The result of all this will allow us to achieve immediate responses in decision making based on information captured in real time, through intelligent systems and processes, without variability, without errors, with full traceability in the process chains and total sustainability.

Under this new paradigm, the concept of logistics 4.0 transcends and emerges thanks to its importance, developing and assuming the concepts of the new logistics, and integrating both denominations, the new logistics 4.0. Logistics, as a key element of global economic activity, cannot remain on the sidelines. The underlying implication of the intelligent factory is that manufacturing plants, as opposed to a more traditional centralizing system based on the search for economies of scale-by-volume, are now considering an intelligent global delocalization based on specialization and synergies. This has led to the creation of different structures far from interconnected production units, which will mean that raw materials, semi-processed products and components require full mobility, perfectly synchronized and guaranteed, participating in global networks of supply and intra-industrial trade.



On the other hand, product lifecycles in international markets that tend to shrink continuously generate variations of their demands that are increasingly difficult to estimate and require a very active participation of a growing number of participants in global value networks. This makes it necessary to have greater connectivity and integration between all links in global supply and distribution chains, with great capacity for aggregation of real-time automatic estimation data and Data Science systems to assist decision-making processes.

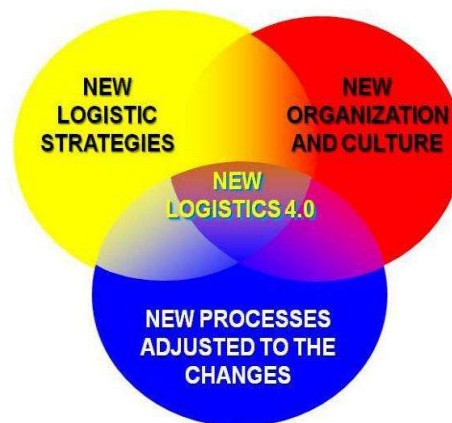


Figure 2. Dimensions of the transformation towards the new logistics 4.0. Source: Fernández-Villacañas VIII, 2018.

In other words, the new logistics 4.0 involves the optimization and connection of all the elements and processes of the supply and distribution networks. This should lead to improvements in the effectiveness and efficiency of the management of orders and shipments, an individual customer-oriented manufacturing that demands more personalized offers, geolocation of customers, simultaneous multimodal omnicanality and optimization of global routes, full adaptability, full international traceability of goods, reduction of stock and necessary storage space, automation of payments, and so forth. The main objective is to link both the physical and virtual worlds in order to make the industry, logistics and markets more intelligent, in order to achieve a model whereby innovation is collaborative, the productive means are connected, supply chains are integrated, and distribution and customer service channels are digital. In other words, integration, holistic vision, coherence, collaboration, innovation and flexibility are key concepts which support the development of the new logistics 4.0. This will require the development of a new logistics strategy, the design of a new organization and the management of the change towards a new digital culture, as well as the implementation of new methodologies and processes within the framework of the progressive incorporation of both current and future digital tools and technologies. (Fernández-Villacañas VIII, 2018).

The future development of the new logistics has shaped the theory of Physical Internet (Montreuil & Meller & Ballot, 2010), which has been adopted both in the United States and in the European Union as a conceptual objective of logistics for 2050. It involves achieving an open global logistics system, based on physical, digital and operational interconnectivity, through encapsulation, interfaces and protocol design, in order to move, store, perform, provide and use physical objects throughout the world in an economically, environmentally and social-ly efficient and sustainable manner. This approach aims to eliminate existing inefficiencies within global transport and waste management logistics networks, in a similar way to what the Internet posed globally for information flows. In order to implement this initiative, it will be necessary to create an open market for the transport of goods, with shared, open and adaptable distribution chains, whereby products will be transported in modular, standardized and intelligent containers that allow each unit to be followed and monitored. To do this, it will be necessary to reach a maximum level of global collaboration, redefining the competitive space, taking the logistics processes out of it, and taking it only to the points of sale where customers define the market shares of each product (Montreuil, 2011).

Finally, it is necessary to emphasize that this new digital culture and logistics will have to on the one hand, assume the development of a new holistic style of humanitarian leadership. On the other hand, it would need to have a permanent capacity for digital leadership that can ensure the most critical element for the success of the evolution analyzed, that it collaborates and is fully involved, in other words, the human factor (Borda, 2018).

3. THE IN SERVICE SUPPORT (ISS) DIGITAL TRANSFORMATION WITHIN THE INTEGRATED LOGISTIC SUPPORT (ILS)

To begin with, Integrated logistics Support (ILS) in the aerospace field is an integrated and iterative process for developing materiel and a support strategy that optimizes functional support, leverages existing resources, and guides the system engineering process to lower life cycle cost and decreases the demand for logistics, making the system easier to support. In general, ILS plans and directs the identification / definition and development of logistics support and system requirements for military systems, with the goal of creating systems that last longer and require less support, thereby reducing costs and increasing return on investments. ILS therefore, addresses these aspects of supportability not only during acquisition, but also throughout the operational life cycle of the system (Frosst, 2012). The impact of ILS is often measured in terms of metrics such as reliability, availability, maintainability and testability, and sometimes system safety (see Ramarosan & Torres & Heckel, 2013).

At a very high level, ILS includes the development of the different activities within the Life Cycle (see García Vaca, 2018). Although all of these activities are important in the aerospace field, it is necessary to highlight some that are especially critical at the present time and in the future. These include, Life Cycle Cost Analysis (LCCA) and Logistic Support Analysis (LSA) with an analytical approach to determining integrated support needs; manpower and personnel planning and management; development of a whole life training program and associated training materials and systems;



obsolescence management and the plan for supporting technologies embedded in the fleet with a long-term approach given the very rapid changes in those technologies and products; facilities planning; repair and overhaul planning; development of a supply chain for essential spares, services, special tools and test equipment; definition of packaging, handling, storage and transportation requirements which can be very complex and expensive; environmental health and safety planning and management; reliability engineering; maintainability engineering and maintenance planning preventive, predictive and corrective; disposal planning; and above all the needs for information and communication technologies and data science systems.

The complexity and scope of ILS programs varies from fleet to fleet and between nations. ILS should start at the early stages of design and development and continues throughout the life of the different weapon systems and requires access to both large amounts of data and staff with specialized skills.

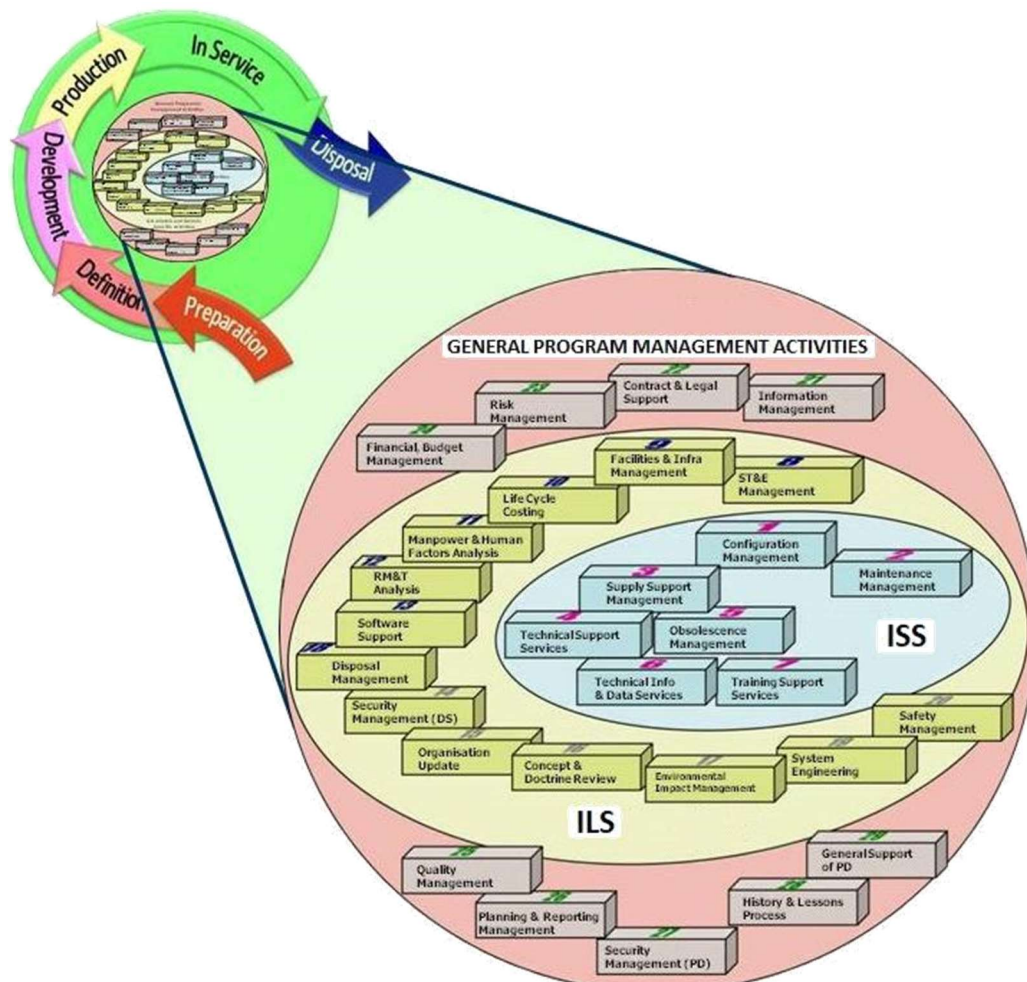


Figure 3. General Program Management Activities: ILS and ISS. Source: Adaptation of Ramarason & Torres & Heckel, 2013.



On the other hand, In Service Support (ISS) refers to the post-acquisition support of an established fleet. Where ILS is the analysis, planning and support set-up, ISS is the provision of support over the entire life of the fleet. An ISS plan is then developed and the program processes are defined as well as how they conform to the procurement contract in order to form a fully integrated management system for the overall program. (Frosst, 2012).

The ISS program intends to provide long-term support of the fleet. This presents costing, pricing and contract challenges given the number of unknowns involved. 20-25 years of ISS often costs more than the initial fleet acquisition. The logistical support system for the fleet needs to be designed to sustain a high level of operational availability and reliability in harmony with the planned fleet mission profiles and expected usage. However, the support system has to be capable of dealing with change and a wide range of levels of utilization and op-tempo ranging from pre-deployment training thru to high intensity and unpredictable combat deployments.

Of critical importance to the ISS is the evolution of cost that you can see in the next figure.

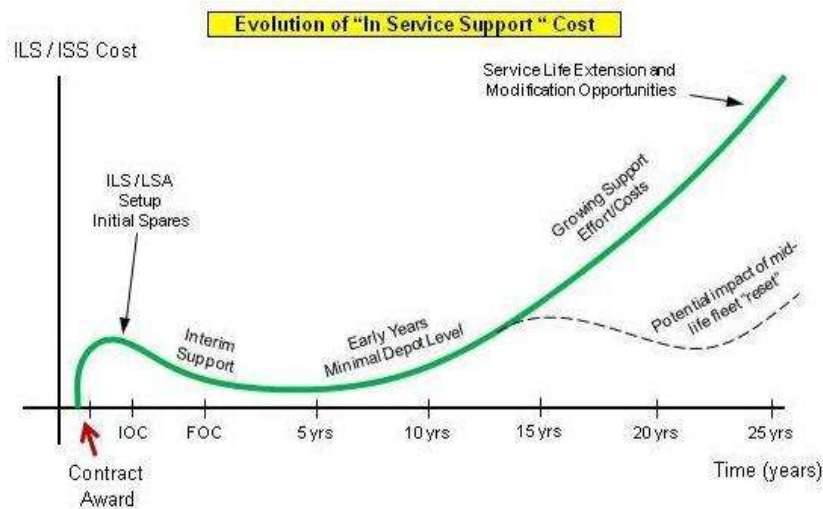


Figure 4. Evolution of ILS/ISS Cost. Source: Adaptation of Frosst, 2012.

A hump can be seen at the very beginning of a program that is associated with initial ILS activities and the deployment of the fleet. In between Initial Operational Capability (IOC) and Final Operational Capability (FOC), there is generally an interim support program that causes the fleet to be operational and supports initial training and deployments. ISS costs are the lowest at the start of the program, given that the fleet is relatively young, the maintenance of the heavy depot level has not begun and failures/problems have to be kept to a minimum. There is certainly a need to support problems as they emerge, and there is a need to collect and analyze the data to provide clues as to the future reliability of the fleet. The cost rises as the fleet becomes older, which culminates in high levels even with

intensive support and frequently some sort of life extension or modification program. There are instances for half-life restoration programs that update platforms, update technologies, address known fleet problems, and return the fleet to a "like-new" condition. This activity can often provide a positive net return on investment through reduced support costs in the year (Frosst, 2012).

3.1. The In-Service Support transformation: Strategic concepts and changes

One of the preferred concepts of recent years in the defense and security sector has been transformation. We can define it as the process by which military advantages are achieved and maintained through changes in operational concepts, structures and technologies, in such a way that it significantly improves operational capabilities in a rapidly evolving environment (Frede, 2004). Transformation therefore refers to the fundamental change in the form adopted by an organization to achieve its objectives; changes in the way you work, interact, participate, and even think about how to do things. It means new methods, technology and processes. Not only does it consist in increasing budgetary allocations, but also mainly falls on the two most important elements: qualified personnel and the time necessary for the development and execution of quality improvement plans (see Cosidó & Baradají, 2003).

Miguel de Cervantes, in his work *Don Quixote de la Mancha*, assigned Don Quixote the ability to prepare a magic potion capable of curing all ailments, the balsam of Fierabras. This miraculous balm would heal whoever drank it. Unfortunately, that mystical and miraculous capacity has not yet been included in our performance. Providing exhaustive and definitive solutions is not only extremely difficult, it is certainly impossible. However, the research effort that we have carried out and that we continue to carry out has allowed us to determine a series of strategic concepts on which to guide the improvement of the ISS within the strategy of its digital transformation:

The strategic role that sustainability must play: Assuming that operational needs should occupy the preferred place over other possible considerations, the dilemma is to determine if logistics should sustain operations at any cost or if the only possible operational effort is one that is logistically sustainable. Beyond the management of day-to-day logistics problems, the strategic logistical balance between present and future capacity requires the exercise of the highest function of anticipating the future with a clear vision. The difficult balance between current availability, with research and programs, lies at the heart of the most sensitive strategic decisions.

Empowerment of human resources and evaluation of their performance: The general situation of military and civilian personnel at the service of the military and police forces dedicated to the tasks of ISS is characterized by the lack of qualification in the new applied technologies and by their lack of motivation generated by factors of economic origin. These include the non-direct relationship between compensation and responsibility, the compensation gap with the business aeronautical sector, the scarcity or absence of incentives for production, and factors of professional origin, such as the inadequate framing of specialties, scarce recycling and little or no professional promotion.

Faced with this situation, it is necessary to implement empowerment plans for the personnel involved in ISS and about the optimization of the work positions, on the implementation of performance evaluation systems and objective measurement of the workload (see Fernández-Villacañas IX, 2019), on the recruitment of the necessary personnel, on their remuneration mainly in terms of the allocation of incentives to production that relate the remuneration with their performance, as well as with the revitalization of continuing education programs that guarantee retraining and instruction in new technologies of the personnel involved.

Dynamic balance between efficiency and effectiveness: On the basis of the transition in the orientation of the medium and long-term approach from the efficiency to the efficiency paradigm, in short-term management, it is very difficult to achieve a balance between operational efficiency and efficiency. The assignment of higher priority to the operative sometimes leads to unbalanced consumption of resources. On the other hand, assigning a higher priority to the economy of resources can also prevent operations from being carried out within the necessary quantitative and qualitative parameters. On the other hand, in relation to sustainability outsourcing processes, a consistency approach is needed between competitive and cooperative outsourcing. The scarcity of resources leads to a process governed by competitive principles whose main objective is the reduction of costs as opposed to the maximization of profit for companies, instead of being oriented towards cooperative management formulas, with shared objectives linked to services provision of quality and long term (Fernández-Villacañas II, 2008).

Integration of value and supply chains: The operational efficiency of the MRO centers (Maintenance, Re-pair & Overhaul) depends on both the internal and external chain of processes, which relates from the beginning to the end (from the first supplier to the last user) the integrated value generation process. The differential analysis between the value generated by each process and the cost produced will allow us to know to what extent this process is more or less efficient. Therefore, the management approach to the production of logistics air support services for the different workshops must be integrated within the aforementioned supply chain. The integrated management of each of these chains will depend on the preparation of the corresponding strategic plan that, in view of all sources of supply and all sources of demand, efficiently integrate those processes, relationships and flows that guarantee a dynamic adjustment between offer and demand (Fernández-Villacañas III, 2008).

Optimization of the productive systems used: The international experiences consulted in the MRO centers (Maintenance, Repair & Overhaul) to improve productivity and optimize the use of resources, and not only in private industry but also in military centers, show a wide field for the improvement of productivity. It implies the use of the reengineering of methods and processes such as Total Quality Management (TQM), the Six Standard Deviations Method (Six Sigma) and the Optimization of Production by elimination of wastes (Lean). The combination of the last two methodologies, known as Lean Six Sigma (LSS), together with the implementation of the Theory of Constraints (TOC), based on the fact that multi-tasking processes move at the speed of the

slowest step which allows optimization together with supply chains identifying restrictions on "bottlenecks". This is considered to provide a good basis for process improvement in the ISS (Fernández-Villacañas II, 2008).

Performance based logistics: In the area of procurement, the contracting modalities to be applied should be oriented preferentially towards the results. The concept of Performance Based Logistics (PBL) is the acquisition of support as an integrated and affordable package of results, designed to optimize the availability and achieve the performance objectives of a weapons system, through long-term support agreements, with clearly defined lines of authority and responsibility. Therefore, PBL strategies focus on results and not on the acquisition of the initial or intermediate goods and services that merely make them possible.

Public-private cooperation, both national and international: The application of public-private cooperation in the ISS entails a change of philosophy and mentality in the public organizations involved that will go on to manage certain essential services through a strategic partnership with private companies, including financial entities, assuming these risks and shared responsibilities with both armed and police forces.

The advantages for both parties in applying these public - private partnership models are straightforward. On the one hand, it can mean higher levels of rationalization and efficiency for the Air Forces, as well as important savings through the reduction of military and technical assistance of the individuals involved, as well as the reduction of investment costs of the facilities and equipment (avoiding duplicate expenses, large investments in spare parts that need to be maintained during the long life cycles of the systems, reducing the costs of continuous training, technical documentation and its corresponding updating, etc.) On the other hand, the industry of defense can obtain a new field of business development induced by the greater investment capacity derived from public savings, addressing the development of new defense and security systems that will make feasible the strengthening of the industrial base and technology of that sector (Fernández-Villacañas I, 2007 and II, 2008).

Moreover, and perhaps most significantly, the function of the public-private co-management models imply a permanent and bidirectional transfer of knowledge between the public and private sectors. This involves the adaptation and dynamic adjustment to the major changes that the exponential digital evolution will generate to that "unique entity" formed by the structures of the Air Forces and the participating companies, in a syn-chronic manner (Fernández-Villacañas X, 2019).

The new role of information and logistics intelligence: It is necessary to emphasize that the essential element consists in the provision and elaboration of the information and logistic intelligence beyond the mere information systems for the management, in order to turn them into authentic holistic systems of support for the decision. The transition has to be carried out through the development of complex analytical models (qualitative and quantitative) of

interaction between the various factors (internal and external) involved in each process; finally, through the combination of systems, reach the "system of systems".

Finally, we are going to mention five more strategic concepts about major changes in the type of in-service support given to military organizations, following and transcribing opinions of the British doctrine always leading in logistics of the defense and security sector (Butler-Jones, 2017).

More global delivery, but varied complexity: Procurement of key assets has changed. Defense and security forces have gone from a model where a country could manufacture its own jet, to having nations and prime contractors collaborate and develop an aircraft, to actually when a global original equipment manufacturer can manufacture a jet and delivering it worldwide. However, as the trend towards amalgamated and advanced equipment continues, avoid is being created at the lower end of the market, and suppliers are trying to adapt themselves. The logistics support systems on modern military jets must span a global network of players involved in the total lifecycle of the aircraft, from original equipment manufacturer and suppliers to simplest maintenance activities and customer support. On the other hand, less technical equipment involves a simple acquire, buy spares and maintain support model. In-service support providers should gear up for both approaches, or face losing out on missed opportunities and lucrative contracts.

Land, sea and air drone proliferation: Do defense and security forces need to invest in expensive and complex equipment anymore? Drones and unmanned aerial vehicles are starting to revolutionize the logistics footprint of military forces, from hand-launched flyers and remote-controlled rovers to complex multirole fighter jets. Likewise, the acquisition and in-service-support models for military drones are likely to vary. On one hand, some drones are valuable and remain in service long enough to require a maintenance and support strategy similar to traditional assets. On the other hand, certain drones are low-priced and require no maintenance, so supporting them becomes a much simpler logistics and spares issue. Efficiency savings can be made by making use of equipment which is cheaper, more versatile and doesn't involve sending soldiers onto the frontline. Sending a defense force forward requires maintenance expertise close to the area of operation. Maintenance personnel need transport, food, shelter and protection, quickly creating a large logistics foot-print. Adding low-cost drones to this mix drastically changes the concept of operations, with an equally significant impact on forward supply chains.

The rising demand to manage through-life support costs: The increasing dependence of modern defense and security organizations on suppliers to generate military capability re-quires acquisitions and through-life support contracts to be carefully structured. At the same time, harmonious relationships between buyers and suppliers must be developed and maintained. The current procurement process, with collaborative focus on risk sharing but not necessarily on cost reduction, is not sustainable in the long-term. Those responsible for the command of these public-private support networks need a better way to manage through-life costs to support major asset

logistics. Support systems that provide a holistic view of an asset's health, availability and supply chain, rather than fragmented information from multiple sources, are needed. In order to achieve this, information needs to be shared across buyer, supplier and maintainer partnerships, which often contain organizations from multiple countries. For example, BlockChain is one of several technologies that could have a serious impact on this cross-organizational visibility. Although new and relatively untested in the defense and security environment, the technology has the potential to provide a verifiable and traceable history of an asset's lifecycle in real-time. This is particularly important for assets managed through a multi-organization support chain with the complex accountability contracts we see in modern acquisition programs.

Globalization changing government relationships: Defense budgets as percentage of GDP in the West have been shrinking in recent years, while new markets and opportunities are being found in maturing defense forces in the Middle and Far East. A recent PwC report has said in UK: "Defense ministries are relaxing foreign direct investment constraints and asking defense contractors from outside their borders for commitments to their countries that go well beyond traditional short-term, relatively mild offset agreements. Ministries now want broad-based, explicit, and often extensive skills and knowledge transfer to build up their own industrial and military capabilities and diversify their economies". Working closely across geographies requires an improved relationship between the original equipment manufacturer and local contractor or military organization. Original equipment manufacturers need an understanding of security and governance issues country-by-country as well as political transitions which may affect defense policy. The social payback of defense spending must also be considered, with different public attitudes on military expenditure in every geography. Success will depend on how well original equipment manufacturers can adapt to a less transactional role and how prepared contractors could be to adapt and remain competitive.

IT as a strategic enabler, not a transactional tool: In defense acquisitions, IT support for complex assets is sometimes an afterthought when it should be a priority. Examples across the commercial transport and energy sectors, which also involve complex assets with global supply chains, have proved that strategic implementation of IT is critical to operational success. Nevertheless, defense spending is a public issue with a controversial social impact. In the eyes of in-service support providers, IT needs to be elevated from being a transactional tool to a strategic enabler and help military, contractors and suppliers function more efficiently.

3.2. The In-Service Support (ISS) digital transformation

In order to know the state of involvement and development regarding the digital transformation in the companies of the defense and security industry, a qualitative research had been carried out (Fernández-Villacañas X, 2019). The results showed that almost all companies consider that digital disruption implies opportunities for improvement in the efficiency, quality and flexibility of processes, which will produce the potential increase in operating profits. The defense and



security industry is facing a new global context that poses major strategic and structural challenges, against which practically all have proactively raised lines of action.

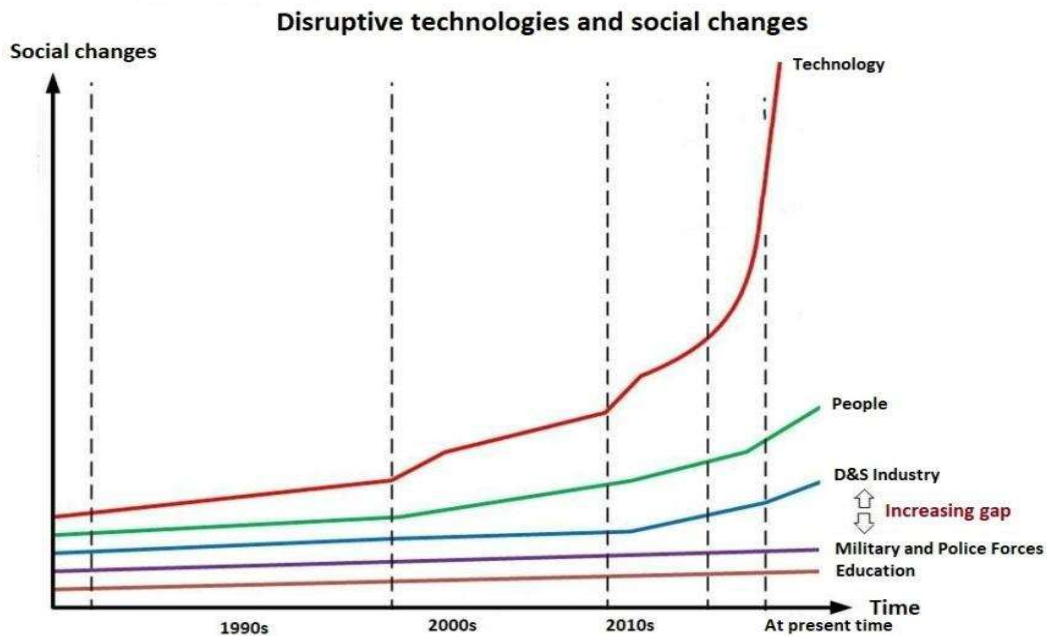


Figure 5. Increasing gap between reactive adaptation in the armed and police forces to the new logistics 4.0 and proactive implementation by the defense and security industry. Source: Fernández-Villacañas IX, 2019

However, the assessment regarding the levels of initiative and deployment of these action guidelines, with respect to the armed and police forces that are clients of these companies, both at the national and international level, shows a reactive attitude. They are aware of the implications that the digital transformation will have on the levels of operation and sustainability of their systems, but this has not translated into determined and effective action plans, possibly due to the lack of funds for addressing them.

In other words, the possibility of a gap in the reactive adjustment of the armed and police forces to the new logistics 4.0 is detected in relation to its proactive implementation by the main defense and security industry companies, with a delay and desynchronization that will tend to grow due to the exponential technological evolution. This type of gap is not exclusive to the defense and security sector but is also present in all social agents and business sectors.

The digital transformation of ISS of the air weapons systems needs to act in three active lines:



- Organization: Ensure firm support from top management, progressive adaptation of the organizational model, actively manage the change in implementation, with a comprehensive management of the project.
- Processes: Create and implement a process management model, adapted to the requirements of hyper connectivity, redesigning procedures from a lean and digital perspective, integral approach to process and value chains.
- Enabling technologies: Select and progressively implement the most appropriate technological solutions according to requirements, pre-existing infrastructures, available ICT systems, the capabilities of other resources, etc.

In relation to the deployment of enabling technologies, a wide range of applicable technologies is available, as referred to in Fig. 6. The proposed logistics models must integrate these already available technologies, but most importantly, they must make the progressive integration of other technological innovations of exponential evolution, which are being developed in the future, scalable.

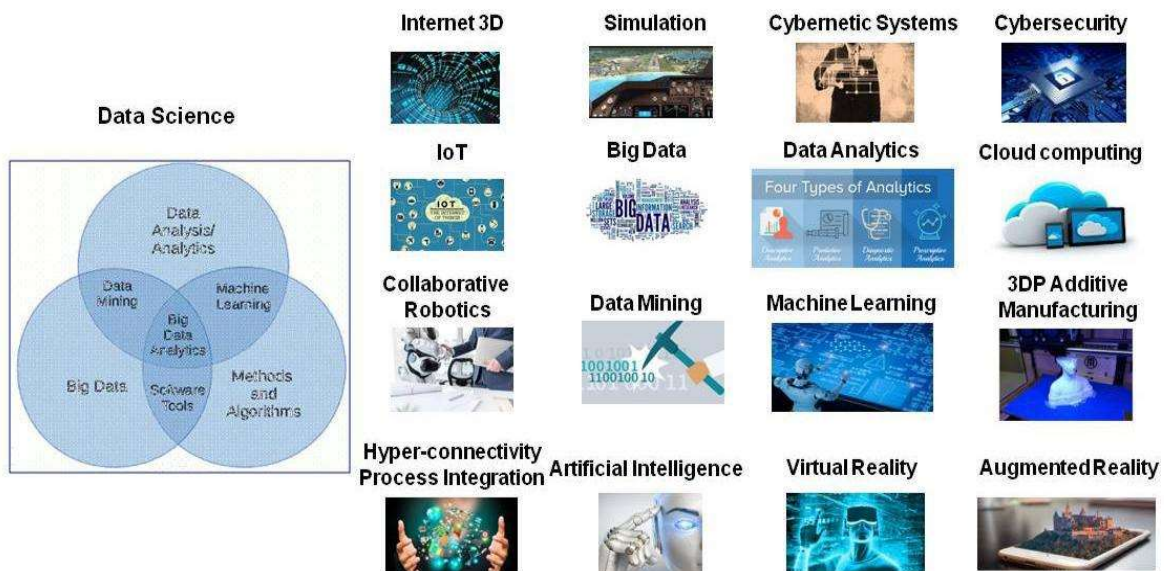


Figure 6. Enabling technologies of the new logistics 4.0. Source: Fernández-Villacañas X, 2019.

Regarding all these technologies, it is important to emphasize the role that Data Science needs to play in ILS and ISS. This concept unifies statistics, analysis and data analysis, data extraction, automatic learning and its related methods and algorithms for understanding and analyzing real phenomena with large data. It employs techniques and theories drawn from many fields within the context of mathematics, statistics, computer science and information science. Data science is a key development to achieve the "system of systems" mentioned be-forehand.

4. CONCLUSIONS

Since the last decade, the international community has been affected by the emergence of a New World Order which, in the defense and security sector, has conditioned the establishment of new general requirements to specify the strategic concept of support for weapons systems. The strategic support that will lead to new operational concepts and, together with the acquisition of new military capabilities, is currently based, and will continue to be so in the future, on technological and logistical capabilities. In this respect, the new logistics 4.0, which we have analyzed in depth, has experienced a great catalyst that requires a complete organizational, cultural and strategic reinvention of the Air Force and the defense and security industry.

Based on these new requirements the Air Forces in particular will have to manage the aerospace operations to respond to the risks and threats both in current and future terms of the new international defense and security paradigm. This translates into the need to assume the permanent transformation of the models and processes of integrated logistic support (ILS) and in-service support (ISS) which guarantees the viability and sustainability of aerospace operations. In Service Support (ISS) typically refers to the post-acquisition support of an established fleet where ILS is the analysis, planning and set-up for support. ISS is the provision of support over the entire life of the fleet. An ISS plan is being developed and it defines the program processes and how they combine with the procurement contract to form a fully integrated management system for the overall program.

We have identified a number of strategic concepts to lead the improvement of the ISS in the digital transformation: the strategic role that sustainability must play; the empowerment of human resources and the evaluation of their performance; the dynamic balance between efficiency and effectiveness; the integration of value and supply chains; the optimization of the productive systems used; Performance-based logistics; national and inter-national public-private cooperation; the new role of information and logistics intelligence; more global but varied and complexed delivery; the proliferation of drones by land, sea and air; the growing demand for managing support costs throughout the life of globalization by changing government relationships; and IT as a strategic enabler, rather than a transaction tool.

The qualitative research conducted has detected a gap in the general reactive adaptation of the military forces to the logistics digital transformation in relation to its proactive implementation by the main companies of this sector. In order to reduce this gap, the introduction of public-private cooperation models, in addition to providing advantages in the improvement of military efficiency and business development for the industrial sector, means the permanent and bidirectional transfer of know-how between the structures involved, as well as the adaption and dynamic adjustment to the vast changes implied by the exponential digital evolution.

In relation to the implementation of the enabling technologies a great diversity of applicable technologies are available but it is important to emphasize the critical role that Data Science has to develop in ILS and ISS, the key development to reach the effectiveness implementation of the digital transformation.

REFERENCES

Borda, J.: La Fábrica del Futuro: Humana, inteligente, tecnológica y digital. Sisteplant, Bilbao (Spain) 2016

Borda, J.: Hombre y Tecnología: 4.0 y más. Sisteplant, Bilbao (Spain) 2018

Butler-Jones, E.: Defense Forecast: The Transformation of the In-Service Support over the Next Decade. De-fense Product Line, Aviation & Defense Business Unit at IFS, August 2017

Carter, C. R. & Rogers, D. S.: A framework of sustainable chain management: Moving toward new theory. In-ternational Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Volume 38, Issue 5, Emerald Group Publishing Limited, 2008

Cosidó, I. & Bardají, R. L.: La transformación de las Fuerzas Armadas. GEES, Análisis nº 44, Madrid (Spain) 4th November 2003.

Fernández-Villacañas, M. A. (I): Externalización del Sostenimiento. Revista de Aeronáutica y Astronáutica. Ejército del Aire de España, Madrid (Spain) May 2007

Fernández-Villacañas, M. A. (II): Externalización estratégica Vs. Externalización operativa: Desarrollos po-tenciales del modelo de Partenariado Público-Privado (PPP) para el sostenimiento de Armamento y Material de las Fuerzas Armadas. Universidad Comercial de Deusto, Bilbao (Spain) 28th and 29th February 2008

Fernández-Villacañas, M. A. (III): El outsourcing estratégico como modelo de integración de las cadenas de suministro para una logística sustentable. V Fórum Mundial de Logística, Monterrey (Mexico) 6th and 7th March 2008

Fernández-Villacañas, M. A. (IV): Reflexiones en torno al logro de una Logística Global Sostenible. V Con-greso Internacional ACOLOG - Asociación Colombiana de Logística, Bogotá (Colombia), 28th, 29th and 30th August 2008

Fernández-Villacañas, M. A. (V): Modelos de cooperación industrial para el sostenimiento de armamento y material: El Partenariado público-privado y la rentabilización de capacidades excedentes. En; Diferentes auto-res (ed) Gobierno en la Industria de Defensa, Aula Abierta y Foro de Estudios de Seguridad y Defensa, Uni-versidad Politécnica de Cartagena, Cartagena (Spain) 2009.

Fernández-Villacañas, M. A. (VI): Cooperación industrial público-privada para el sostenimiento profundo de las aeronaves del Ejército del Aire y la rentabilización de capacidades excedentes. 5º Congreso Español de 15.

Mantenimiento y 16º Congreso Iberoamericano de Mantenimiento, Asociación Española de Mantenimiento, Barcelona (Spain) 15th 16th and 17th November 2011

Fernández-Villacañas, M. A. (VII): La Nueva Economía de la Defensa en un Nuevo Orden Mundial. Revista de Aeronáutica y Astronáutica, Ejército del Aire de España, Madrid (España) Jun 2017

Fernández-Villacañas, M. A. (VIII): Las plataformas logística 4.0 y la mejora del comercio global: Creando ventaja competitiva logística y desarrollo sostenible. VI Simposio Internacional Online de Logística y Competitividad, High Logistics Simposios, Medellín (Colombia), 3th to 4th October 2018

Fernández-Villacañas, M. A. (IX): Employee Performance Evaluation Within the Economic Management Sys-tem of the Spanish Air Force: Development of a Methodology and an Optimization Model. New Knowledge in Information Systems and Technologies © Springer Nature Switzerland AG 2020 Á. Rocha et al. (Eds.): WorldCIST'19 2019, AISC 930, pp. 1–8, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16181-1_42

Fernández-Villacañas, M. A. (X): The Transformation of the Defense and Security Sector to the New Logistics 4.0: Public-Private Cooperation as a Necessary Catalyst Strategy. 2019 Multidisciplinary International Confer-ence of Research Applied to Defense and Security (MICRADS), Rio de Janeiro, Brazil, 8th to 10th May 2019.

Frede, K. D: Logistics Transformation: Does Industry Have the Answer. Air Force Journal of Logistics 28 (14-25, 43-44), Unites States Air Force Management Agency, USA Spring 2004

Frosst, G.: Approaches to In-service Support (ISS), Optimized Weapon System Support (OWSS) and Sin-gle point of Accountability (SPA). COGINT Ltd., Aerospace Review Secretariat Industry, Canada, July 2012.

García Arnáiz, J: Discurso de Inauguración del Jefe de Estado Mayor de las Jornadas Aeroespaciales de Eco-nomía de la Defensa del Ejército del Aire: La Nueva Economía de la Defensa en un Nuevo Orden Mundial. Ejército del Aire de España y Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid 7th to 9th March 2017.

García Vaca, I. G.: Anatomía de Sistemas. Su análisis y su apoyo (ebook). Ed. Diaz de Santos, Madrid 2018.

Hoffman, A. A.: Coca-Cola learns a tough lesson about corporate sustainability, Grist Magazine, Seattle, WA USA (2006).

Montreuil B., Meller R. D., Ballot E.: Towards a physical internet: the impact on logistics facilities and material handling systems design and innovation. In: Gue K (ed) Progress in material handling research. Material Handling Industry of America, USA 2010.

Montreuil B.: Toward a Physical Internet: Meeting the global logistics sustainability grand challenge. Logistics Research, Volume 3, Issue 2-3, pp. 71-87, USA 2011.

Navarro, M. & Sabalza, X.: Reflexiones sobre la Industria 4.0 desde el caso vasco. Ekonomiaz nº 89, 1º semestre 2016.

Ramaroson, F. & Torres Garcia, R. & Heckel, C.: ISS Guide Issue 2: Preparation and Management of OCCAR Programs In-Service Phase. OCCAR-EA Central Office, 53175 Bonn, Germany, May 2013.

Romero, F. P.: Adaptación de la Defensa y las Fuerzas Armadas al concepto industria 4.0 (1 y 2). Infodefensa.com homepage, Last accessed 2018/12/27.

<http://www.infodefensa.com/es/2018/01/29/opinion-adaptacion-defensa-fuerzas-armadas-concepto-industria.php>

<http://www.infodefensa.com/es/2018/02/01/opinion-adaptacion-defensa-fuerzas-armadas-concepto-industria.php>

MODELO DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN LOGÍSTICA BASADO EN PROCESOS PARA EL EJÉRCITO NACIONAL DE COLOMBIA (LIM2)

Diego Alexander García Salas
Ejército Nacional de Colombia

Pedro José Sánchez Caimán
Universidad Militar Nueva Granada

RESUMEN

El presente documento presenta una propuesta de diseño de un modelo de gestión de información logística soportado en el ERP SAP® aplicado en el Ejército Nacional de Colombia, el cual tiene como objetivo principal incrementar el nivel de control a los procesos en los niveles de la organización, permitiendo permanentemente una radiografía del subsistema de logística y soportando la toma de decisiones. De igual manera se presenta un diseño lógico de los procesos de gestión y desarrollo de la gestión logística del Ejército basado en un sistema diseñado por procesos.

ABSTRACT

This document presents a proposal for the design of a logistics information management model supported in the SAP® ERP, implemented in the Colombian National Army, which has as its main objective to increase the level of control to the processes in the organization levels, permanently allowing an X-ray of the logistics subsystem and supporting decision-making. Likewise, a logical design of the management and development processes of the logistics management of the Army is presented based on a system designed by processes.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los años 1990 y 2002, Colombia y sus Fuerzas Armadas, se encontraban atravesando por una gran crisis, que permitía evidenciar la falta de recursos humanos, físicos y presupuestales para hacer frente a los enemigos del Estado, quienes para esa época atacaban sin piedad a la población civil, la infraestructura, la economía del país y causaban temor en todos los habitantes del País. Con la llegada del Plan Colombia a partir de 1999 el Ejército Nacional y las demás Fuerzas Armadas de Colombia, reciben diferentes apoyos de países aliados y amigos, que le permiten

tomar un aire, fortalecerse y reiniciar la carrera por garantizar la soberanía y el control del País, que para esa fecha sufría el flagelo de los grupos narcoterroristas.

Una vez fortalecido y con la capacidad de hacer frente a diferentes amenazas, el Ejército Nacional retoma el control de la seguridad del País, potencializándose con hombres, medios y la creación de nuevas unidades militares, con esta última acción se incrementa la presencia del Estado a nivel Nacional. Según (Davis, Kilcullen, Mills, & David, 2016) el crecimiento de la Fuerza Pública fue significativo, las Fuerzas Militares, pasaron de tener menos de 205.000 miembros en 2002 a 288.000 en 2013, la Policía paso de 110.000 efectivos a 178.000 en el mismo lapso temporal, esto implicaría a su vez que la estructura organizacional en el nivel Estratégico, también se ampliara, sin embargo y entendiblemente, la prioridad en ese momento no era esa.

Entre los años 2004 y 2005 el Ministerio de Defensa Nacional (MDN) creó el Grupo SILOG, con el fin de brindar al Sector Defensa una herramienta potente para estandarizar procesos, optimizar recursos, brindar soporte logístico y controlar los procedimientos administrativos, financieros, logísticos, entre otros, utilizando un *Enterprise Resource Planning* (ERP), denominado SAP®, por sus siglas en alemán *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*. De igual manera desde el año 2006 el Ministerio de Hacienda y Crédito Público ordenó al MDN la entrada en línea con el Sistema Integral de Información Financiera (SIIF), que permite consolidar la información financiera de las Entidades que conforman el Presupuesto General de la Nación y ejercer el control de la ejecución presupuestal y financiera de las Entidades pertenecientes a la Administración Central Nacional, con el fin de propiciar una mayor eficiencia en el uso de los recursos de la Nación y de brindar información oportuna y confiable. (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2018)

A partir del año 2011, cuando inicia la revisión de los conceptos operacionales estratégicos de las Fuerzas Militares y de Policía, con los cuales el Estado planea hacer frente a los grupos Narcoterroristas y conducirlos a la derrota militar, surge la imperiosa necesidad de formular el Plan de Transformación del Ejército, para este último se plantean diferentes tiempos de ejecución Tiempo 1 (T1) 2012 – 2018, Tiempo 2 (T2) 2018 – 2022 y Tiempo 3 (T3) 2022 – 2030, al final de este último, se busca la profesionalización de la Fuerza y consolidar a la Institución como un EJÉRCITO MULTIMISIÓN, alineado con los parámetros de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN).

Ahora bien, dado que el Plan de Transformación del Ejército contempla de manera integral todas las áreas, sin duda alguna la Logística Militar tiene su propio acápite. Es posible que herramientas como el Modelo de Sistema Viable, el Modelo Integrado de Gestión Logística y el ERP SAP®, puedan hacer parte de la nueva generación de conceptos que aporten en la transformación del Subsistema de Logística del Ejército (SsL).

2. MODELO DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN LOGÍSTICA BASADO EN PROCESOS (LIM2)

El modelo de gestión de información logística basado en procesos para el Ejército, se encuentra diseñado a partir de las necesidades identificadas en el diagnóstico realizado al SsL., en el cual se evidencio, que existen oportunidades de mejora con respecto a la optimización de los procesos y procedimientos, el empleo del Sistema de Información Logística (SILOG), el mantenimiento y sostenimiento de los recursos y el fortalecimiento de las competencias en el empleo del talento humano. Es de resaltar que la oportunidad de mejora que mayor impacto y prioridad presenta, gira en torno a la optimización de los procesos y procedimientos, que incluye factores relacionados con el rediseño de la estructura organizacional, mejoras en el proceso de adquisición de bienes y servicios, fortalecimiento del Comando y Control a la Gestión Logística y por último la revisión, modernización y difusión de la Doctrina de Logística Militar.

Una herramienta de seguimiento y control organizacional como LIM₂ le permite al Staff Directivo tomar decisiones desde diferentes puntos de vista utilizando indicadores de gestión, los cuales deben ser adaptados para el SsL, atendiendo de manera especial y particular los objetivos estratégicos planteados por la alta gerencia o el nivel estratégico, no obstante es necesario tener en cuenta lo descrito por Kress (2002) que propone que en las organizaciones de carácter militar, la eficiencia es una medida relacionada con el costo “económico” de la eficacia. De esta descripción se puede entender que la eficiencia de una operación militar se logra cuando se balancea el costo y el cumplimiento del objetivo, no obstante, el cumplimiento del objetivo puede ser determinado por un valor alto o “incalculable” cuando de salvaguardar vidas humanas se trate.

La expectativa con el modelo de gestión y control diseñado para el SsL es incrementar la eficiencia del Macroproceso de Gestión Logística, teniendo en cuenta que permitirá evidenciar oportunamente el status de cada proceso, para realizar una evaluación soportada mediante el ERP utilizado en la actualidad por el Ministerio de Defensa Nacional. Se propone que la solución planteada con esta investigación permita a futuro no solamente ser aplicada a la Logística Militar del Ejército, sino que pueda ser replicada y adaptada a las Fuerzas Militares y Policía Nacional. En teoría esta investigación permitirá respaldar la toma de decisiones de tipo gerencial basado en un tablero de control integral, alimentado por la información proveniente del Sistema de Información Logística (SILOG), como parte de uno de los objetivos planteados para transformar los modelos logísticos actuales del Ejército. Es pertinente mencionar que en razón a que el diseño de que LIM₂, se encuentra basado en el funcionamiento y administración de los procesos de Planeamiento Logístico, Adquisición de bienes y servicios y Operación Logística, también permitirá la integración entre la gestión de información y la toma de decisiones, soportándose en el Sistema Integrado de Gestión Logística, el ERP SAP® y el Sistema de Información Financiera (SIIF); esto facilita el comando y control en los diferentes niveles de la organización.

Para evaluar la utilidad del diseño de LIM₂, es necesario analizar si la información suministrada por el modelo al tomador de decisiones es apropiada, pertinente y cumple con los requisitos mínimos establecidos para efectuarlo de una manera ágil y soportada bajo información real. Ahora, comparar la eficiencia de una decisión es un factor que no se contempla dentro de los objetivos de este trabajo de investigación, sin embargo, al proponer la adaptación de un cuadro de mando integral, este último debe ser entendido como una herramienta a disposición de la dirección de la empresa y de la empresa en su conjunto, que permite a ésta adaptarse al entorno dinámico, complejo, hostil e inestable en el cual se desenvuelven las organizaciones, de forma que se refuerzan la creación de valor de forma sostenible y para todos los grupos de interés en la empresa, el crecimiento, el ajuste organizativo, la participación de todo el personal en el proceso de dirección estratégica y la no resistencia al cambio. (Martin Peña & Reyes Recio, 2016).

El modelo de gestión de información logística basado en procesos para el Ejército Nacional (LIM₂) posee tres componentes principales que permitirán cumplir con los objetivos propuestos en cuanto al seguimiento, control y evaluación a los procesos de Gestión Logística, lo que a su vez permitirá optimizar el proceso de toma de decisiones, estos son: Modelo Integrado de Gestión Logística (MIGL), Sistema de Información y por último el MSV para el SsL.

2.1. Modelo Integrado de Gestión Logística (MIGL)

Durante el proceso de transformación del SsL del Ejército, en el año 2013 la Brigada de Apoyo Logístico No.1, propuso al mando el modelo integrado de gestión logística, que plantea el desarrollo de los tres procesos de Gestión Logística: Planeamiento Logístico, Adquisición de Bienes y Servicios y Operación Logística, actuando de manera independiente, pero con finalidad y objetivo totalmente dependientes entre sí. En este caso cada uno de los procesos es la entrada y salida de otro respectivamente, todo esto, en el marco de una gestión cultural y funcionando de manera sinérgica con un enfoque basado en gestión de procesos. El M.I.G.L contempla no solamente el trabajo tripartito de los tres procesos, sino que propone seguimiento y control con enfoque directo al proceso de Operaciones Logísticas, pero no contempla seguimiento, control o evaluación para Planeamiento Logístico y Adquisición de Bienes y Servicios. No obstante, esto represento un avance a toda marcha generado por la Fuerza, con el fin de mejorar sus procesos y generar sostenibilidad en el mediano y largo plazo.

Ahora bien, con la integración de nuevos conceptos, metodologías y procedimientos dentro del desempeño de los procesos de Gestión Logística, se evidencio la necesidad de fortalecer la cultura organizacional, como respuesta a los retos que según Hellriegel y Slocum Jr (2004) toda organización debe asumir: la adaptación externa y la supervivencia, y la integración interna. Según los mismos autores, la adaptación externa y la supervivencia se encuentran relacionados con la forma en la que la organización hará frente a su ambiente externo en cambio constante, e incluye temas como misión y estrategia, metas, medios y medición. A su vez la integración interna se relaciona con el establecimiento y las relaciones de trabajo efectivas entre los diferentes



miembros y niveles de la organización e incluye temas como lenguaje y conceptos, límites de grupo y de equipos, poder y estatus y por ultimo premios y castigos.

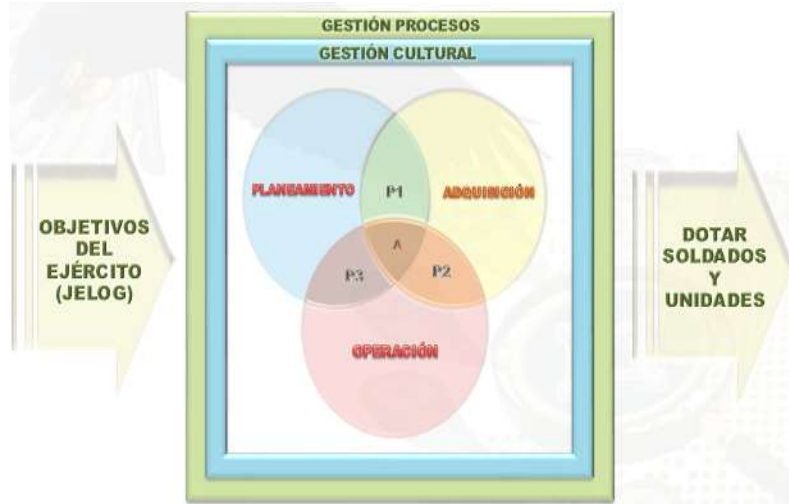


Figura 1. Esquema general del M.I.G.L diseñado por la Brigada de Apoyo Logístico No.1. De “Documento estructural de logística”, por Brigada de Apoyo Logístico No.1, 2013, Bogotá: Imprenta del Ejército Nacional de Colombia.

2.2. Sistemas de Información

Según Pérez et al (2008) los sistemas de información corresponden a un conjunto de elementos que tienen por finalidad permitir que la información llegue a todas las instancias de una organización en la cual se tomen decisiones. A su vez los autores afirman, que teniendo en cuenta que en las organizaciones existen diferentes niveles (jerárquicos, lógicos, etc.), en los cuales cada uno de ellos tiene necesidades de información diferentes, el diseño de los sistemas de información requerirá suplir estas necesidades diferenciales. Eso implica que, si bien en los diferentes niveles de la organización se administra información con similares características, no necesariamente en cada uno de estos niveles se deba conocer la misma información.

Realizar un diagnóstico en los sistemas de información en una organización implica tres variables críticas: el uso de vocabulario técnico de la organización, el conocimiento requerido en cibernética y la percepción que un Modelo de Sistema Viable (MSV) utiliza como marco conceptual la segregación de personas de su entorno laboral (Stephens & Haslett, 2003). Sin embargo, Beer (1985), afirma que no se requiere más que sentido común para construir una organización viable, enfatizando que una competencia cibernética no es prerrequisito en ninguna organización que esta sea sujeto de un diagnóstico.

Los sistemas de información en la cadena de suministro (supply chain information systems, SCIS), vinculan las actividades logísticas en un proceso integrado, utilizando cuatro niveles de funcionalidad, donde se reconoce en primera instancia a los *sistemas de transacciones*, los cuales se caracterizan por poseer reglas, procedimientos, comunicaciones estandarizadas y formales. El segundo nivel es denominado *control administrativo*, el cual tiene por objeto la medición del desempeño y la generación de informes. En el tercer nivel de un SCIS se ubica lo concerniente al *análisis de decisiones*, que permite identificar, evaluar y comparar las alternativas estratégicas y tácticas para mejorar la eficacia. Por último, en el cuarto nivel se encuentra la *planeación estratégica*, cuya finalidad es administrar los datos transaccionales para evaluar diferentes estrategias. (Bowersox, Closs, & Cooper, 2007).

En la actualidad el Ejército cuenta con dos grandes sistemas de información en la cadena de suministro para administrar, integrar y controlar los procesos de Gestión Logística: ERP SAP® y SIIF.

2.3. Modelo de Sistema Viable para el Subsistema de Logística del Ejército (MSV ssl)

Según Walker (1991) un modelo básico de sistema viable se conforma por tres partes: Entorno, Operación y Metasistema. Estas partes interactúan entre sí y son totalmente necesarias entre sí, también identifica cinco (05) sistemas para describir las diversas funciones dentro de la organización. Estos sistemas son definidos así:

- Sistema 1. (Operación): Hace referencia a todas las partes operativas que interactúan dentro del MSV.
- Sistema 2. (Coordinación) Es el responsable de la estabilidad del modelo, así como de la resolución de conflictos entre las partes operativas del sistema 1.
- Sistema 3. (Auditoría) Es responsable de la mejora continua, la optimización y la generación de sinergia entre las partes operativas y los demás sistemas.
- Sistema 4. (Planeación) Se encarga de formular los planes y las estrategias futuras, se encarga de preparar al MSV para adaptarse en todo momento a un entorno cambiante.
- Sistema 5. (Políticas) Responde por la formulación de las políticas de alto nivel para la organización.

Utilizando el concepto de los sistemas y teniendo como premisa, que un Modelo de Sistema Viable, puede contener a su vez varios MSV “menores”, se puede inferir que la estructura actual del Ejército puede analizarse como un Modelo de Sistema Viable total, es decir que si se observa al Sistema “Ejército” como MSV, el Subsistema de Logística hace parte vital y no excluyente de esta organización, que en este caso haría parte del Sistema 1. No obstante para que el Sistema



Ejército funcione requiere de todos los demás sistemas existentes trabajando en sinergia y cumpliendo con las leyes de los Modelos de Sistema Viable.

En la figura 2, se puede observar la adaptación del Sistema Ejército como un Modelo de Sistema Viable, en el cual cada una de las funciones y/o sistemas anteriormente descritos.

Partiendo de la afirmación de Beer (1973), que cita: “Una de las ideas claves que incorpora la teoría general es el principio de la “recursividad”. Esto quiere decir que todos los sistemas viables contienen otros sistemas viables, y que están ellos mismos contenidos en sistemas viables mayores.”, se puede aseverar que el Sistema Ejército, se encuentra conformado por varios subsistemas que garantizan la operatividad del sistema, uno de ellos, el SsL.

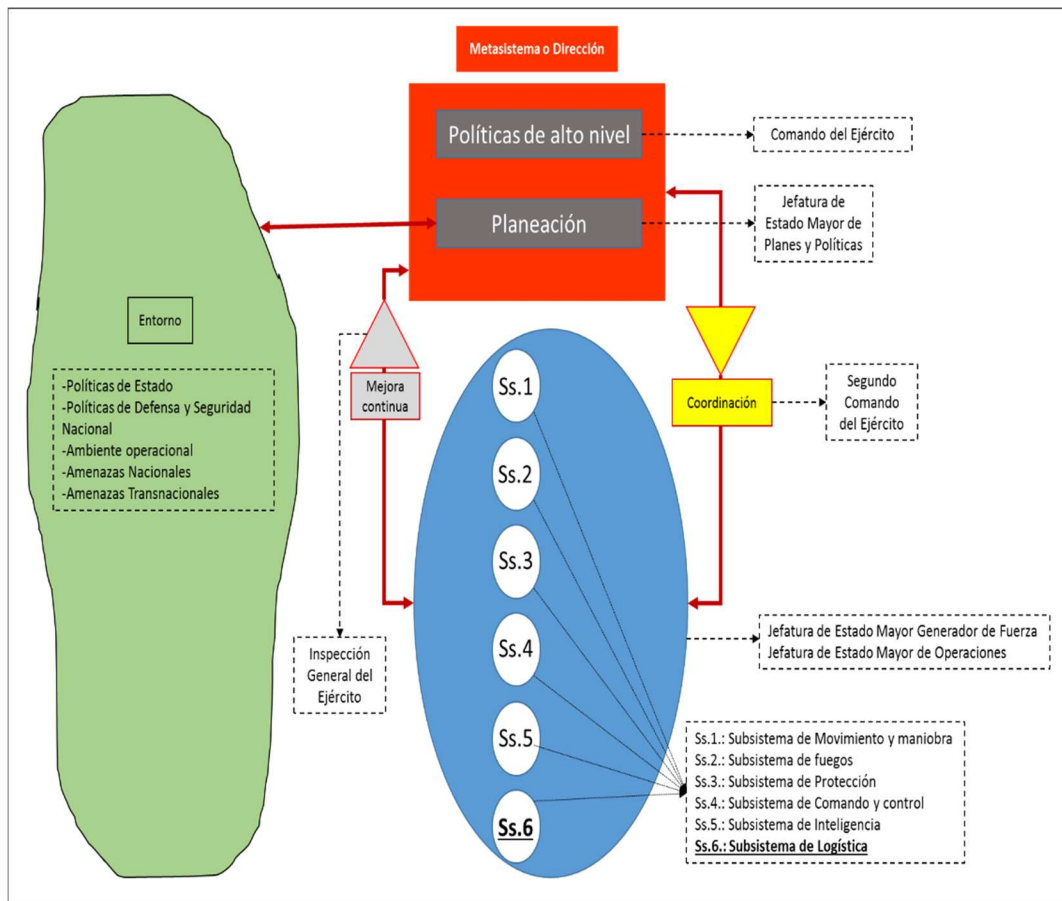


Figura 2. Sistema Ejército como un Modelo de Sistema Viable. Fuente: Los autores

El principio de la recursividad mencionado anteriormente afirma también que cualquier nivel de MSV, debe ser replicado bajo las mismas características, partes o componentes, por esta razón el SsL contará a su vez con cinco (5) sistemas, sistema 1 (Operación), sistema 2 (Coordinación), sistema 3 (Auditoría), sistema 4 (Planeación), sistema 5. (Políticas).

Para el caso del SsL, el sistema 1, estaría conformado por todas las unidades tácticas de logística, es decir los Batallones de Apoyo y Servicios para el Combate (BASPC), que en la actualidad son más de treinta (30), las Unidades Tácticas de Logística, dentro de las que se incluyen los centros suministradores (Batallón de Abastecimientos), unidades centralizadoras (Centrales Administrativas y Contables), unidades de mantenimiento (Batallón de Mantenimiento), unidades de producción (Batallón de Intendencia), unidades de transportes (Batallón de Transportes), entre otras.

El sistema 2 (coordinación) estaría conformado por las Brigadas de Logística, ya que desde ellas inicia el despliegue de logística a nivel Nacional, son estas Unidades Operativas Mayores, las responsables de garantizar las operaciones logísticas de Mantenimiento, Producción, Logística Inversa, Almacenamiento, Rehabilitación, Transporte y Entrega a las unidades tácticas del Sistema 1. En términos generales, las Brigadas de Logística son transversales a la operatividad logística del Ejército, por esta razón para el MSV planteado, se asignan funciones de coordinación.

El sistema 3 (Auditoría), será responsabilidad del Comando de Logística (COLOG), de quien en la actualidad dependen estructuralmente las Brigadas de Logística y se ha establecido un canal técnico de comunicación con las demás unidades tácticas del Sistema 1. La función principal del COLOG bajo el MSV en el SsL, es la de garantizar que se ejecute el planeamiento en modo, tiempo y lugar como se haya establecido, así como verificar que se lleven a cabo los procedimientos determinados, se cumplan las políticas de logística y se mantenga el Sistema Integrado de Gestión Logística, mejorando continuamente los procesos de Gestión Logística.

Para analizar el entorno se requiere de un ente encargado de planear y revisar una y otra vez la dinámica que rodea al SsL, para tal efecto, el sistema 4 (planeación), será responsabilidad del Departamento de Logística (CEDE4), dependiente de la Jefatura de Estado Mayor de Planes y Políticas (JEMPP). Como se mencionó anteriormente, el CEDE4 es el responsable de la determinación de la demanda, es decir que, analiza lo que está pasando en el entorno, toma las acciones correspondientes (ajusta demanda) y formula los planes de logística para cumplir la misión. Un ejemplo sencillo del ajuste a la demanda, puede darse en el momento en el que se ha planeado una operación militar en área selvática, sin embargo la dinámica de las operaciones militares, obliga al enemigo a cambiar su estrategia y por esta razón decide movilizarse hacia otro tipo de área geográfica, en el cual los pertrechos y la dotación no pueden ser los utilizados en área selvática, en este caso el CEDE4 debe ajustar su demanda, puesto que ya no requiere los mismos elementos para la selva, sino que ahora requiere elementos para realizar operaciones en el desierto, por ejemplo. La responsabilidad de planeación no se limita al ajuste de la demanda,

también requiere de la previsión en el tiempo de los factores que puedan generar una ventaja o desventaja táctica en lo que respecta al tema de logística.

Por último, el sistema 5 (Políticas), se encuentra a cargo de la Jefatura de Estado Mayor Generadora de Fuerza (JEMGF), como parte de la estructura encargada de incorporar, sostener, entrenar y mantener tropas y recursos disponibles para ser puestos a disposición del Estado Mayor de Operaciones, quien en este caso será el encargado de liderar los procesos anteriormente descritos para que el Ejército cumpla cualquiera de las misiones encomendadas bajo el concepto de operaciones multimisión, que incluye participación en operaciones de paz, búsqueda y rescate, desminado humanitario, etc.

Una vez identificado el MSV para el SsL, se muestran los respectivos canales de comunicación existentes entre todos y cada uno de los actores del subsistema propuesto (Figura 3). En línea sostenida de color blanco se muestra el canal de comunicación que existe entre el entorno y el sistema 1, nótese que existe una línea de mayor espesor, esto se debe a que representa la interacción entre el entorno y todo el Subsistema de Logística. Las líneas más delgadas representan el canal existente entre cada operación del sistema 1 (Batallón) y su propio entorno. En ambos casos estas líneas indican una relación de doble vía, por donde fluye no solamente información, sino materiales, recursos y todo aquello que provenga del entorno.

Por otra parte mediante la línea azul que sale del metasistema y específicamente del sistema de planeación, hacia el entorno relevante, se pretende indicar la importancia que reviste el sistema 4 (planeación) para todo el subsistema, ya que por esto, de manera permanente tendrá la obligación de revisar, analizar y tomar acción con respecto al entorno relevante y cambiante, debido a que requerirá realizar los ajustes necesarios, modificar los planes y replantear la estrategia cuando sea demandado, así asegurar el cumplimiento de las políticas de generadas por el sistema 5.

Las líneas de color rojo representan la jerarquización de la auditoría o sistema 3 (representado con triángulos de color blanco), es decir, que quien efectúa la auditoría (COLOG) depende del metasistema o dirección, por lo cual sus reportes y el producto de su proceso serán informados a este último. A su vez el proceso de auditoría cuenta con “homólogos” en cada operación del sistema 1 (Batallón), quienes son los encargados de retroalimentar al COLOG o realizar seguimiento y control específico en el respectivo nivel. No obstante, y dado que no toda la información que salga del proceso de auditoría en el nivel de Batallón, será requerida ni relevante en el nivel superior.

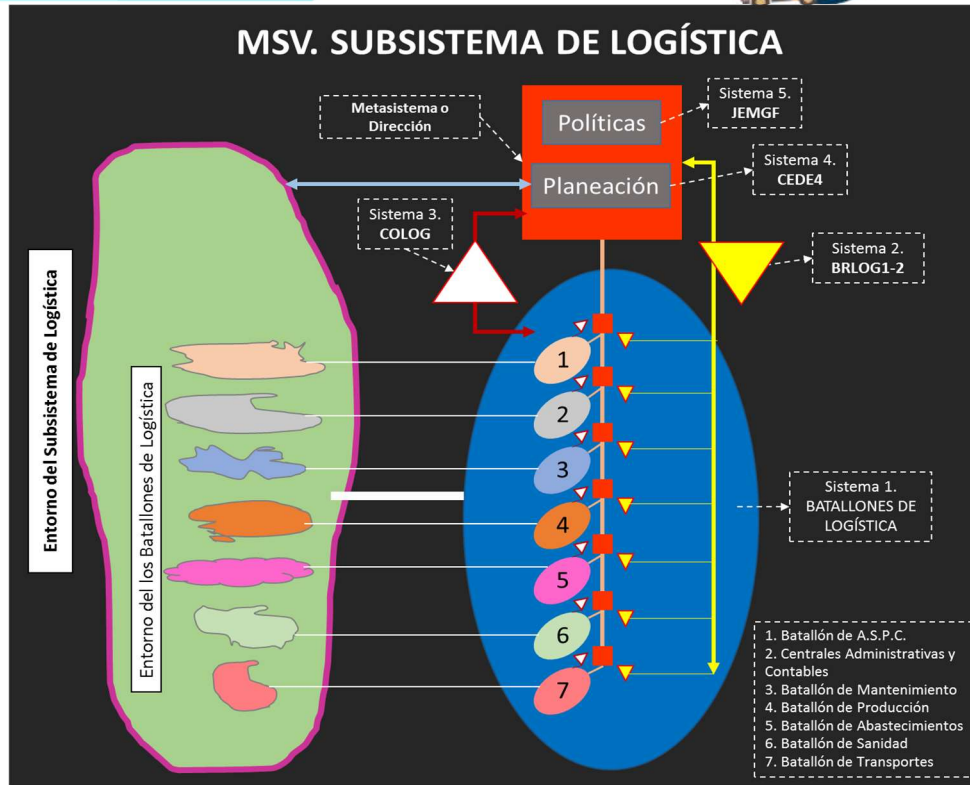


Figura 2. Modelo de Sistema Viable del Subsistema de Logística del Ejército. Fuente: Los autores.

Tabla 1. Asignación de nombres a los sistemas del Sistema Ejército y Subsistema de Logística. Fuente. Los autores.

Sistema	Nombre planteado por diferentes autores				Nombre y responsables definidos para el caso Ejército		
	Beer	Livas Cantú	Walker	Sánchez	Nombre del sistema	RESPONSABLE	
						SISTEMA EJÉRCITO	SUBSISTEMA DE LOGÍSTICA
1	Implementación	Operación	Operación	Implementación	Operación	JEMGF - JEMOP	UNITACTICAS DE LOGÍSTICA
2	Coordinación	Coordinación	Estabilidad	Coordinación	Coordinación	SECEJ	BRLOG1 - 2
3	Integración	Auditoria	Mejora Continua	Control	Auditoria	CEIGE	COLOG
3*	Canal Auditor	-	-	-	-	-	-
4	Inteligencia	Planeación	Adaptación al entorno	Inteligencia	Planeación	JEMPP	CEDE4
5	Política	Identidad	Políticas	Política	Políticas	COEJC	JEMGF

En color naranja se muestra la línea de dependencia que parte del metasistema y rige al sistema 1, asimismo los diferentes metasistemas, que para el caso particular del SsL tienen injerencia en

los Batallones que conforman el sistema 1. La relación que existe entre el metasistema y el sistema 1, es de direccionamiento. El sistema 2, coordinación, es representado mediante un triángulo amarillo y al igual que las demás funciones, es replicada en todos los niveles del MSV. Con la función de coordinación, bajo la responsabilidad de las Brigadas de Logística, se espera obtener una resolución dinámica de los conflictos, así como brindar estabilidad al sistema, ya que estas Unidades Operativas Menores se convierten en punto de control para los Batallones integrantes del sistema 1, esta interacción se representa gráficamente, mediante línea continua de color amarillo.

Todas las interacciones y responsables en el subsistema de logística (ver tabla 1), cumplen con un mismo objetivo, garantizar el cumplimiento de las políticas estratégicas, el direccionamiento estratégico, sin embargo se puede entender que los diferentes niveles de la organización se puede alinear con la estructura jerárquica y de sucesión del mando establecida para las Fuerzas Militares, en las que cada cargo es ocupado por un Oficial con un grado o perfil profesional superior al de sus subalternos.

2.4. Indicadores de Gestión y su aplicación en LIM2

Los indicadores de gestión son de una alta importancia en las organizaciones, ya que permiten tener una radiografía de las determinadas áreas que se requieran verificar, estos permiten obtener datos gerenciales con los cuales se puede realizar el ejercicio de toma de decisiones de manera más eficiente. En una organización también se debe contar con el mínimo número posible de indicadores que nos garanticen contar con información constante, real y precisa sobre aspectos tales como: efectividad, eficiencia, eficacia, productividad, calidad, la ejecución presupuestal, la incidencia de la gestión, todos los cuales constituyen el conjunto de signos vitales de la organización. (Mora Garcia, 2008). Los objetivos de la organización pueden analizarse utilizando los CFS (Critical Success Factor) Factor Crítico de Éxito y los KPI (Key Performance Indicator) Indicador Clave de Desempeño, las cuales son técnicas que son utilizadas bajo el contexto del diseño de planes relevantes, y en la medición y análisis de los objetivos a alcanzar por una determinada organización (12manage, 2016).

Ahora bien, un indicador de gestión por sí solo no arroja información suficiente acerca del desempeño de una organización, ni de sus componentes, es necesario que los indicadores se encuentren incluidos dentro del sistema de medición de desempeño de la estructura funcional, de esta manera cobraría sentido realizar una medición integral que abarque diferentes aspectos y niveles de la organización. El diseño del sistema de medición de la organización es de alta importancia, por eso sus tres niveles (estratégico, táctico, operativo) deben participar en su concepción. Otros autores al respecto manifiestan “una tarea esencial del líder y de su equipo es establecer el sistema de medición del desempeño de la organización, de modo que se tenga claro cuáles son los signos vitales de salud de la organización y los procesos. De esta manera será posible encauzar el pensamiento y la acción (mejora) a lo largo del ciclo de negocio en los

diferentes procesos. En este sentido, hoy se sabe que los reportes de los resultados financieros no son suficientes para medir la salud actual y futura de la organización” (Gutierrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009).

Como se mencionaba anteriormente los indicadores de gestión pueden ofrecer “diferentes puntos de vista” de la organización, esos puntos de vista se miden con relación a la eficiencia, eficacia y efectividad, productividad, calidad y demás aspectos que se consideren importantes dentro del sistema. Existen diferentes tipos de indicadores: financieros y operativos, los cuales permiten medir el costo total (unidades monetarias) de la operación logística, relacionándose estos con el servicio al cliente, planeación, administración, adquisición, distribución y almacenamiento.

Los indicadores de tiempo, que permiten conocer y controlar la duración en la ejecución de las operaciones logísticas, por ejemplo, el tiempo de cargue de una línea de producción, el tiempo estándar de una actividad logística, es así como el lead time podría ser considerado de este tipo; los indicadores de tiempo muestran las variaciones generadas de un período a otro durante la ejecución de sus procesos. Los indicadores de calidad, perciben la eficiencia con la cual se realizan las actividades relacionadas al proceso logístico, es decir, el nivel de perfección del proceso en lo que tiene que ver con la gestión de los pedidos, la manutención de las mercancías, los procesos de picking y packing, el transporte, etc. Por otra parte, los indicadores de productividad presentan la capacidad de la Gestión Logística de utilizar eficientemente los recursos asignados, tales como, mano de obra, inversión en inventarios, capacidad de almacenamiento, entre otros.

Por último, los denominados indicadores de la entrega perfecta o excelencia logística, “es la máxima efectividad en las entregas de los productos a los clientes finales y se conoce como el momento de la verdad o FACE to FACE con el cliente y donde se verifican todas las variables logísticas que integran la calidad total en la entrega al consumidor final y no sólo se incorporan las variables de tiempo, calidad y documentos sino la presentación de la tripulación de entrega y sus respectivos equipos de transporte”(Mora Garcia, 2008)

En el ámbito militar el funcionamiento de los indicadores es básicamente el mismo, sin embargo, la ponderación entre eficiencia, eficacia y efectividad puede variar. Sahid C. (1998) relaciona estos conceptos con el de Logística de Clase Mundial, cuyo objetivo es determinante para una Nación, cuando de conseguir la victoria en un conflicto armado se trata o también para el éxito económico doméstico o internacional. Su definición de efectividad se basa en el logro de las metas y objetivos con un determinado nivel de precisión, implicando alcanzar los propósitos de la organización, mediante procesos eficientes y eficaces. Este autor también señala que existe una relación directamente proporcional entre la eficiencia y la eficacia, cuyo resultado se traduce en el éxito de las operaciones logísticas ejecutadas, en el contexto de Logística de Clase Mundial.



Uno de los indicadores con mayor impacto en el proceso de Adquisición de bienes y servicios denominado “ejecución general de presupuesto”, tiene por objeto, identificar el avance general de presupuesto en Gastos de Personal, Gatos Generales y Gastos de Inversión, permitiendo determinar el estado de ejecución presupuestal de las áreas de adquisiciones, unidades centralizadoras y centrales administrativas y contables.

Su cálculo se realiza tomando como referencia el estado general del presupuesto de cada área, dependencia o unidad, posteriormente se efectúa la comparación con el reporte inmediatamente anterior y se determina el avance o estado alcanzado en cuanto a CDP, CRP, Obligación y Pago. Este valor se compara con el valor ideal planteado como política y se determina o no su cumplimiento. La periodicidad del indicador es semanal y la fuente de información es el Sistema Integral de Información Financiera (SIIF)

$$\%CDP = \frac{\text{Valor con CDP(actual)}}{\text{Valor Apropiación actual}} \times 100$$

$$\%CRP = \frac{\text{Valor con CRP(actual)}}{\text{Valor Apropiación actual}} \times 100$$

$$\%OBLIGACIÓN = \frac{\text{Valor con Obligación(actual)}}{\text{Valor Apropiación actual}} \times 100$$

$$\%PAGO = \frac{\text{Valor con PAGO(actual)}}{\text{Valor Apropiación actual}} \times 100$$

Este conjunto de indicadores, permiten determinar si el presupuesto inicialmente cargado como apropiación, ha recibido el respectivo trámite, de acuerdo con las etapas contractuales, esto permite identificar si alguna área, dependencia o unidad, requiere realizar ajustes en sus procesos contractuales o si presentó algún inconveniente que le impidió adelantar una adecuada ejecución presupuestal.

Es necesario tener en cuenta que todas las entidades del Estado están en la obligación de ejecutar el presupuesto asignado en los tiempos pertinentes, ya que cualquier presupuesto asignado y cargado como apropiación, que posteriormente fuera reintegrado o reducido por falta de gestión de la entidad, genera a la entidad responsable ciertos “castigos” presupuestales en la siguiente vigencia. Gráficamente el indicador se puede representar de la siguiente manera:



TIPO DE GASTO	APROPIACIÓN	CDP	% CDP	CRP	% CRP	OBLIGACIÓN	% OBL	PAGO	% PAG. % GRAL
GASTOS DE PERSONAL	\$ 678.295.017.131,77	\$ 676.268.441.969,87	100%	\$ 675.288.141.215,24	100%	667.400.453.534,93	98%	667.396.953.534,93	98% 99%
GASTOS GENERALES	\$ 712.658.453.206,92	\$ 664.466.881.033,66	93%	\$ 389.570.077.648,21	55%	196.611.887.525,29	28%	188.866.110.197,75	27% 50%
INVERSION	\$ 193.621.985.871,33	\$ 192.230.552.011,33	99%	\$ 106.270.996.146,85	55%	27.341.472.555,57	14%	26.664.326.037,07	14% 46%
TOTAL EJECUCION	\$ 1.584.575.456.210,02	\$ 1.532.965.875.014,86	97%	\$ 1.171.129.215.010,30	74%	891.353.813.615,79	56%	882.927.389.769,75	56% 71%

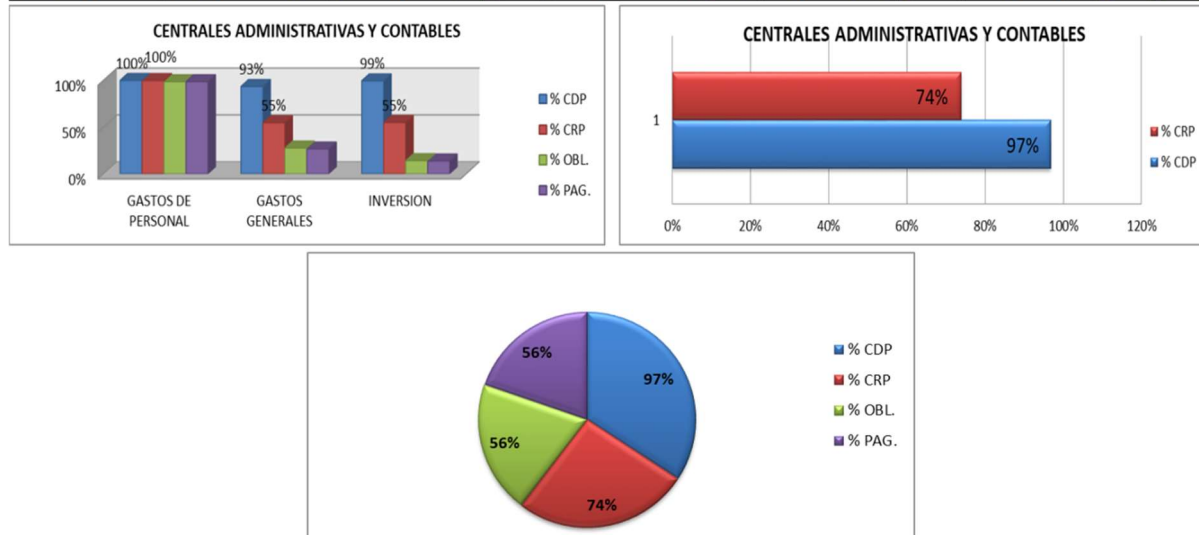


Figura 3. Ejemplo del estado presupuestal de las Centrales Administrativas y Contables en el segundo trimestre de la vigencia.

La interpretación de la información presentada, obedece al cumplimiento de las políticas de la organización en el tema de adquisiciones, advirtiendo que a más tardar el último día del primer trimestre de cada vigencia, el noventa por ciento (90%) del presupuesto asignado (apropiación) debe encontrarse con Certificado de Disponibilidad Presupuestal (CDP), esto indica que el presupuesto ya se encuentra “comprometido” en algún proceso contractual y que la institución muestra agilidad en la elaboración de los procedimientos de la etapa precontractual. Otra política en lo que respecta al Certificado de Registro Presupuestal (CRP) indica, que a más tardar el último día del segundo trimestre de cada vigencia, el noventa y cinco por ciento (95%) del presupuesto asignado se debe encontrar con CRP, indicando de esta manera que ya existe un contrato y que el presupuesto descrito en el mismo, no puede ser utilizado en otro proceso de contratación. De igual forma el presupuesto debe quedar obligado en su totalidad a más tardar el último día del tercer trimestre de cada vigencia, consecuente con esto la política institucional es que todo el presupuesto debe quedar pagado al respectivo contratista antes del cierre de la vigencia.

2.5. Sala de comando y control, Chile y su experiencia

En 1970 cuando inicia el mandato de Salvador Allende como presidente de Chile, surge en ese País, la necesidad de integrar diferentes sectores económicos públicos y privados, de acuerdo con la intención plasmada en ese plan de gobierno. Parte de esta responsabilidad recaía en un

organismo del Estado denominado Corporación de Fomento de la Producción de Chile (CORFO), entidad que fue retada a implementar un sistema de captura, procesamiento y presentación de información para la gestión. (Ossa et al., 2005). Aparece entonces, la necesidad de desarrollar una herramienta potente que provea al gobierno chileno la capacidad de toma de decisiones en tiempo real y a su vez pronostique el comportamiento de las variables económicas del país, así nace el Proyecto CYBERSYN. En este proyecto participo Stafford Beer, académico y consultor británico, experto en investigación de operaciones, denominado “padre de la cibernética organizacional” y desarrollador de la teoría del Modelo de Sistema Viable (MSV o VSM).

El Proyecto Cybersyn (Sinergia Cibernética) o también conocido como SYNCO (Sistema de Información y Control), planteaba el uso y aplicación de conceptos relacionados con la cibernética organizacional y el Modelo de Sistema Viable. Para el diseño de este proyecto sus creadores contemplaron que los componentes que permitían garantizar el cumplimiento de los objetivos eran: “Un modelo de organización”, “Información en tiempo real”, “Red de comunicaciones”, “Modelos operacionales alimentados en tiempo real”, “Programa computacional”, “Manejo de datos y estructura de la información”, “Simulación Dinámica de Sistemas” y “Sala de Operaciones” (Espejo, 1973).

Desafortunadamente para la ciencia, la Sala de Operaciones y el Proyecto CYBERSYN, nunca fue utilizado en su totalidad, debido a múltiples razones, tanto técnicas como políticas. Como antecedente se tiene referencia que el proyecto sirvió como herramienta para coordinar el despacho de camiones desde y hacia las empresas durante la huelga del transporte de octubre de 1972. Esto se realizó a través de una red de télex que era de uso amplio en CORFO. (Ossa et al., 2005).

3. CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado en el Subsistema de Logística del Ejército permitió identificar las variables relacionadas en la gestión de información logística, para plantear el enfoque de la solución propuesta. En términos generales, el diagnóstico da cuenta de la necesidad de implementar un modelo de gestión de información que le permita al Ejército Nacional de Colombia la toma de decisiones referentes a logística en tiempo real, que sea utilizada en los diferentes niveles de la organización, y que a su vez permita el control de los procesos de Gestión Logística (planeamiento logístico, adquisición de bienes y servicios, operación logística).

El diseño del Modelo de gestión de información logística basado en procesos (LIM₂), tuvo en cuenta la estructura organizacional actual del Ejército, así como los roles y responsabilidades designados a cada dependencia. De igual forma dentro de su diseño fueron contemplados los procesos de Gestión Logística, descritos en el modelo integrado de gestión logística (MIGL), como Planeamiento Logístico, Adquisición de bienes y servicios y por último, operación logística.



LIM₂ permite integrar la gestión de información y la toma de decisiones, en cada uno de los procesos descritos en el modelo integrado de gestión logística, adoptando la estructura jerárquica y de interacción propuesta bajo los conceptos del modelo de sistema viable (MSV), para proporcionar al tomador de decisiones, herramientas que faciliten el comando y control de su organización. De igual forma LIM₂ utiliza como fuente primaria, los sistemas de información en la cadena de suministro (supply chain information systems, SCIS), utilizados actualmente por el Ejército: ERP SAP® y SIIF.

La validación del modelo se efectúa mediante el análisis y comparación de las variables identificadas con alto impacto y alta prioridad para el SsL, permitiendo visualizar que, si bien es difícil atacar todas las causas raíz, LIM₂ proporciona a la institución las herramientas necesarias para realizar seguimiento a todos los procesos de gestión logística. La efectividad en la toma de decisiones en el SsL, depende principalmente de dos factores: experiencia del tomador de decisiones y la calidad de los datos registrados en los sistemas de información, sobre los cuales se soporta LIM₂.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el desarrollo de este artículo a la Universidad Militar Nueva Granada, la Facultad de ingeniería en el programa de Ingeniería Industrial y maestría en Logística Integral en el desarrollo de la maestría en Logística y a el Ejército Nacional de Colombia quien desarrollo un proceso de acompañamiento en el desarrollo del presente documento.

REFERENCIAS

- Acosta, L. (2000). Cibernética y teoría de sistemas. *Las Matemáticas del siglo XX. Una mirada en 101 artículos*, 233-236.
- Beer, S. (1972). *Brain of the firm* (Segunda ed.). Bath, Avon: Jhon Wiley & Sons.
- Beer, S. (1973). *Proyecto SYNCO - Practica cibernetica en el gobierno*. Santiago de Chile: Direccion informatica CORFO.
- Beer, S. (1985). *Diagnosing the System for Organizations*. Great Britain: John Wiley & sons.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Davis, D., Kilcullen, D., Mills, G., & David, S. (2016). *¿Un gran quizás? Colombia: Conflicto y convergencia*. Bogotá: Editorial Planeta Colombiana.
- Ejército Nacional de Colombia. (2012). *Diseño y metodología para la transformación*. Bogotá: Seccion de Publicaciones del Ejército.



- Espejo, R. (1973). *Proyecto SYNCO - Conceptos y practica del control; una experiencia concreta: La dirección industrial en Chile*. Santiago de Chile: Corporación de Fomento de la Producción Chile.
- García, D. (2018). Diseño de un modelo de gestión para información logística del Ejército Nacional de Colombia (Tesis de maestría). (U. M. Granada, Ed.) Bogotá, Colombia.
- Gutierrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma* (Segunda ed.). Mexico D.F: Mc Graw Hill.
- Hellriegel, D., & Slocum Jr, J. W. (2004). *Comportamiento Organizacional* (Decima ed.). Mexico, DF: Thomson.
- Kress, M. (2002). *OPERATIONAL LOGISTICS The Art and Science of Sustaining Military Operations*. New York: SPRINGER SCIENCE+BUSINESS MEDIA, LLC. doi:10.1007/978-1-4615-1085-7
- Livas Cantu, J. (32 de Mayo de 2009). Modelo de Sistema viable. Recuperado el 21 de Abril de 2017, de https://www.youtube.com/watch?v=_ybA-mMUssY
- Martin Peña, M. L., & Reyes Recio, L. (9 de Mayo de 2016). *Madrid Excelente*. Obtenido de <http://www.madridexcelente.com/files/8e1cdf401549.pdf>
- Ministerio de Hacienda y Credito Público. (23 de Febrero de 2018). *Ministerio de Hacienda y Credito Público*. Obtenido de Minhacienda: http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda/faces/portales/siifnacion;jsessionid=nzbDcfbaXpf2uroxxTnxSPF4XoOm4Pwj9OZq1PAfjAkGrNcjT3-w!524266930?_afLoop=330438307148252&_afWindowMode=0&_afWindowId=null#!%40%40%3F_afLoop%3Dnull%26_afLoop%3D330438
- Mora Garcia, L. A. (2008). *Indicadores de la gestion logística*. Bogota: Ecoe.
- Perez Rios, J. (2008). Aplicación de la cibernética organizacional al estudio de la viabilidad de las organizaciones. Patologías organizativas frecuentes (Parte 1a). *DYNA*. Vol. 83 No.5, 265-281.
- Perez Rios, J. M., Sanchez Mayoral, P., & Puche Regaliza, J. C. (2008). Sistemas de Información y Cibernética organizacional. *II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, 417-427.
- Sahid C., F. E. (1998). *Logística pura: mas alla de un proceso logístico*. Bogotá: Litograficas Pabon.
- Sanchez Rueda, N. (1995). El modelo de sistema viable: un instrumento para la organización efectiva. *Revista EAN*, 5-14.
- Serna Gomez, H. (2014). *Gerencia Estratégica* (Undécima ed.). Bogotá: Panamericana Editorial - 3R Editores.



Stephens, J., & Haslett, T. (2003). Demystifying Beer – do you want fries with that? *Monash University*.

Walker, J. (1991). *The viable system model a guide for co-operatives and federations* (2.21 ed.). Directorate General XXIII of the Commission of the European Communities. Obtenido de <http://www.greybox.uklinux.net/vsmg/>

Wiener, N. (1965). Cybernetics: Definition, History, Etymology. *Social Science Vol. 40*, 226-228.



REDISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE PRONÓSTICO DE MATERIAL AERONÁUTICO REQUERIDO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROGRAMA ANUAL DE SOPORTE LOGÍSTICO (PASLO) EN LA FAC

Diego Hernán Silva Martínez

Álvaro Fernando Moncada Niño

Yeisson Alexis Rincón Cuta

Maestría en Logística Aeronáutica, Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana

RESUMEN

En busca de proponer un procedimiento que permita obtener resultados más cercanos al óptimo, tomando como marco de referencia el aplicado hasta el inicio de la presente investigación; se desarrolla un análisis utilizando metodologías de series de tiempo, para determinar pronóstico del material que eran obtenidos a través de pronósticos, sin evaluar el margen de error de las diferentes técnicas aplicadas; las anteriores estaban ocasionando un incremento en el valor de los inventarios de los almacenes institucionales. Lo que permitió abordar la investigación, basados en la siguiente pregunta: ¿Cómo optimizamos o perfeccionamos el procedimiento de pronóstico de los almacenes?

ABSTRACT

In order to propose a procedure that allows obtaining results that are closer to the optimal, taking as a frame of reference the one applied until the beginning of this research; an analysis is developed using time series methodologies to determine the forecast of the material that was obtained through forecasts, without evaluating the margin of error of the different techniques applied. The previous ones were causing an increase in the value of the inventories of institutional warehouses. This allowed the investigation to be carried out, based on the following question: How do we optimize or improve the warehouse forecasting procedure?

1. INTRODUCCIÓN

La investigación se debe enfocar los esfuerzos en la optimización de los requerimientos y el presupuesto que traslado la Fuerza Aérea Colombiana, para el funcionamiento; mediante la implementación del rediseño del modelo de pronósticos; ¿el cómo?, aplicando una metodología basada en series de tiempo y de causalidad, clasificando los pronósticos mediante el establecimiento de su nivel y su tendencia; esto está siendo validado para que al final del ejercicio,



se integre en una función de análisis de regresión, que permita efectuar una cantidad de pedido acorde a las necesidades y optimizando el presupuesto.

Adentrándose en el problema de investigación, se analizará la información con datos del año 2016, la rotación de inventarios en los almacenes aeronáuticos a nivel institucional estaba alrededor de 270 mil millones de pesos de los cuales, el cincuenta y dos (52%) por ciento de ese material se encuentra sin rotación (ver Figura 1).

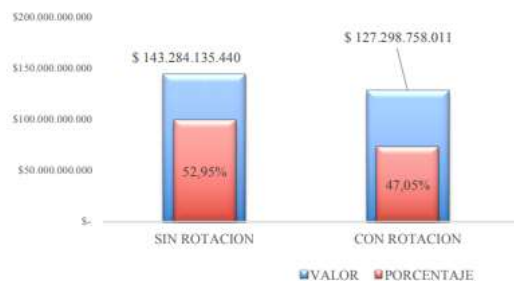


Figura 1. Presupuesto de material sin rotación.

Los objetivos planteados para el desarrollo de la investigación para el “rediseño la nueva metodología del pronóstico”, se estableció mediante los siguientes objetivos específicos:

- Primero: Identificar la problemática en el modelo que se estaba desarrollando
- Segundo: Determinar las acciones de mejora en la metodología del pronóstico
- Tercero: Modelar los resultados con el nuevo método de pronóstico.

2. ANTECEDENTES

La investigación de las novedades del sector inicia explicando el poder de la planeación actual; la Fuerza Aérea Colombiana tiene un modelo de producción de bienes y servicios básicos, que se consideran de mediano plazo con un año de anticipación; los profesionales de la Fuerza Aérea plantean la planeación de sus requerimientos, con base en la adecuación de los tiempos alrededor de seis meses de trabajo, desarrollando un plan de actividades con todas las unidades de la Fuerza Aérea Colombiana, dicho trabajo, desarrollado de manera conjunta, enfocado a establecer el modelo; inicia con el estudio de mercado que permite evaluar las propuestas y revisar los procesos de contratación en la FAC¹, permitiendo evidenciar que alrededor de 213 días, se toma como tiempo de entrega promedio, teniendo en cuenta que existen diferentes connotaciones que se presentan al cumplimiento del objeto contractual, por lo que:

¹ Fuerza Aérea Colombiana



- Se establece un tiempo promedio de entrega, de 90 días para que los proveedores puedan cumplir con los contratos de bienes y servicios
- Al final del ejercicio, la planeación se establecía para un año de aprovisionamiento, 365 días; con ello poder cumplir con las operaciones aéreas.

El modelo de pronóstico corresponde a utilizar una técnica para poder establecer el comportamiento más esperado de los datos en un futuro a corto y mediano plazo, el cual tiene un componente sistemático, todo pronóstico, mantiene componentes de nivel de tendencia y/o estacionalidades, estos componentes se requieren para desarrollar operaciones matemáticas, de acuerdo con la demanda de tipo exponencial a la cual se le realizan ajustes a través de suavizaciones aritméticas, así también, la regresión lineal de un solo crecimiento exponencial con una muestra de tendencia, también fortalecen el resumen inicial del modelo matemático; se debe resaltar que no existe una proyección contra todo pronóstico, no debe considerarse como el 100 por ciento efectivo, puesto que siempre se evidencia un margen de error.

De todos, se presenta un componente de error (ver Tabla 2.errores de formulación), que fue uno de los logros de las causas raíces que se identificaron dentro del trabajo de investigación, en donde efectuando adquisiciones de material, con modelos de pronósticos que estaban generando altos porcentajes de error, que al final de la inteligencia, inducen que el pronóstico quedara en el inventario de valoración.

Tabla 2.errores de formulación. Fuente: Los autores.

1.ID	2.DESCRIPCIÓN	3.CONSECUENCIA
1	Proyección de consumo de material en el Pronóstico de consumo del próximo lapso (PCPLa), cuando el Pronóstico de consumo próximo lapso de la matriz (PCPLMa) pronostica 0	Cálculo erróneo del Stock inicial del próximo lapso (SIPL).
2	Cálculos de stock de seguridad cuando el Pronóstico de la matriz general (PMTZ) determina que el requerimiento es 0.	Incremento de pedidos que no están soportados por un pronóstico.
3	Calculo de necesidades en el pronóstico final (PF) en materiales reparables, sin descontar el inventario del almacén	Incremento de cantidades y pedidos, al no tener en cuenta el inventario servicable.
4	No existen ajustes a los pronósticos con altos niveles de error	Pedidos con alta probabilidad de no consumo.
5	No se evidencia el cálculo de la tendencia y estacionalidad de la serie de tiempo, para seleccionar el mejor modelo, antes de aplicar el cálculo del MAD.	Selección de modelos que no se ajustan al comportamiento de la serie de tiempo.
6	En el cálculo del stock ideal, el dividendo está sumando y restando el stock de seguridad (SS)	No genera valor agregado a la estructuración de pedidos.
7	El cálculo del modelo Holt-Winters, no está realizando el ajuste por estacionalidad de la serie de tiempo	Es error conceptual en la estructuración del modelo. No se cuenta con un ajuste de la estacionalidad de la serie de tiempo.

Se centró en efectuar un análisis de regresión, intentando determinar la correlación que existe entre el error del pronóstico, contra el porcentaje de utilización del inventario, el sistema de gestión de calidad a nivel institucional determina que el proceso de planeación debe tener por lo menos un noventa (90%) por ciento de rotación de inventarios, lo que se plantea adquirir como consecuencia, debe tener un mínimo porcentaje de rotación del noventa (90%) por ciento de los almacenes.

3. METODOLOGIA

Se realizó el análisis de regresión que permitió determinar la correlación que existe, dentro de los errores del pronóstico contra el porcentaje de utilización del inventario; con el propósito de verificar que las adquisiciones de los bienes y servicios quedaran dentro del análisis del resultado inicial, mitigando el margen de error entre las adquisiciones y el consumo de los inventarios. A través de la investigación, se analizó el modelo de pronóstico organizado y funcional, en donde, se determinó inicialmente que el sesenta (60%) por ciento del inventario que se encontraba, correspondía y debía ser en consecuencia del proceso de planeación efectuado en el año anterior y acorde al nivel de responsabilidad, el resto del cuarenta (40%) por ciento, se evidenció a causas externas al modelo de pronóstico.

Los procedimientos de planeación a través del análisis de regresión y validación de los errores de los pronósticos realizados, en este caso para la variable (x), que significa Error Porcentual del pronóstico, como una de los hallazgos en el proceso de investigación, se encontró que el modelo actual no determinaba qué el modelo tenía un treinta y seis (36%) por ciento de probabilidad que el material tuviera una rotación, lo que no permitía cumplir con el sistema de gestión de calidad que exige una rotación entre el noventa y noventa y cinco (90% y 95%); por lo anterior, se debió ajustar el nivel y tendencia de acuerdo al modelo matemático.

Mediante la aplicación de los datos a las diferentes técnicas de series de tiempo, se logró determinar el perfil del trabajo que establecía el modelo que se encontraba en aplicación, en los mejores resultados, contenía una muy baja probabilidad de Gestión de Calidad u oportunidad de cumplimiento de las exigencias de eficiencia que establece un mínimo de rotación igual o superior al noventa (90%) por ciento de los casos en los inventarios.

En la variable (Y), se determinó el porcentaje de consumo del pronóstico, solamente ascendió al 56 por ciento con respecto a lo planeado, siendo que la hipótesis planteada es determinar la técnica para obtener consumos entre el noventa (90%) y el cien (100%) por ciento de los inventarios; la hipótesis inicial se plantea, para poder determinar y así realizar los ajustes del pronóstico, estableciendo el nivel de error que la Fuerza Aérea Colombiana está dispuesta a aceptar por las condiciones del proceso y para mantener el pronóstico, de manera que sea más eficiente proyectar la adquisición del bien o del servicio para el año siguiente.



3.1. Desarrollo Metodológico

Se realizaron modulaciones con diferentes Análisis de regresión, con base en los datos del pronóstico realizado en 2016, se realizó la modelación mediante un arreglo Lineal, el cual determinó que el índice de correlación que existe entre las dos variantes es de un 0,21, teóricamente considerado muy bajo, por tanto, los esfuerzos se orientaron a realizar los ajustes necesarios, a través de un análisis de regresión exponencial, de Análisis de regresión potencial, y por última opción se obtuvo que el mejor modelo que se podía ajustar con mayor correlación entre los datos, era una función de regresión lineal Polinomial, el cual tenía una correlación de 0,45, sigue siendo teóricamente bajo, sin embargo fue la fórmula que más se ajustaba al comportamiento de los datos evidenciados en la Figura 1. Distribución polinomial, aquí se observa, el comportamiento de la regresión que se determinó con el modelo aplicado y la mejora que se realizó en los procedimientos del modelo de planeación propuesto; principalmente en el haber identificado inicialmente la selección del mejor método del modelo de planeación con el cálculo de la correlación de los datos.

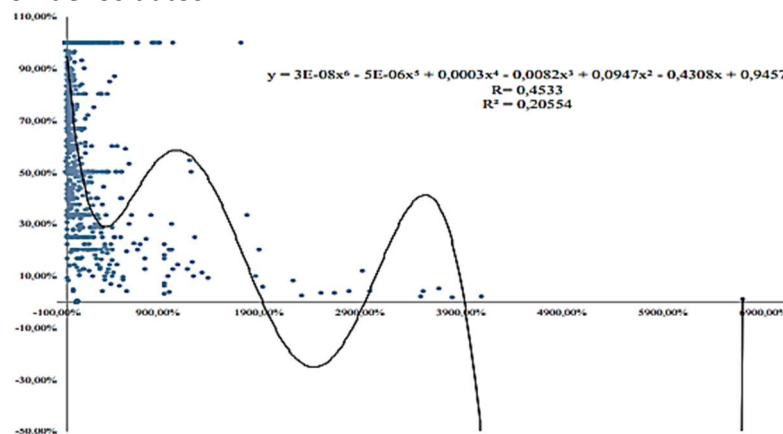


Figura 1. Distribución polinomial. Fuente: Los autores, extraído FAC.

A través del análisis de las variables de los años y los movimientos de almacén utilizando modelos de series de tiempo, aplicando a los que tuvieran menos del punto ocho (0,8) de correlación, se realizaron modelamiento del promedio móvil y promedio de suavización exponencial simple y se escogía el modelo que obtuviera un menor porcentaje de error, en la serie de tiempo que tuvieran Mayor Correlación a punto ocho (0,8), se estableció que se seleccionará el que mejor margen error de estos tres modelos de:

- Suavización exponencial con ajuste de tendencia
- Regresión lineal
- Suavización con alguna tendencia y estacionalidad

Se determinó los modelos de series de tiempo, que tuvieron entre punto diez (0,10) y punto treinta y seis (0,36) de margen de error, se autorizaba el proceso de adquisición del bien y del servicio, por qué esta fórmula permite validar probabilísticamente, determinar que estos porcentajes de error van a elevar la probabilidad de obtener por lo menos un 90 por ciento del consumo de los valores de inventario de los almacenes.

4. RESULTADOS

Se determinó que las series de tiempo que demostrarán porcentajes de error mayores al punto treinta y siete (0,37), se realizaran ajustes al pronóstico, sin embargo, si definitivamente los modelos que estuvieran en márgenes superiores a punto treinta y ocho (0,38) en su porcentaje de error, definitivamente la decisión de no realizar el procedimiento de contratación.

Lo que reflejo que los modelos como se estaban desarrollando, independientemente del porcentaje de error, se realizaban las adquisiciones con porcentajes de error demasiado elevados que al final del ejercicio no se generaba una rotación de inventario. Se realizó el cruce de los dos modelos, el que se ejecutó en el año 2016 y se corrió el modelo propuesto encontrando que las mejoras evidenciadas dentro de ese proceso de adquisición, con respecto al modelo antiguo, evidencio que debían revisar 1078 elementos, dado que, con la mejora en la integración de la función Polinomial, se determinaba solicitar al proceso de adquisición, únicamente seiscientos quince (615) elementos, lo que es una disminución cercana al 40% de las compras inicialmente proyectadas con el modelo anterior.

Aquí se evidencia la mejora en el consumo, a través de evaluar la reducción del gasto, que se determinó en esta oportunidad, al recordar que el sistema de calidad de la Fuerza Aérea Colombiana, determina que la rotación de inventario debe ser del noventa (90%) por ciento del inventario como parámetro de aceptación, el modelo antiguo llegó al setenta y cuatro (74%) por ciento, por lo anterior solo el nuevo modelo consigue alcanzar el margen exigido de calidad en esta ocasión.

Al haber alcanzado, el nivel de los noventa (90) por ciento de rotación de inventarios en el modelo propuesto, se afirma que en los casos anteriores, el modelo ocasionó que los almacenes, se hubieran incrementado en 4 mil 36 millones de pesos en inventarios sin rotación; si se hubiera efectuado el modelo propuesto del inventario, cada uno de sus almacenes hubiera sido de 447 millones, que al final del ejercicio por el stock de seguridad, son materiales que hubieran estado en el inventario, situación que no sucedió con el anterior modelo, véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Tabla 2. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

1.DESCRIPCIÓN	2.MODELO ACTUAL	3.MODELO PROPUESTO	4.DIFERENCIA	5.RESULTADOS OBTENIDOS
Pedidos realizados	2078	617	1461	El modelo propuesto disminuyó en un 30% la cantidad de pedidos realizados con cargo al programa.
Porcentaje de consumo promedio (de cada pedido contratado con cargo al programa)	0,69	0,96	0,27	El modelo propuesto obtiene un incremento en la efectividad promedio de consumo de material en un 27%
Porcentaje de consumo obtenido indicador sistema de gestión de calidad	0,74	0,90	0,17	El modelo propuesto incrementa los resultados de los indicadores del sistema de gestión de calidad en un 17%. Con la formulación presentada se asegura el mínimo porcentaje establecido por el indicador de consumo para obtener resultados en arco verde (90%)
Valor en inventario al final del periodo	\$4.136.887.936,00	\$447.301.984,00	\$3.689.585.952,00	El modelo propuesto pudo haber optimizado el presupuesto asignado para el PASLO, con ahorros en compra de material por tres mil seiscientos millones de pesos, los cuales pudieron ser invertidos en contratos abiertos para reacción de adquisición de material a requerimiento de las aeronaves.
MAPE (error porcentual promedio de las series de tiempo que fueron contratadas)	1,22	0,22	1,03	El modelo propuesto realiza contratación de material con bajos porcentajes de error, y alta probabilidad de consumo disminuyendo en 1.03 su error porcentual absoluto medio MAPE. Con la reducción de este error, los pedidos incrementan su probabilidad de utilización.

El porcentaje de error promedio de los dos modelos, presentan datos muy diferentes, mientras se procedió a realizar procedimientos de contratación con MAPE de uno punto veintidós (1,22), más de cien (100%) por ciento de probabilidad de error; la implementación del modelo propuesto que solamente tendría un MAPE de veintidós (22%) por ciento de errores promedio en el centro.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo de pronóstico que utiliza actualmente la Fuerza Aérea Colombiana se encuentra con los siguientes inconvenientes:



- La estrategia que han realizado algunas de las Unidades de la Fuerza Aérea Colombiana, en el sentido de incluir material que no se encuentra pronosticado en la matriz de series de tiempo y correlación, ha obtenido como resultado el incremento de los valores de inventario en los almacenes aeronáuticos. Solamente en el año 2016, tuvo una representación de un 40% (\$2.717.401.152) en el total de elementos que quedaron en inventario; sin embargo, para la institución el 100% de la responsabilidad del valor está siendo cargado al modelo matemático.
- Finalmente, el modelo de pronósticos propuesto optimiza y potencializa la ejecución presupuestal asignada con cargo al programa anual de soporte logístico (PASLO). De acuerdo con la simulación realizada; para la vigencia 2016, el valor del inventario que hubiera quedado en almacenes disminuyó en \$3.689.585.952; presupuesto que pudo haberse utilizado para la asignación de contratos abiertos, para la adquisición de imprevistos de acuerdo con el requerimiento de cada una de las aeronaves de la Fuerza Aérea Colombiana.

Dentro de las recomendaciones se tienen:

- Dar continuidad a la investigación realizada, implementado un modelo cuantitativo con análisis de correlación de más de una variable, como lo es los tiempos de entrega del material, que también influencia los resultados finales de consumo de material, con el objetivo de mejorar la exactitud del pronóstico a realizar.
- Se hace necesario que el Grupo Aeroindustrial de Comando Aéreo de Mantenimiento, implemente un modelo de pronósticos de material utilizando series de tiempo o correlación específico para el cumplimiento del Plan Maestro de Producción, ya que el modelo que está utilizándose actualmente para la realización de requerimientos, es el que más está impactando los valores de inventario de los almacenes aeronáuticos de la institución.

REFERENCIAS

- Aeronautico, D. C. (2015). Procedimiento para la elaboración del Programa Anual de Soporte Logístico Operacional (PASLO). LA-PR- 021, 30. Bogotá.
- Ballou, R. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Ciudad de México: Pearson.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la Cadena de Suministro* (Quinta ed.). México.
- Dowing, M., & Kaparis, D. (2011). *Forecasting in airforce supply chains* (1 ed., Vol. 22). United Kingdom: Emerald.
- Gupta, P. (30 de Julio de 2006). *Beyond PDCA - a new process management model.(4P's cycle (prepare, perform, perfect and progress) to replace PDCA model (plan-do-check-act))*. . Acceso em 15 de Agosto de 2016, disponible em <http://arc3.gsl.com.mx:2059/docview/214765105?OpenUrlRefId=info:xri/sid:primo&accountid=143348>



- Hernandez, R., Collado, C., & Baptista, L. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de Mexico: McGraw-Hill.
- Holton, W., & Keating, B. (2007). *Pronosticos para los negocios con ForecastX basado en Excel*. Ciudad de Mexico: Editorial Mcgraw-Hill.
- Lekar, P. (6 de Diciembre de 2004). *www.forex-tds.com*. Acceso em 17 de Agosto de 2015, disponible em <http://www.forex-tds.com/attachments/elite-section/98075d1267087218-elite-indicators-exponentialsMOOTHING.pdf>
- RAE. (2017). *Diccionario de la lengua española*. Madrid, España. Fonte: <http://dle.rae.es/?id=D9tCS6J>
- Silva, D. (s.d.). *Encuesta sobre la metodología para el calculo del pronostico de material PASLO en la Fuerza Aerea Colombiana*. Acceso em 7 de Julio de 2017, disponible em Recuperado el 7 de Julio de 2017, de https://es.surveymonkey.com/analyze/rOJEMsA5daHTBmb_2BNf8VayOBqG7p_2FpxJL6ebWSWMxUA_3D
- Valdés Hernández, L. A. (2005). *Planeación Estratégica con Enfoque Sistémico*. México D.F.: Fondo Editorial FCA.
- Wheekwrigh, S., & Makridakis, S. (1998). *Metodos de Pronosticos*. Ciudad de Mexico: Limusa.



ADAPTACIÓN DE LA MATRIZ DE LEOPOLD A LA VALORACIÓN DE SIGNIFICANCIA DE VARIABLES EN CALIDAD DE SERVICIO PÚBLICO DE TRANSPORTE TERRESTRE AUTOMOTOR DE CARGA EN COLOMBIA

Dagoberto Castillo Giraldo

Pedro José Sánchez Caimán

Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

RESUMEN

Valorar la relevancia de las variables que intervienen en la prestación de un servicio de transporte, permite que la empresa identifique aquellas que son determinantes en la percepción de la buena calidad por parte del cliente, sin embargo, para el servicio público de transporte terrestre automotor de carga ha sido establecida una caracterización. Esta problemática crea la oportunidad de plantear un acercamiento a la valoración de la relevancia de las variables para la buena calidad en el servicio. En consecuencia, el artículo presenta una valoración de importancia de variables en calidad de servicio público de transporte terrestre automotor de carga, proponiendo una adaptación y aplicación mediante encuestas del método de la Matriz de Leopold, la cual es basada en la opinión de expertos en transporte, con el objetivo de contribuir a posibles investigaciones futuras en el tema.

Palabras clave: Calidad de servicio, calidad en transporte, matriz de Leopold, transporte terrestre automotor de carga.

ABSTRACT

Assessing the relevance of the variables involved in the provision of a transport service, allows the company to identify those that are determinants in the perception of good quality by the customer, however, for the public automotive land transportation service of load has been established a characterization. This problem creates the opportunity to propose an approach to the assessment of the relevance of the variables for good service quality. Consequently, the article presents an assessment of the importance of variables in the quality of public service of automotive land freight transport, proposing an adaptation and application through surveys of the Leopold Matrix method, which is based on the opinion of transport experts, with the objective of contributing to possible future research on the subject.

Keywords: Quality of service, Transportation quality, Leopold matrix, Road Transportation.

1. INTRODUCCIÓN

La operación de Servicio Público de Transporte Terrestre Automotor de Carga (SPTTAC) en Colombia proporciona un servicio de traslado seguro de un bien de un lugar a otro, generalmente debido a que quien solicita el servicio, no dispone del medio de transporte necesario o de condiciones adecuadas para su realización.

Debido a que el SPTTAC es un aspecto relevante en la economía de cualquier país y que la adecuada prestación del servicio determina el éxito de esa operación, surge esta investigación como respuesta a la inexistencia de una valoración del nivel de importancia de variables relacionadas con el tema de estudio. La adaptación que se realiza tiene por objetivo cuantificar con la ayuda de expertos la relevancia de las variables presentes en la operación de transporte terrestre automotor de carga por carretera para Colombia, facilitando de esta manera investigaciones posteriores.

Para la valoración del nivel de importancia de variables en calidad de servicio de transporte se hace uso de la Matriz de Leopold, la cual corresponde método de evaluación de impacto ambiental, “Esta técnica la desarrolló en 1971 Luna B. Leopold cuando trabajaba en el Servicio Geológico del Departamento de Interior de Estados Unidos. Leopold diseñó una matriz o cuadro de doble entrada, con el propósito de establecer relaciones causa-efecto en función de las características concretas del proyecto en cuestión” (Bengoechea, A., 2010).

Para la adaptación de la Matriz de Leopold se realizó un cambio conceptual de sus elementos en la cual originalmente se utilizan factores ambientales y acciones de proyecto. Los factores ambientales serán modificados por Factores de Calidad en Servicio de Transporte (FCST) y las acciones de proyecto serán las variables a analizar. Como resultado de lo anterior, para la cuantificación de variables es necesario identificarlas y establecer los factores de calidad.

Los factores que afectan la calidad del servicio de transporte de carga pueden encontrarse en dos estudios realizados sobre este tema. El primer estudio, analiza la perspectiva del cliente en la medición de los criterios de calidad de servicio, los resultados de la experiencia empírica adquirida por expertos permiten crear una clasificación de indicadores de acuerdo con la importancia percibida, mientras que se valora la calidad de los servicios de logística. Lo anterior mediante una encuesta realizada a 278 participantes y un análisis estadístico descriptivo, una creación de escalas y la verificación estadística de hipótesis realizado mediante el software SPSS (Benuisiene, I. y Petukiene, E., 2012). El segundo estudio, parte del anterior, y analiza qué criterios de la calidad de un servicio de transporte predeterminan la competitividad de tales servicios y qué factores en su mayoría reflejan los criterios clave de calidad de los mismos (Matijošius, J. Vasilis Vasiliauskas, A. Vasilienė-Vasiliauskienė V. y Krasodomskis, Ž., 2015). Del último estudio mencionado se



encuentra el siguiente listado de factores que afectan la calidad del servicio de transporte de carga:

- Precio de la operación de transporte - los costos de la prestación de un servicio de transporte.
- Seguridad - Seguridad del vehículo y la carga durante el transporte.
- Confiabilidad - Mantenimiento permanente de las redes de transporte (seguridad de la prestación de un servicio).
- Accesibilidad de servicios - La prestación del servicio de transporte requerido en el momento y en el lugar adecuado.
- Duración de la entrega - Minimización del número de retrasos.

2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para la valoración de la significancia de variables en calidad de servicio de transporte inicialmente se realizó un cambio conceptual de los términos utilizados en la Matriz de Leopold, así:

- Acciones del proyecto: Variables a evaluar.
- Factores ambientales: Factores de Calidad en Servicio de Transporte.
- Impacto ambiental: Impacto a la calidad del servicio de transporte.
- Significancia del impacto ambiental: Relevancia del Impacto a la calidad del servicio de transporte.
- Magnitud: Grado en el que la variable evaluada compone al factor de calidad del servicio de transporte. Valorada con números enteros como 1 = Muy baja magnitud y 10 = muy alta magnitud.
- Importancia: Indica el grado de intensidad o grado de incidencia que tendría la variable sobre el factor si se presentara un evento negativo que perjudicara al factor. Valorada con números enteros como 1 = Muy baja importancia y 10 = muy alta importancia.

A continuación, por medio de los resultados del estudio “Identificación de variables para la operación de transporte de carga por carretera”, el cual presenta 21 macro-variables como puede verse en la Tabla 1 (para este estudio serán denominadas “variables”), y con los cinco factores que afectan la calidad del servicio de transporte de carga; Precio de la operación de transporte, Seguridad, Accesibilidad de servicios y Duración de la entrega (Matijošius, J. Vasilis Vasiliauskas, A. Vasilienė-Vasiliauskienė V. y Krasodomskis, Ž., 2015), se construyó una matriz de 21 variables y 5 Factores, con la cual se diseñaron y aplicaron 13 encuestas a expertos de empresas colombianas, los cuales se delimitaron como profesionales con aplicación de conocimientos en logística y experiencia mínima de 1 año en transporte.

Tabla 1. Variables de la operación de servicio público de transporte terrestre automotor de carga



No.	Variable
1	Accidentalidad
2	Condiciones climáticas
3	Costos de transporte
4	Cumplimiento al cliente
5	Distracciones en la carretera
6	Documentación en transporte.
7	Generador de carga
8	Gestión autoridades
9	Gestión de la empresa de transporte
10	Infraestructura de transporte
11	Movilidad
12	Normatividad
13	Política
14	Relaciones con el generador de carga
15	Seguridad
16	Seguros
17	Sistemas de información
18	Social
19	Talento humano
20	Tipo de carga
21	Vehículo y equipos

La estructura de la encuesta aplicada fue la siguiente:

Componente 1. Datos de experto: En este elemento se recopilaron datos como el nombre, estudios formales en logística y experiencia en el área de transporte.

Componente 2. Contextualización del estudio: Se realizó una descripción general del estudio y su propósito.

Componente 3. Explicación de la metodología de la Matriz de Leopold: En este paso se explicó paso a paso cómo diligenciar los elementos de la matriz de Leopold y se presentaron varios ejemplos.

Componente 4. Alimentación de la Matriz de Leopold: Se presentó la matriz por diligenciar, la cual fue alimentada a criterio del experto.

Componente 5. Terminología. En este elemento se presentan varios términos y su significado, con el fin de evitar diferencias en el significado de los elementos utilizados.

Finalmente, las 13 encuestas fueron promediadas en una matriz resultante, a la cual mediante la suma-producto de los valores de magnitud e importancia de cada espacio de la matriz permitió determinar un valor que cuantifica que tan representativa es la variable para el factor.

3. RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra los resultados obtenidos de la adaptación de la Matriz de Leopold, en la que se observan los valores de magnitud e importancia de cada variable. Cada espacio de cruce entre variable y factor cuantifica, de acuerdo con la opinión de expertos en el tema, el grado en el que la variable es relevante para cada factor. Siguiendo el método de la matriz de Leopold, para determinar las variables significativas y valorar su significancia debe realizarse una suma-producto de los valores de la magnitud y la importancia. El procedimiento anterior presenta a la variable infraestructura de transporte como la variable más significativa con un valor de 96,45, seguida muy de cerca de la variable costos de transporte con un valor de 95,12.

La suma-producto de las columnas también permite determinar la significancia de los factores, de mayor a menor los factores son: seguridad, confiabilidad, precio de la operación de transporte, duración de la entrega y accesibilidad de servicios. Mediante la multiplicación de los valores de magnitud e importancia y el uso del análisis de Pareto es posible determinar las variables más relevantes para cada factor. Para el factor precio de la operación de transporte las variables Pareto más relevantes de mayor a menor significancia son: Costos de transporte, gestión de la empresa de transporte, tipo de carga, normatividad, política, vehículo y equipos, seguros, infraestructura de transporte y seguridad.

Continuando de la misma manera, para el factor seguridad las variables Pareto son: distracciones en carretera, normatividad, accidentalidad, vehículo y equipos, seguridad, infraestructura de transporte, condiciones climáticas, movilidad, gestión de autoridades, seguros, política y sistemas de información. Para el factor confiabilidad, las variables Pareto son: cumplimiento al cliente, accidentalidad, documentación en transporte, infraestructura de transporte, seguridad, gestión de la empresa de transporte, seguros, vehículo y equipos, política, sistemas de información, normatividad y relaciones con el generador de carga. Para el factor accesibilidad de servicios, las variables Pareto son: gestión de la empresa de transporte, vehículo y equipos, infraestructura de transporte, condiciones climáticas, talento humano, gestión de autoridades, sistemas de información, movilidad y costos de transporte.

Finalmente, para el factor duración de entrega, las variables Pareto son: gestión de la empresa de transporte, cumplimiento al cliente, vehículo y equipos, infraestructura de transporte, tipo de carga, costos de transporte, movilidad, talento humano, distracciones en la carretera, condiciones climáticas.



FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL SERVICIO VARIABLES A EVALUAR	FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL SERVICIO					
	Precio de la operación de transporte	Seguridad	Confiabilidad	Accesibilidad de servicios	Duración de la entrega	
Accidentalidad	0,92 0,50	6,75 6,50	5,50 5,33	1,33 1,25	2,08 3,00	81,58
Condiciones climáticas	1,92 1,33	5,75 5,83	1,83 2,08	2,75 2,75	3,00 2,58	55,23
Costos de transporte	8,00 6,58	3,75 3,67	3,33 3,33	2,00 2,25	3,83 3,42	95,13
Cumplimiento al cliente	2,75 2,50	2,83 2,92	6,58 5,92	1,17 1,33	4,50 4,08	74,02
Distracciones en la carretera	0,42 0,42	7,08 7,08	3,25 2,42	0,67 0,75	3,33 2,58	67,31
Documentación en transporte	0,00 0,00	2,33 2,25	5,67 4,83	1,50 1,92	1,17 0,92	36,58
Generador de carga	2,83 2,42	2,17 2,00	2,00 2,08	1,08 0,83	2,42 2,08	21,28
Gestión autoridades	0,67 0,42	5,25 5,00	2,58 2,83	2,75 2,42	1,75 1,83	43,70
Gestión de la empresa de transporte	4,08 4,25	3,58 3,75	4,00 4,33	3,83 4,42	4,67 4,17	84,50
Infraestructura de transporte	3,00 2,83	6,92 5,67	5,00 5,08	2,75 3,00	4,42 3,42	96,45
Movilidad	1,92 1,92	5,50 5,42	2,42 2,50	2,42 2,33	3,33 3,42	56,53
Normatividad	3,58 3,67	6,58 6,75	3,50 3,75	1,00 0,83	0,67 0,58	71,92
Política	3,58 3,33	4,50 4,33	4,08 3,67	1,00 1,17	0,58 0,75	48,02
Relaciones con el generador de carga	1,42 1,67	3,75 3,58	3,83 3,17	1,33 0,75	1,50 1,50	31,19
Seguridad	2,50 3,08	6,58 6,00	4,33 5,00	0,58 0,75	1,75 2,25	73,25
Seguros	2,83 3,08	5,50 4,42	3,83 4,17	0,00 0,00	1,25 1,25	50,56
Sistemas de información	2,67 2,75	3,92 3,92	3,83 3,67	2,83 2,17	0,58 0,67	43,26
Sociedad	0,00 0,00	1,75 1,50	0,75 0,83	1,42 1,75	0,00 0,00	5,73
Talento humano	0,67 0,33	3,50 3,33	2,83 2,50	2,67 2,50	3,00 2,92	34,39
Tipo de carga	4,25 4,08	4,00 2,67	1,75 2,17	0,00 0,00	3,75 3,58	45,25
Vehículo y equipos	3,33 3,25	6,58 6,17	3,67 4,33	2,83 3,00	4,25 3,83	92,11
	179,01	489,92	298,06	84,25	156,76	

Figura 1. Matriz de Leopold aplicada al estudio.

4. CONCLUSIONES



El método de la Matriz de Leopold es aplicable al tema de estudio y permitió determinar la relevancia no solo de las variables, sino también de los factores de calidad. Para la adaptación presentada fue necesario explicar paso a paso el método adaptado de la Matriz de Leopold, los términos y definiciones y proporcionar soporte en las inquietudes de los expertos. Lo anterior debido a la extensión de la matriz y a la posible confusión entre magnitud e importancia.

Es posible utilizar el análisis para determinar de acuerdo con las necesidades de investigación, aquellas variables significativas y la exclusión de las variables no significativas. Adicionalmente, el valor límite para determinar si una variable es significativa o no, dependerá de los objetivos y necesidades específicas de los investigadores que deseen utilizar los resultados de este estudio.

Mediante este estudio es posible contribuir a la definición matemática de la calidad en servicio público de transporte terrestre automotor de carga. De igual forma, el estudio permitió el uso del análisis de Pareto para determinar las variables más relevantes por factor. Estos resultados podrían ser utilizados para disminuir el número de variables a estudiar por factor.

5. TRABAJOS FUTUROS

Emplear las variables más relevantes por factor versus el total de variables para demostrar la posibilidad de eliminar las variables menos significativas

Aplicar los datos obtenidos al planteamiento matemático de una ecuación que permita valorar el nivel de servicio de una operación de transporte.

Es posible desarrollar una investigación adicional que contraste mediante otro método los resultados obtenidos en este estudio.

Utilizar los resultados de este estudio para desarrollar modelos de simulación en servicio que permitan entender la dinámica del servicio al cliente en la operación de transporte.

Realizar estudios en seguridad, precio, confiabilidad, accesibilidad y duración de entrega de la carga, en contraste con la percepción de calidad en servicio de transporte que utilicen los resultados presentados de las variables y su relevancia.

Desarrollar modelos matemáticos que utilicen los resultados de este estudio para medir el nivel de calidad en servicio de transporte o el valor particular de los factores de calidad.

Determinar mediante investigaciones posteriores las prioridades en el control de variables que permitan ahorros y aseguren un nivel de servicio adecuado para la operación.

REFERENCIAS



Bengochea Morancho, A., Dimensión medioambiental de la RSC, La Coruña: Netbiblo, 2010.

Benuisiene, I. y Petukiene, E. The indicators of service quality measurement of logistics services, Socialiniai tyrimai / Social research, pp. 62-70, 2012.

Matijošius, J. Vasilis Vasiliauskas, A. Vasilienė-Vasiliauskienė V. y Krasodomskis, Ž. The Assessment of Importance of the Factors that Predetermine the Quality of a Service of Transportation by Road Vehicles, Procedia Engineering, pp. 422-429, 2015.

CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE VALOR DE LOS JUGUETES EN COLOMBIA

James Castro

Pedro José Sánchez Caimán

Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

Yeisson Alexis Rincon Cuta

Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana

RESUMEN

La comercialización y distribución de juguetes en Colombia es realizada principalmente por Distribuidores, los cuales compran el producto a las multinacionales y se encargan de hacer la distribución ya que ellos al tener un portafolio más amplio de productos pueden tener unos costos logísticos mejores. Actualmente con el ingreso de multinacionales a Colombia que producen los juguetes en el Lejano Oriente, India, Indonesia, USA y luego hacen la importación del producto se inició un cambio en el modelo ya que estas compañías están realizando su distribución directamente. La tendencia en la industria de juguetes ha estado cambiando debido las compañías han sabido cambiar este segmento, direccionarlo y apalancarlo como un entretenimiento no solo a los bebés, niños y adolescentes sino también para la familia, lo que ha permitido un gran crecimiento en la industria. Los juguetes han encontrado un gran aliado en las películas de cine, lo que ha permitido dinamizar la industria y llegar a un nicho de mercado más grande, las licencias que las compañías de juguetes adquieren le ayudan a potencializar la marca.

Palabras clave: Cadena de valor, logística, Juguetes.

ABSTRACT

Mainly Distributors, who buy the product from the multinationals and are in charge of making the distribution since they have a broader portfolio of products can have better logistics costs, do the marketing and distribution of toys in Colombia. Currently, with the entry of multinationals into Colombia that produce toys in the Far East, India, Indonesia, USA and then import the product, a change in the model was initiated as these companies are distributing them directly. The trend in the toy industry has been changing because companies have been able to change this segment, direct it and leverage it as an entertainment not only for babies, children and adolescents but also

for the family, which has allowed a great growth in the industry. The toys have found a great ally in the movies, which has allowed to dynamize the industry and to reach a bigger market niche, the licenses that the companies of toys acquire help to potentiate the brand.

Keywords: logistics, value chain, toys.

1. INTRODUCCIÓN

Por la naturaleza de los productos y que van dirigidos a los bebés, niños y jóvenes se hace necesarios controles posteriores por parte de la SIC para asegurar la salud y el bienestar de todos. En Colombia no existe una caracterización de la cadena de valor en juguetes que permita identificar el proceso desde la compra hasta la distribución a los clientes finales, no se tiene claridad desde donde son importados los productos, ni tampoco es claro para el consumidor los mecanismos que el gobierno de Colombia tiene para el control y vigilancia de las importaciones y de la comercialización de los productos. La industria de juguetes en el país no es representativa ni en el mercado interno, ni en las exportaciones, sin embargo, el mercado ha ido en aumento a pesar de que el número de hijos por familia ha disminuido, pero la compra de juguetes ya no se limita a diciembre y aunque se ha vuelto un mercado más dinámico, la mayoría de las ventas sigue siendo en la temporada navideña, y por lo tanto, al no haber producción interna dicha demanda se ha suplido con juguetes importados. Por lo tanto, es necesario conocer la cadena de valor de este sector para poder conocer sus procesos, sus componentes, aspectos intervinientes y falencias.

Al no tener caracterizada su cadena de valor, tampoco se puede medir su comportamiento y su eficiencia; y teniendo en cuenta que este sector va dirigido principalmente a niños y jóvenes, los cuales representan más de un 30% de la población, se debe ahondar en el conocimiento de dicha cadena ya que representa uno de los principales renglones de la economía nacional, sobre todo en el mes de diciembre donde sus ventas representan un 40% del total de ventas anuales (DANE, 2018). En esta investigación podemos precisar que el Estado Colombiano juega un papel importante de control y vigilancia para asegurar que los juguetes que se comercialicen cumplan con todos los estándares de calidad y seguridad, por eso desde su ingreso por los puertos de Colombia (Buenaventura – Cartagena - Santa Marta) se toman las medidas necesarias para contrarrestarlos, (DIAN, SIC, POLFA). La identificación y caracterización la cadena de valor de los juguetes en Colombia, desde su proceso de Compra (Forecasting, Órdenes de Compra, Centralización de compras), Importaciones (Booking, Pick up, tránsitos marítimos-terrestres, trámites para vistos buenos, nacionalización) Distribución (Facturación, Picking, despacho y entrega).

El desconocimiento de los agentes participantes dentro de esta cadena de valor puede suponer también un riesgo para la salud de los niños y personas que interactúen con juguetes, debido a que se desconoce de dónde provienen estos artículos y en qué condiciones fueron fabricados y

con qué elementos. La cadena de abastecimiento de juguetes está tomando fuerza dentro de las compañías comercializadoras de juguetes ya que es un gasto importante de la compañía que está afectando su utilidad y rentabilidad, se hace necesario optimizar los procesos logísticos desde el arribo de la mercancía al centro de distribución hasta su entrega al cliente final.

2. METODOLOGÍA

Actualmente, la globalización ha traído consigo cambios significativos en las formas de hacer negocios, lo que ha ocasionado cambios importantes en la tecnología, organización industrial y la división internacional. Al respecto (Jones, 1990), explican que los sistemas productivos tienen dos perspectivas complementarias:

- Perspectiva espacial, en donde los procesos de producción se dividen en diferentes fases o bloques de funciones que se realizan separadamente en diferentes lugares del mundo.
- Perspectiva funcional, donde las grandes empresas externalizan con frecuencia ciertos procesos o actividades hacia empresas más pequeñas y especializadas.

De esta manera señalan que las funciones y actividades que anteriormente se realizaban dentro del ámbito de la empresa pasan a ser realizadas por varias organizaciones coordinadas entre sí a través de operaciones en el mercado. Es por esto que las grandes, pequeñas y medianas empresas participan en procesos de producción ubicados en diferentes espacios geográficos, dando lugar a la formación de cadenas globales de valor. Las Cadenas de Valor deben estar orientadas a la generación de valor económico, social y sostenible de tal manera que las personas más pobres que conforman los eslabones en la cadena productiva se vean beneficiadas (Padilla, 2014) (Pérez, 2010). (Fernández - Stark, 2011) comprenden la cadena productiva como todas las actividades que tanto trabajadores como empresas llevan a cabo para crear un producto, su uso y desecho final. Por otra parte, la Cadena de Valor, de acuerdo con (Kaplinsky, 2009), considera todas las actividades necesarias para que un producto o servicio pase por las diferentes etapas de producción, se entregue a los consumidores y se dé su disposición final después de su uso.

En ese orden de ideas (Goletti, 2004), refiere que las Cadenas de Valor representan conexiones o enlaces entre diversos actores económicos organizados en conjunto para aumentar la productividad y el valor agregado de sus actividades, generando beneficios y una competitividad más alta para los participantes. Las Cadenas de Valor tienen un enfoque integral ya que pueden converger diferentes participantes sociales como el gobierno, empresas, comunidades, academia y organismos no gubernamentales (Pérez, 2010). Por otra parte, (Boons, 2012) afirman que las redes que integran las cadenas productivas implican empresas, consumidores, agencias gubernamentales y organizaciones no gubernamentales. Todas estas relaciones afectan las decisiones operativas y estratégicas de las empresas, así como a los consumidores, y como consecuencia tienen un impacto social.



A su vez (Porter, 1985) considera que las Cadenas de Valor representan ventajas competitivas para las organizaciones y clasifica las actividades que realizan las empresas en: primarias (producción, logística, marketing de ventas y servicios postventa) y secundarias o de apoyo (infraestructura empresarial, recursos humanos, desarrollo tecnológico y aprovisionamiento). Al respecto (Gereffi, 2005) utilizan el concepto de cadena global de valor y su principal contribución al análisis de las Cadenas de Valor es el enfoque en las relaciones de poder, es decir la gobernanza y sus mecanismos de control a través de la coordinación global dispersa y eslabonada de los sistemas de producción y la interacción coordinada entre los eslabones. Además, identifican cinco tipos de gobernanza:

- mercados, donde se da la compra-venta de productos.
- Cadenas de Valor modulares, en esta Cadenas de Valor los proveedores fabrican productos o prestan servicios de acuerdo con las especificaciones del cliente.
- Cadenas de Valor relacionales, un pequeño grupo de empresas interactúan compartiendo conocimiento con el apoyo de los socios de las cadenas globales de valor.
- Cadenas de Valor en cautiverio, los pequeños proveedores son altamente dependientes de grandes compradores, teniendo estos su vez un alto grado de control.
- jerárquica, que se caracteriza por la integración vertical, es decir las diferentes operaciones son realizadas por una sola empresa.

(Padilla R. A., 2014), citando a (Gereffi, 1994); Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial [ONUDI], 2009), clasifica las Cadenas de Valor en las siguientes cuatro formas:

- Por el número de actores involucrados.
- Por los actores que determinan su gobernanza, distinguiendo las Cadenas de Valor dominadas por el comprador (buyer driven), de aquellas dominadas por el proveedor (supplier-driven).
- Por su operación, aquí se presentan las Cadenas de Valor regionales y nacionales en donde los productos se comercializan en el País en donde se elaboran y las cadenas globales de valor, en donde los productos se producen y comercializan en países distintos a donde se elaboran.
- Por el grado de transformación del producto, se refieren a los procesos productivos requeridos para transformar los productos, debido a que hay productos que requieren de procesos más sofisticados para su transformación.

Respecto a los tipos de cadenas (Romero, 2006) menciona tres tipos:

- Cadenas industriales, cuyo objeto es la transformación de la materia prima y una de las estrategias puede ser la diferenciación del producto por calidad y exigencias del mercado.

- Cadenas agroalimentarias, se entiende como un encadenamiento de procesos donde intervienen diferentes actores, propiciando relaciones y acciones que permiten realizar una actividad agrícola en un espacio territorial determinado.
- Cadenas de servicios, aquí se encuentra una diversidad de servicios, tales como educación, finanzas, mercadeo, post venta y atención al cliente.

Dichas cadenas pueden clasificarse a su vez en cadenas básicas tradicionales y cadenas básicas modernas.

En cuanto a la revisión bibliográfica de las cadenas de suministro del sector juguetero tiene unos aspectos en común con otras cadenas de otros sectores como los siguientes:

- La implementación efectiva de SCM requiere el establecimiento de metas compartidas, planificación colaborativa, compartir el riesgo y la recompensa, y compartir información (McLaren, 2004); (Collin, 2006); (Fredriksson, 2006); (Varma, 2008); (Sundram, 2011); (Hwang, 2013).
- La integración de la cadena de suministro es importante y debe lograrse más allá de la red de la cadena de suministro de primer nivel para incluir la red de proveedores de proveedores y la red de clientes de los clientes (Briscoe, 2004); (Gimenez, 2005); (Danese, 2006); (Pires, 2008); (Govindan, 2010); y (Xia, 2011).
- Las cadenas de suministro deben responder a los requerimientos del cliente y ser flexibles a los desafíos de demanda y suministro (Collin, 2006); (Pires, 2008); (Adebanjo, 2009).
- La eficiencia de las cadenas de suministro debería mejorarse para reducir los costos de la cadena de suministro (Kumar, 2008); (Pires, 2008); (Mustaffa, 2009); (Agwunobi, 2009); (Hwang, 2013).
- Las cadenas de suministro enfrentan riesgos de oferta y demanda; por lo tanto, la gestión del riesgo de la cadena de suministro es fundamental. (Johnson, 2001) (Enyinda, 2011).
- La medición del desempeño de la cadena de suministro es fundamental para evaluar la efectividad y la capacidad de respuesta de la cadena de suministro (Varma, 2008); (Charan, 2012).
- Las cadenas de suministro deben contar con una cadena de suministro sostenible (Francis, 2008); (Adebanjo, 2009); (Shukla, 2009).

Por otro lado, la industria juguetera se caracteriza por el ciclo de vida del producto corto, la demanda volátil y los riesgos de capacidad, por lo que las estrategias de licenciamiento y externalización son opciones de cadena de suministro viables (Johnson, 2001); (Wong, 2005).

La metodología del proyecto se desarrolló en las siguientes etapas:

- Fase 1: Investigar y recolectar la información de forma segura y veraz que nos permita identificar los elementos de la cadena de valor del sector de juguetes, esta fase de la



investigación será realizada con los registros bibliográficos encontrados, tesis encontradas, documentos escritos por expertos en cadenas de valor, así como consultas en internet, revistas, entrevistas, periódicos.

- Fase 2: Análisis de la información para Diseñar un modelo de caracterización de juguetes para facilitar su importación y comercialización.
- Fase 3 Detalle de la Caracterización de cada eslabón de la cadena con el fin de identificar ventajas y desventajas, de acuerdo con el estudio realizado.
- Fase 4: Presentación del análisis final que permite desarrollar y plantear estrategias para mejorar los procesos de la cadena, (Compras, Importaciones & Distribución) e identificar el impacto que tiene la industria de los juguetes en la economía colombiana.

3. RESULTADOS

La cadena de valor de Porter es la que se utilizará para caracterizar el sector de la juguetería, en todos sus componentes: empresas de fabricación de juguetes, empresas de comercialización de juguetes y empresas distribuidoras de juguetes, las cuales son las que integran todo el sector. La cadena de valor como herramienta para identificar fuentes de generación de valor para el cliente: Cada empresa realiza una serie de actividades para diseñar, producir, comercializar, entregar y apoyar a su producto o servicio; la cadena de valor identifica 9 actividades estratégicas de la empresa, cada una con un costo, a través de las que se puede crear valor para los clientes, estas 9 actividades se dividen en 5 actividades primarias y 4 de apoyo, las cuales se explicarán de forma desglosada para cada tipo de empresa dentro del sector. Como actividades primarias se consideran, la logística de entrada de materias primas, la transformación de las mismas (producción); la logística de salida (distribución); la comercialización de las ofertas (proceso de ventas) y los servicios anexos a las mismas.

3.1. Cadena de valor de las empresas fabricantes de juguetes

La producción nacional de juguetes está concentrada en pocas empresas. Ronda S.A., Mattel y Tecnilambre, absorben la mayoría del mercado. A estas se suman empresas pequeñas y de capital reducido como Boliche, Muñecol, CI colecciones, Muñecos y Muñecas, Muñecas Bamboloto, entre otras. La Fábrica Nacional de Juguetes pasó de ser la industria con mayor producción de muñecas del país a ser una empresa corriente, con ventas estándares y peso reducido en la producción de juguetes. Sin embargo, su trayectoria en el mercado por más de 60 años la convierte en una de las empresas tradicionales del sector. La baja posterior en sus ventas ocurre por la creciente informalidad del mercado. Las fábricas de garaje aumentaron en proporciones alarmantes y la entrada libre de productos del extranjero atacó directamente la posición dominante de la Fábrica Nacional de Juguetes. Fue así como la competencia en el mercado de juguetes permitió el nacimiento de empresas pequeñas, pero con gran potencial en



la industria. Es el caso de Muñecas Bamboloto, Muñecas de los Andes y Juguetes Infantiles de Colombia. Las empresas fabricantes de juguetes dependiendo del segmento al que se dediquen trabajan con materias primas y procesos diferentes, debido a que los juguetes pueden ser muy variados peluches, muñecas de trapo, muñecas de plástico, las cuales, requieren varios componentes, juguetes didácticos en madera o plástico y rompecabezas.

La cadena de valor para las empresas fabricantes de juguetería se definiría de la siguiente forma:

Actividades Primarias

Logística de Entrada: La materia prima se entrega directamente en las plantas de producción, las materias primas pueden ser plásticos, cauchos, maderas, textiles, etc. Dependiendo del tipo de juguete que se vaya a producir.

Operaciones: Dependiendo del tipo de juguete que se produce.

Logística de Salida: Las fábricas de juguetes grandes, entrega del producto terminado en los puntos de venta, en el caso de las fábricas de juguetes artesanales se comercializan directamente por la juguetería.

Marketing y Ventas: La publicidad se hace en el punto de venta.

Servicio: Producir un juguete con excelente calidad, y materias primas que cumplan todas las normas de seguridad que un juguete requiere, cumplir con la garantía.

Actividades de Apoyo

Infraestructura: Se pueden encontrar dos tipos de fábrica: las empresas grandes tipo Ronda o Matell, cuyas plantas de producción son extensas con la infraestructura adecuada para producir y almacenar los productos; o empresas de garaje, cuya producción se hace en pequeños espacios, muchas veces al interior de la misma vivienda de los fabricantes.

Tecnología: Ronda, Tecnialambre, Mattel, Tromoplas, Procesos Plásticos y Plesco son fabricantes con experiencia y con solidez financiera. Manejan volúmenes de ventas importantes que les permiten renovar sus líneas de productos y modernizar sus plantas con relativa frecuencia. El caso de empresas pequeñas como Muñecol, Bamboloto, Colecciones de Colombia, Boliche, Didácticos Pinocho, entre otras, cuentan con maquinarias hechas adaptadas por el mismo empresario.

La mayoría de empresas fabricantes utilizan maquinarias de inyección de plástico y troqueladoras importadas de China. Tienen equipos rudimentarios y en algunos casos técnicas obsoletas para la producción. La mayoría de empresas fabricantes, como se ha mencionado anteriormente, son pequeñas y cuentan con escasos recursos para hacer renovación tecnológica.



El sector de maquinaria para juguetes es informal. La mayoría de los juguetes son elaborados en pequeñas industrias con tecnologías rudimentarias que no involucran economías de escala, ni un alto nivel de tecnificación. La maquinaria de rotomoldeo, utilizada específicamente para hacer muñecas, es un claro ejemplo de la adaptación de la industria casera. El empresario, dependiendo de la oferta, la capacidad de producción y el precio del mercado, desarrolla la maquinaria más eficiente, dentro de sus posibilidades económicas, para adaptarse a las necesidades del cliente y del producto.

Gestión Humana: El personal requerido en la producción de juguetes debe tener preparación técnica y práctica para el uso de la maquinaria, que, en caso de juguetes de madera como sierras, tornos, etc, en el caso de los peluches en el manejo de máquinas de coser y conocimiento de muñequería, y en el caso de los plásticos conocimiento en la operación de máquinas inyectoras, moldeadoras, etc. Adicionalmente, hay muchos procesos que se hacen de forma manual, para lo cual, el operario debe tener una gran habilidad.

Compras: la gestión de compras se enfoca primordialmente en la generación de redes de abastecimiento constante de las materias primas y para los componentes, estos provienen principalmente de China, donde la importación se hace al puerto y luego se transporta hasta la fábrica.

3.2. Cadena de valor de las empresas de comercialización detallista

La comercialización de juguetes se puede realizar por jugueterías pequeñas que tienen su propia línea de juguetes como Imaginarium, Eureka, o piñaterías de barrio que generalmente comercializan juguetes de precios accesibles y marcas no reconocidas, o por almacenes de departamento, grandes superficies, hipermercados o supermercados especializados de juguetería como es el caso de Pepe Ganga.

En el caso del comercio minorista de las jugueterías pequeñas, o de las tiendas de juguetes de barrios, se aprecian unas características generales que se muestran a continuación:

Actividades Primarias

Logística de Entrada: Recepción del producto de parte del proveedor (fabricante o mayorista) en el punto de venta. También se presenta abastecimiento en la fuente; es decir la compra de los productos que se van a comercializar en el establecimiento de los mayoristas o proveedores, sobre todo en el caso de las jugueterías pequeñas o piñaterías.

Operaciones: Exhibición y atención al cliente.

Logística de Salida: Entrega del producto en el punto de venta.

Marketing y Ventas: Oferta comercial en la zona de influencia en el caso de.



Servicio: Radica en la oferta de productos en su mínima unidad, con servicio personalizado, en el caso de jugueterías exclusivas la garantía y el servicio post-venta es bueno, en cuanto a jugueterías de barrio y piñaterías no atienden reclamaciones por calidad o garantía.

Actividades de Apoyo

Infraestructura:

Espacio: establecimiento comercial, el cual suele ser un local de entre 8 y 30 metros cuadrados, dependiendo de la categoría, surtido y ubicación. Las jugueterías exclusivas se ubican principalmente en los centros comerciales, las jugueterías de barrio o piñaterías en sectores comerciales al interior de los barrios.

Estructuras de Exhibición: estanterías de resistencia liviana, en las cuales se ubican los productos para la exhibición, en algunas ocasiones estas estanterías son reemplazadas por góndolas, las cuales tienen mayores bondades con respecto a la imagen del establecimiento y los productos.

Relacionadas con el Recaudo: Se hace mención a las cajas registradoras y los datafonos, los cuales no necesariamente están en todos los establecimientos, puesto que algunos de estos son renuentes a hacer las inversiones o no se manejan medios de pago electrónicos.

Otros: Dentro de estos se puede hacer mención a canastillas para la toma de los productos, aunque generalmente se toma la compra en la mano.

Tecnología: La tecnología utilizada en el Comercio tradicional suele estar ligada al uso de caja registradora en algunos establecimientos con mediano nivel de formalización, en ocasiones complementado por el uso de lectores de códigos de barras para la administración del inventario y facilidad en la facturación. Otro factor que se integra es el uso de telefonía fija y/o móvil para la comunicación con los demás agentes del canal y entre la misma organización.

Gestión Humana: El personal al servicio del funcionamiento de la cadena no requiere mayor nivel de capacitación, dado que los productos que se comercializan no lo demandan. La constante es que en el comercio tradicional no suelen ser intensivos en mano de obra para el desarrollo de la labor, puesto que el propietario es el mismo que hace las compras y solo cuenta con otra persona que apoya el proceso de venta.

Compras: Salvo algunos casos como en las pequeñas jugueterías de marca exclusiva, el nivel de desarrollo de la gestión de compras es prácticamente nulo, puesto que se maneja como principal criterio para la selección del proveedor el factor precio, dejando de lado factores que pueden tener algún tipo de incidencia en la satisfacción de la necesidad del cliente final. En las jugueterías de barrio y piñaterías compran su mercancía con distribuidores o mayoristas donde los

propietarios escogen directamente los juguetes, los compran y los transportan hasta el punto de venta.

4. CONCLUSIONES

El sector productivo de los juguetes en Colombia es muy pequeño y no tiene relevancia en la economía nacional, lo que ha conllevado que el sector carezca de conocimiento de su propia competencia y rendimientos, lo cual hace necesario que el sector productivo se una para hacerse más visible ante la economía nacional y consolidarse.

Los grandes fabricantes de juguetes cuentan con maquinaria hechiza, adaptada a las necesidades del proceso productivo, sin embargo, su margen de ganancia les permite actualizar y modernizar sus procesos cada cierto tiempo, lo que los pequeños fabricantes no pueden hacer, debido a que para ellos la maquinaria es una inversión muy fuerte, por lo tanto, cuentan con maquinaria muy antigua, pero que han sabido ir adaptando a sus necesidades. Las pequeñas empresas no cuentan con el ingreso a almacenes de cadena que puedan masificar sus productos, en cambio tienen que comercializar su propia juguetería, sacrificando así su crecimiento económico. Las empresas pequeñas también tienen limitaciones de recursos para investigación y desarrollo de nuevos proyectos, así como para realizar estudios de mercado que permitan el lanzamiento de juguetes novedosos, por lo tanto, limitan su portafolio a lo que tradicionalmente ha funcionado, quedando rezagados en innovación con un gran riesgo de desaparecer.

El sector en general debe asociarse y agremiarse para lograr crecer y ser visibles ante la economía nacional, para así poder mejorar las condiciones de las empresas pequeñas y lograr ampliar el mercado internacional.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el desarrollo de este artículo a la Universidad Militar Nueva Granada, la Facultad de ingeniería en el programa de Ingeniería Industrial y maestría en Logística Integral en el desarrollo de la maestría en Logística y a la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana por su apoyo metodológico durante el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

Adebanjo, D. (2009). Understanding demand management challenges in intermediary food trading: A case of study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14 224 - 233.

Agwunobi, J. L. (2009). Removing costs from the health care supply chain: Lessons from mass retail. *Health Affairs*, 28 1336 - 1342.

Boons, F. B. (2012). *Conceptualizing Sustainable development and global supply chains*.

- Briscoe, J. L. (2004). Benchmarking challenges to supply chain integration: Managing quality upstream in the semiconductor industry. *Benchmarking: An International Journal*, 11 143-155.
- Bureau Veritas Formación. (s.f.). *Logística Integral*. Madrid: FC Editorial.
- Charan, P. (2012). Supply Chain performance issues in an automobile company: A SAP-LAP analysis. *Measuring Business Excellence*, 16 67 - 86.
- Collin, J. L. (2006). Plan for Supply Chain Agility at Nokia. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol 36, 418-430.
- DANE. (12 de 05 de 2018). *DANE Información Estratégica*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion>
- Danese, P. R. (2006). Sequences of improvement in supply networks. Case studies from the pharmaceutical industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 26 1199-1222.
- Enyinda, C. I. (2011). Petroleum supply chain risk analysis in a multinational oil firm in Nigeria. *Journal of Marketing Development and Competitiveness*, 5 37 - 44.
- Fernández - Stark, K. G. (2011). *Manual de Desarrollo Económico Local y Cadenas Globales de Valor*. Duke University.
- Francis, M. S. (2008). Value chain analysis in the UK beef foodservice sector. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13 83 - 91.
- Fredriksson, P. (2006). Mechanisms and rationales for the coordination of a modular assembly systems. *International Journal of Operations & Production Management*, 26, 350-370.
- Gereffi, G. H. (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, págs. 78-104.
- Gimenez, C. V. (2005). Logistics-marketing and external integration: Their impact on performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 25 20-38.
- Goletti, F. (2004). *The Participation of the poor in Agricultural value chain*. Vietnam: Asian Development Bank.
- Govindan, K. K. (2010). Analyzing supplier development criteria for an automobile industry. *Industrial Management & Data Systems*, 110 43-62.

- Hwang, B. L. (2013). Key success factor analysis for e-SCM project implementation and a case study in semiconductor manufacturers. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Managements*, 43 657-687.
- Johnson, M. (2001). Learning from toys: Lessons in managing supply chain risk from the toy industry. *California Management Review*, 43 106 - 124.
- Jones, R. y. (1990). The Role of Services in Production and International Trade. *The Political Economy of Internationa Trade*.
- Kaplinsky, R. M. (2009). *Un manual para investigación de la cadena de valor*.
- Kumar, A. O. (2008). Supply chain redesign in the healthcare industry of Singapore. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13 95-103.
- McLaren, T. H. (2004). Supply Chain Management Information Systems. *Information Systems and e-Business Management*, 207-222.
- Mustaffa, N. H. (2009). Healthcare supply chain management in Malaysia: A case study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13 328 - 334.
- Padilla, R. (2014). Fortalecimiento de las cadenas de valor como instrumento de la politica industrial. *CEPAL en Centro América*, (pág. 27). Santiago de Chile.
- Padilla, R. A. (2014). *Resurgimiento de la politica industrial*. Ramón Padilla.
- Pérez, M. G. (2010). *Cadenas de Valor Creando Vínculos para la Erradicación de la Pobreza*. Edición Codespa.
- Pires, S. &. (2008). New configurations in supply chains: The case of a condominium in Brazil's automotive industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13 328 - 334.
- Porter, M. (1985). *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance*. New York: Free Pass.
- Romero, W. (2006). *Cadenas de valor: Una aproximación Conceptual y metodológica para su estudio*. Universidad Rafael Landivar.
- Shukla, A. D. (2009). Environmentally responsive supply chains: Learnings from the Indian auto sector. *Journal of Advances in Management Research*, 6 154 - 171.
- Sundram, V. I. (2011). Supply Chain management practices in electronics industry in Malaysia: Consequences for supply Chain performance. *Benchmarking: An Intenational Journal*, 18 834-855.



Varma, S. W. (2008). Evaluation petroleum supply chain performance; Application of analytical hierarchi process to balanced scorecard. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 20, 343-356.

Wilson, R. M. (2005). *Estado del arte de las cadenas de valor*.

Wong, C. Y. (2005). Supply Chain Management: practices in toy supply chains. *Supply Chain Management*, 10 367 - 378.

Xia, Y. T.-P. (2011). Sustainability in supply chain management: Suggestions for the auto industry. *Management Decision*, 49 495-512.

IX Congreso Universidad Militar Nueva Granada
**CONGRESO INTERNACIONAL
DE LOGÍSTICA APLICADA**



IV Congreso Escuela de Postgrados FAC
**CONGRESO INTERNACIONAL
DE LOGÍSTICA AERONÁUTICA**



La Gestión del Riesgo y la Gerencia de la Cadena de Abastecimiento



CAPÍTULO III TENDENCIAS EN LOGÍSTICA SOSTENIBLE



INTERACCIÓN ENTRE UN AEROPUERTO Y SU ENTORNO INMEDIATO A TRAVÉS DE MAPAS DE DISPERSIÓN GASEOSA GENERADO POR LA OPERACIÓN DE AERONAVES B737-800 Y A320

Alejandro Di Bernardi
Matias J. Coppa
Ezequiel Burela
Gabriel Ramirez Diaz

Grupo Transporte Aéreo – UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 s/n e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Pcia. Buenos Aires, Argentina



RESUMEN

Un inventario de emisiones gaseosas (HC, CO, NO_x, y CO₂, entre otros contaminantes) proporciona valores totales de los gases liberados al medio ambiente y constituye la base para la notificación y la planificación de la mitigación de los impactos que pudieran llegar a tener lugar. Dado que la OACI reconoce que las fuentes de emisiones relacionadas con los aeropuertos tienen la capacidad de generar emisiones que pueden contribuir al deterioro de la calidad del aire en las comunidades circundantes, el presente estudio realiza una caracterización general de dichos gases, y la posible interacción con el entorno inmediato. El estudio efectuado se encuentra encolumnado con los objetivos del comité de protección ambiental aeronáutica (CAEP), particularmente con los del Grupo de Trabajo: WG2, WG3, ACCS, GMTF, entre otros.

ABSTRACT

An inventory of gaseous emissions (HC, CO, NO_x, and CO₂, among other pollutants) provides total values of the gases released into the environment and forms the basis for notification and mitigation planning of the impacts they might have place. Since ICAO recognizes that the sources of emissions related to airports have the capacity to generate emissions that may contribute to the deterioration of air quality in the surrounding communities, this study makes a general characterization of these gases, and the possible interaction with the immediate surroundings. The study carried out is in line with the objectives of the aeronautical environmental protection committee (CAEP), particularly those of the Working Group: WG2, WG3, ACCS, GMTF, among others.



6. INTRODUCCIÓN

El volumen del tráfico aéreo mundial se ha ido duplicando una vez cada 15 años desde 1977, y se espera que este crecimiento continúe a pesar de ciclos de recesión cada vez mayores. Se pronostica que el tráfico regular de pasajeros, medido en términos de Revenue Passenger Kilometres (RPK), crezca de cinco mil millones a más de 13 mil millones en el período: 2010-2030, con un promedio anual de tasa de crecimiento de 4,9% . Respecto al tráfico internacional de pasajeros, se estima un aumento del 5,1% anual, mientras que el tráfico doméstico crecería a un ritmo más lento del 4,4% (período 2010-2030). Cabe mencionar, que en este último sector se espera un crecimiento con un promedio anual de 5.2% de 2010 a 2030, incrementado de 200 billones de Revenue Passenger Kilometres (RTK) en 2010, a 562 billones en 2030 (Flightglobal Consultancy, 2015).

La consecuencia directa de un crecimiento del tráfico aéreo es un mayor consumo de combustible y una mayor contaminación gaseosa que afecta la calidad del aire, de vida, la fauna y zonas protegidas en las áreas vecinas a un aeropuerto. Las infraestructuras aeroportuarias, a la vez de ser centros fundamentales de actividad, impulsores de la economía, del desarrollo social y cultural, así como vertebradores e integradores de regiones y estados, son también elementos que interaccionan con el medio ambiente sobre el que se asientan.

La necesidad de hacer compatible el desarrollo del transporte aéreo con la conservación de los valores naturales y de la calidad de vida en el entorno aeroportuario precisa un modelo de actuación basado en el equilibrio entre los factores económicos, sociales y ambientales, que permita el acercamiento a un modelo sostenible de desarrollo.

La OACI reconoce la contaminación acústica como uno de los principales aspectos ambientales generados a causa de la actividad aérea y específicamente la aeroportuaria (ICAO, 2013). De ahí que la reducción al mínimo de los niveles acústicos y la protección de la calidad de vida de las poblaciones del entorno aeroportuario se haya convertido en una de las prioridades para dicha organización. Respecto a las emisiones gaseosas contaminantes, el foco está puesto en la reducción en la fuente de generación, es decir, los motores que equipan a las aeronaves. Los mismos deben cumplir con los estándares establecidos en el *Anexo 16 - Protección del medio ambiente, Volumen II: Emisiones de los motores de las aeronaves para su certificación* (ICAO, 2008) y el *Volumen III: Emisión de CO₂ de los aviones* (ICAO, 2017).

Uno de los objetivos de la OACI respecto al medio ambiente es el de limitar o reducir las repercusiones de las emisiones de la aviación en la calidad del aire local, los contaminantes de las aeronaves que causan preocupación a este respecto son las emisiones gaseosas que actualmente se controlan para la certificación de motores de aeronave en el marco del Anexo 16, Volumen II, incluidos los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos sin

quemar (HC). También se reconoce que las emisiones de contaminantes secundarios (VOC_s) y la materia en partículas (PM) de las aeronaves pueden tener efectos locales adversos (ICAO, 2011).

Se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humanos. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo. Según una evaluación de la OMS de la carga de enfermedad debida a la contaminación del aire, son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (producida por la quema de combustibles sólidos) (World Health Organization, 2005). De acuerdo a distintos estudios, las emisiones gaseosas producto del transporte aéreo (año 2006), produjeron 9.970 muertes prematuras en todo el mundo de las cuales el 20% de ellas son atribuidas a la actividad aeroportuaria (Barret, 2010).

7. MARCO TEÓRICO

En un análisis de calidad del aire local, es necesario un cálculo de dispersión en el cual se modeliza la mezcla atmosférica de estas sustancias o contaminantes traza emitidos de las fuentes locales, y sobre la base de principios científicos, se predicen las resultantes distribuciones de concentraciones (por lo general cerca de la superficie). Los resultados, o concentraciones atmosféricas previstas, constituyen la base de los estudios de consecuencias sobre la calidad del aire local (LAQ). El principal objetivo de los resultados obtenidos mediante un software específico de simulación gaseosa aeronáutica es la planificación de uso de suelo, por lo que dichos resultados serán de carácter complementarios a las mediciones in situ para demostrar el cumplimiento de los reglamentos o normas requeridos.

Las guías de calidad del aire de la OMS están destinadas a su uso en todo el mundo, pero se han elaborado para respaldar medidas orientadas a conseguir una calidad del aire que proteja la salud pública en distintas situaciones. Por otra parte, cada país establece normas de calidad del aire para proteger la salud pública de sus ciudadanos, por lo que son un componente importante de las políticas nacionales de gestión del riesgo y ambientales.

Cuando sea posible, deben aplicarse técnicas de modelización que permitan interpretar los datos puntuales en función de la distribución geográfica de la concentración, lo que podría servir de base para calcular el grado de exposición colectiva de la población residente en la zona.

En este sentido, la OACI [9] destaca como software de cálculo para análisis de enfoque avanzado al Aviation Environmental Design Tool (AEDT) y al Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS) desarrollado por la Federal Aviation Administration (FAA), los cuales han sido empleados en el presente estudio.

Específicamente, las emisiones de los motores de los aviones incluyen el dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), óxidos de



azufre (SO_x), hidrocarburos no quemados (HC), material particulado (PM), compuestos orgánicos volátiles (VOCs), y otros compuestos [10]. Aproximadamente, un 70% de dichas emisiones son CO₂ y un 30 % de H₂O, donde el resto de los compuestos representan menos del 1%. La siguiente figura proporciona una simple ilustración de los efectos del quemado de un combustible aeronáutico convencional (Wuebbles D., Gupta M., and Ko M., 2007).

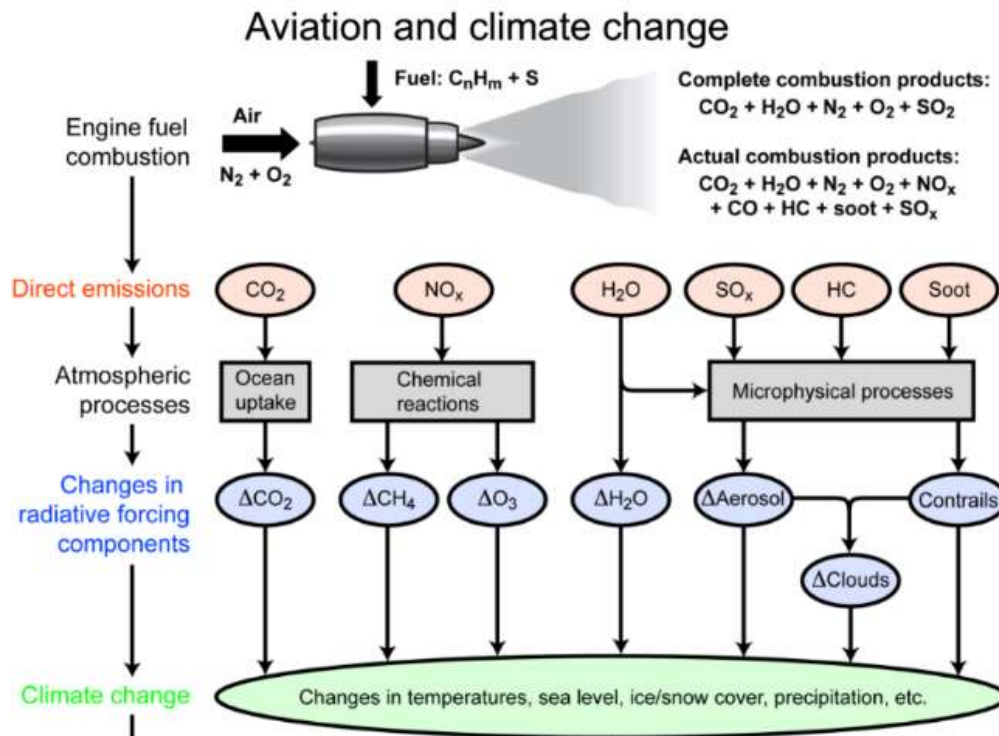
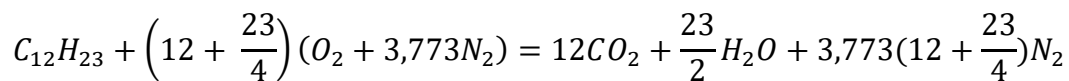


Figura 1. Esquema de las emisiones y el impacto ambiental producto de la actividad aérea [11]

La ecuación que representa una combustión completa de un hidrocarburo de composición molecular promedio C₁₂H₂₃ como el caso del combustible aeronáutico Jet A1, es [12]:



Ecuación 1. Combustión estequiométrica del combustible aeronáutico convencional Jet A1

Las cantidades totales de gases emanados dependerán de ciertos factores tales como el tipo de combustible utilizado, la riqueza de la mezcla, el mantenimiento de la cámara de combustión o del motor en general, las condiciones atmosféricas de operación, la etapa de vuelo analizada, entre otros.



Las normas OACI sobre emisiones de los motores, se aplican mediante procesos de certificación nacionales y multinacionales de los motores de turborreactión y turbofan con empuje superior a 26,7 kilonewtons (kN), no así a los motores turbohélice, alternativos y grupos auxiliares de energía (APU) [4]. Dicha normativa se basan en la performance de los motores en el ciclo de aterrizaje y despegue (LTO) idealizado como se muestra a continuación (ICAO, 2011):



Figura 2. Tiempos en el Ciclo LTO [6].

Para la determinación del impacto ambiental en el entorno aeroportuario, se define dicho ciclo como aquel que comprende las siguientes fases (ICAO, 2011):

- Landing - (Aproximación): son todas aquellas operaciones que se realizan desde los 1.000 metros de altura sobre la cota del aeropuerto hasta que alcanza la superficie de la pista.
- Taxi - (Rodaje): son las maniobras que realiza el avión hasta llegar a su puesto de estacionamiento en plataforma en condición de Block-On (calzos colocados) y las maniobras que realiza el avión desde el Block-Off (calzos afuera) hasta llegar a la cabecera de pista.
- Take off - (Despegue): son las operaciones que realiza el avión en la pista para lograr el despegue.
- Climb out - (Ascenso): son las operaciones que realiza el avión hasta alcanzar los 1.000 metros de altura sobre la cota del aeropuerto.

Históricamente, la OACI ha elaborado normas de certificación para las emisiones de los motores de aeronaves basadas en un ciclo normalizado, con hipótesis implícitas para el tiempo que una aeronave operará en el ciclo LTO.

Los reglajes de empuje y el tiempo en cada etapa dependen, en gran medida, de condiciones específicas como peso de la aeronave, temperatura exterior, viento, altitud del aeropuerto, condiciones de las pistas y procedimientos de la línea aérea, en distintos estudios se ha demostrado la notable diferencia en la concentración adoptando un ciclo con valores estándares y reales en un aeropuerto (Alejandro D., Coppa M. y Tomassini N., 2014) (Masiol M. y Harrison R. M., 2014). Mas allá de dicha situación, a nivel global podemos afirmar que aproximadamente el 10% de las emisiones gaseosas totales de la actividad aeronáutica se emiten en dicho ciclo y el restante 90%, se emite a altitudes por encima de los 1000m (Simone N., Stettler M., and Barrett



S., 2013). De acuerdo con el Documento 9889 “Airport Air Quality Manual” (ICAO, 2011), los aeropuertos deben mantener un inventario de emisiones gaseosas con el objetivo de:

- Colectar información y monitorear las tendencias para evaluar escenarios futuros;
- Evaluar comparativamente en acuerdo a requerimientos legales;
- Crear datos de entrada para modelos de dispersión en un esfuerzo para determinar la concentración de contaminantes; y
- Establecer bases para programas de mitigación.

En los aeropuertos, además de registrarse las emisiones por la operación de las aeronaves, se determinan como principales fuentes de emisión las procedentes de los vehículos de transporte en accesos y estacionamientos del aeropuerto (GAV – Ground Access Vehicles), las de fuentes estacionarias (calderas y depósitos de combustible, edificio terminal), las que se generan en las prácticas contra incendios, y aquellas procedentes de vehículos de apoyo en tierra (GSE - Ground Support Equipment).

8. METODOLOGÍA

A continuación, se detalla el proceso para el cálculo de las emisiones de HC, NOx y CO derivadas de las operaciones de las aeronaves, en el Aeropuerto Internacional de Salta:

1. Caracterización del aeropuerto: mezcla de tráfico, planta poder, distribución de perfiles, diarios, mensuales y anuales de operaciones.
2. Análisis de herramientas de cálculo a utilizar: Emission and Dispersion Modeling System (EDMS – FAA).

Las emisiones gaseosas y su dispersión fueron obtenidas a través de simulación mediante software específico. El proceso consiste en 3 etapas fundamentales. En primer lugar se realizó un preprocesamiento de los datos meteorológicos haciendo uso del programa AERMET View. El propósito básico de dicho programa es usar datos de observaciones de la estación meteorológica correspondiente al aeropuerto en estudio, a fin de calcular ciertos parámetros de capa límite terrestre usados para estimar perfiles de viento, turbulencia y temperatura.

Las variables meteorológicas a consideradas para el estudio fueron: temperatura, dirección e intensidad del viento, presión, humedad relativa, porcentaje de nubosidad, altura de techo de nubes, precipitación horaria y radiación solar.

Una vez procesados los datos meteorológicos se modela la dispersión atmosférica a través del software EDMS y modulo “AERMOD”, que permite estimar los valores de concentración de contaminantes en la atmosfera a través del uso de un modelo de dispersión Gaussiano, teniendo



en cuenta la información del terreno y el modelado operativo del aeropuerto, es decir movimiento de aeronaves, vehículos de asistencia, fuentes puntuales, entre otros.

En última instancia se graficó la pluma contaminante utilizando los valores de concentración obtenidos anteriormente en una malla de aproximadamente 1.000 receptores distribuidos uniformemente a lo largo del aeropuerto y su entorno.

3. Cuantificación de las emisiones de HC, NOx y CO y análisis de población alcanzada:

Para la estimación de la población alcanzada por cada contaminante, se utilizó un software específico de georreferenciación (Qgis) con el fin de caracterizar los radios censales afectados por las emisiones correspondientes. Las estadísticas utilizadas corresponden a los datos publicados por el INDEC y corresponden principalmente a los radios censales del entorno urbano del Aeropuerto.

Se utilizaron los radios censales obtenidos del año 2010 (dato más reciente disponible al momento del desarrollo de este documento). Estos radios varían con cada censo en función del crecimiento de la población; por este motivo, dependiendo de la ciudad a la que pertenecen, se van modificando, o sea, no son de tamaño homogéneo, ya que el dato de importancia es la cantidad de viviendas que se encuentran dentro y no el área que comprenden los mismos. Al disponerse del crecimiento poblacional por partido, se realizó un ajuste de los radios censales, adoptando como hipótesis un crecimiento homogéneo en cada uno de ellos.

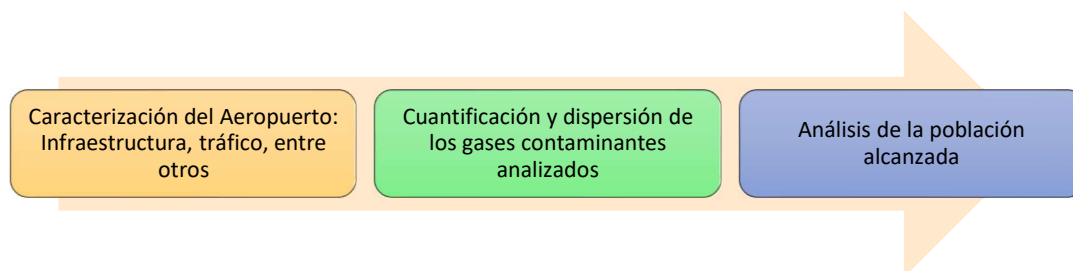


Figura 3 Proceso lógico de trabajo

8.1. Aeropuerto analizado

Se presenta a continuación las características del aeropuerto bajo análisis y la evolución del entorno urbano inmediato al mismo.



Figura 4. Evolución del entorno urbano, Aeropuerto de Salta.

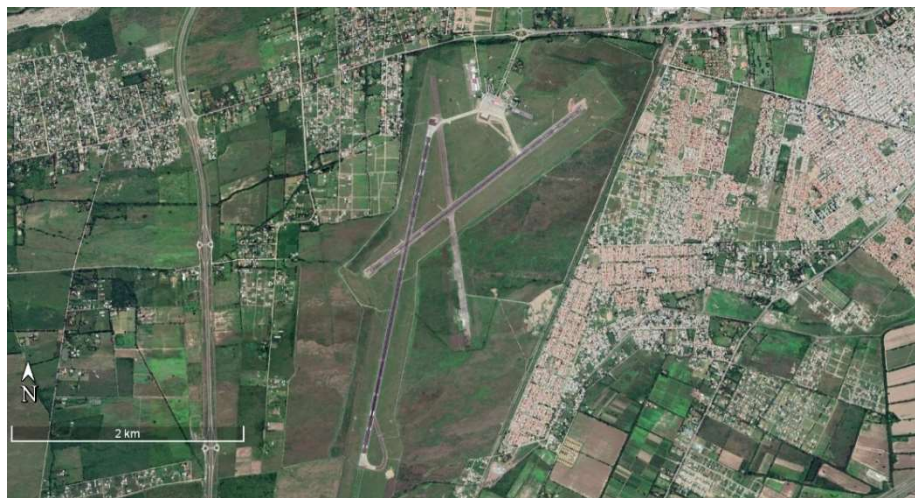


Figura 5. Aeropuerto Internacional de Salta, 2019.

Respecto al tráfico aéreo, en el año 2018, el aeropuerto tuvo un total de 12.000 Operaciones y unos 972.000 pasajeros transportados, clasificados como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1. Distribución de pasajeros en el aeropuerto bajo estudio.

	Domésticos	Internacionales	Tránsito
Aeropuerto Internacional de Salta	92%	5%	3%



Dado que el objetivo del presente estudio busca caracterizar la población urbana alcanzada por las concentraciones gaseosas de los distintos gases analizados bajo un escenario hipotético con una flota característica de los operadores aéreos *low cost*, se presenta a continuación la mezcla de tráfico simulada en la Tabla 2.

8.2. Emisiones de HC, NOx o CO producto de la operación de aeronaves

Las emisiones producto de las operaciones de aterrizaje y despegue dependen principalmente de Time in Mode - TIM (segundos), los Índices de emisión del motor principal – EI, por sus singlas en inglés *Emission index* (kg de HC, NOx o CO / kg de combustible), y flujo de combustible del motor principal - FF (kg), por sus siglas en ingles Fuel Flow.

Tabla 2. Mezcla de tráfico simulada en el Aeropuerto de referencia.

Aeronave	Arribos		Partidas		Motor
	Día	Noche	Día	Noche	
Cessna 150	6	-	6	-	Continental O-200-A
Piper PA-23	3	-	4	-	Lycoming TIO-540
Bombardier Learjet 60	1	-	1	-	Garrett TFE7331
Cessna 172	-	-	1	-	Continental IO-360-L2A
Boeing 737-800	12	-	12	-	CFM56-7B26
Airbus A320 - 200	12	-	12	-	CFM56-5B6

- **Time in Mode (TIM):** es el periodo de tiempo real donde los motores de las aeronaves operan a un reglaje de potencia identificado, normalmente correspondiente a uno de los modos de operación del LTO del ciclo de vuelo operacional.
- **Índice de emisión (EI) y flujo de combustible:** El índice de emisión se define como la masa de contaminante emitida por unidad de masa de combustible consumido para un determinado motor. El Banco de datos sobre emisiones de motores (EEDB) [18] de OACI proporciona el EI para más de 500 motores certificados, así como el flujo de combustible específico del modo en unidades de kilogramo por segundo (kg/s), para los cuatro reglajes de potencia del plan de certificación de emisiones de motores.

El método de cálculo aplicado por el Software de referencia está contempla la fórmula que representa la base para el cálculo de las emisiones tanto de HC, NOx como CO para una única combinación de aeronave y motor (ICAO, 2011):



$$Ei_j = \sum (TIM_{jk} * 60) * (FF_{jk}) * (Ei_{ijk}) * (Ne_j)$$

Ecuación 2. Método de calculo

Dónde:

- Ei_j = emisiones totales de contaminantes i (HC, NOx o CO), en gramos, producidas por el tipo de aeronave j para un ciclo LTO;
- Ei_{ijk} = índice de emisión para el contaminante i (HC, NOx o CO), en gramos por contaminante por kilogramo de combustible (g/kg de combustible), en el modo k (p. ej., despegue, ascenso, marcha lenta y aproximación) para cada motor empleado en el tipo de aeronave j;
- FF_{jk} = flujo de combustible para el modo k (p. ej., despegue, ascenso, marcha lenta y aproximación), en kilogramos por segundo (kg/s), para cada motor empleado en el tipo de aeronave j;
- TIM_{jk} = tiempo en el modo para el modo k (p. ej., marcha lenta, aproximación, ascenso y despegue), en minutos, para el tipo de aeronave j;
- Ne_j = número de motores empleados en el tipo de aeronave j.

En el método de cálculo, los tiempos de cada una de las etapas del ciclo tiene asociado un valor en el consumo de combustible y por consecuencia un impacto en la concentración de los gases contaminantes. Como se mencionó anteriormente, debido a la diferencia existente entre los tiempos del ciclo LTO de referencia y el real en un aeropuerto bajo estudio, en el presente informe, analizando las velocidades de carreteo, aproximación, distancias y tiempos de taxeo, se adaptaron las condiciones operativas de cada aeropuerto a fin de cuantificar con mayor precisión las emisiones.

9. RESULTADOS

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de población alcanzada por cada concentración de los gases contaminantes analizados.

De manera comparativa se analizan es posible analizar los siguientes reglamentos y normativas internacionales sobre calidad del aire:

- La OMS mediante su Directriz WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide (World Health Organization, 2005).
- La Unión Europea mediante la DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa (Parlamento Europeo, 2008).



Tabla 3. Población alcanzada por cada nivel de concentración.

Concentración de NOx (µg/m3)	Población alcanzada
1,2 - 2,4	6.210
2,4 - 3,6	650
3,6 - 4,2	< a 100

Concentración de CO (µg/m3)	Población alcanzada
0,89-1,29	14.304
1,29 - 2,09	3.576
2,09-2,49	1.235
2,49-2,89	220

Concentración de THC (µg/m3)	Población alcanzada
0,05-0,1	11.538
0,1-0,15	4.523
0,15-0,2	523
>0,2	< a 100

En dichos documentos se establecen distintos límites de concentración, los valores límites se presenta en promedios para distintas escalas temporales: 1 hora, 8 horas; 24 horas y/o anual, como se observa en la tabla a continuación, en ocasiones los reglamentos difieren en la escala temporal, en el valor límite e incluso en la consideración o no de un determinado contaminante.

<i>Contaminante</i>	<i>CO</i>		<i>NOx</i>	
	1 h	8 h	1 h	1 año
<i>Concentración / Organismo</i>	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
OMS	30.000	10.000	200	40
Directiva 2008/50/CE	-	10.000	200	40
Decreto 3395/96	40.082	10.000	400	100

Se presenta a continuación las huellas gaseosas obtenidas a partir de las simulaciones realizadas

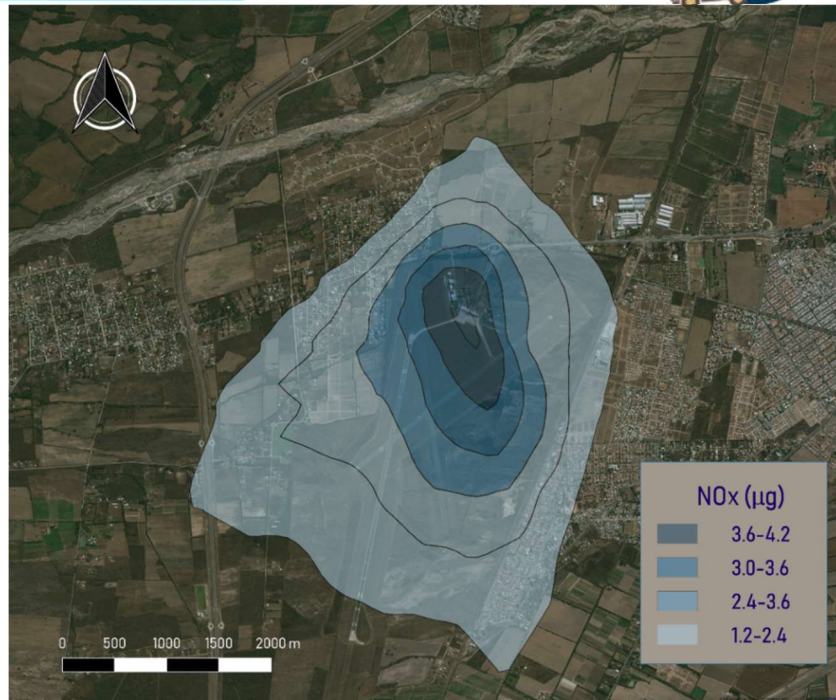


Figura 6. Dispersión gaseosa del NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Aeropuerto de Salta

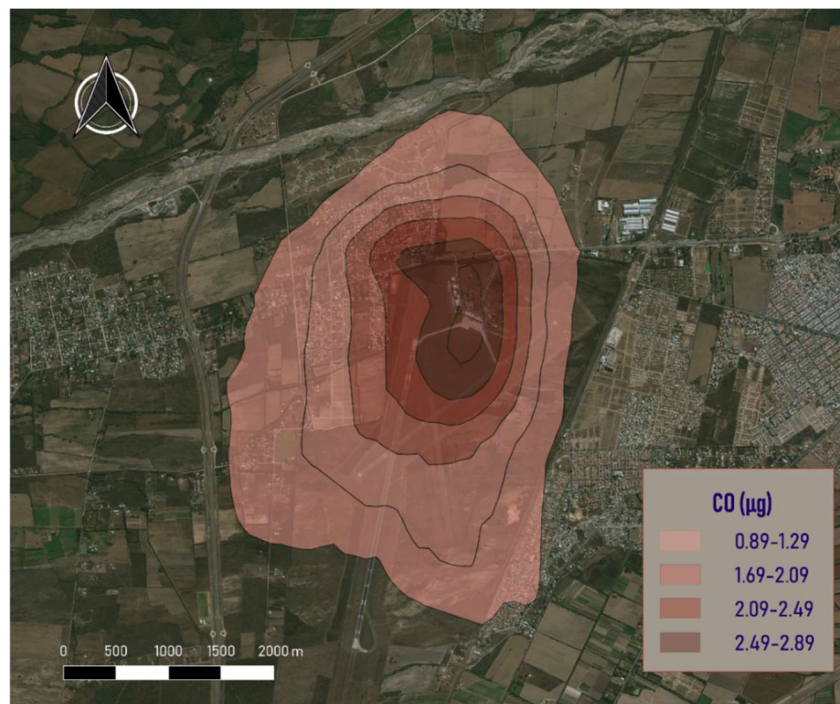


Figura 7. Dispersión gaseosa del CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Aeropuerto de Salta

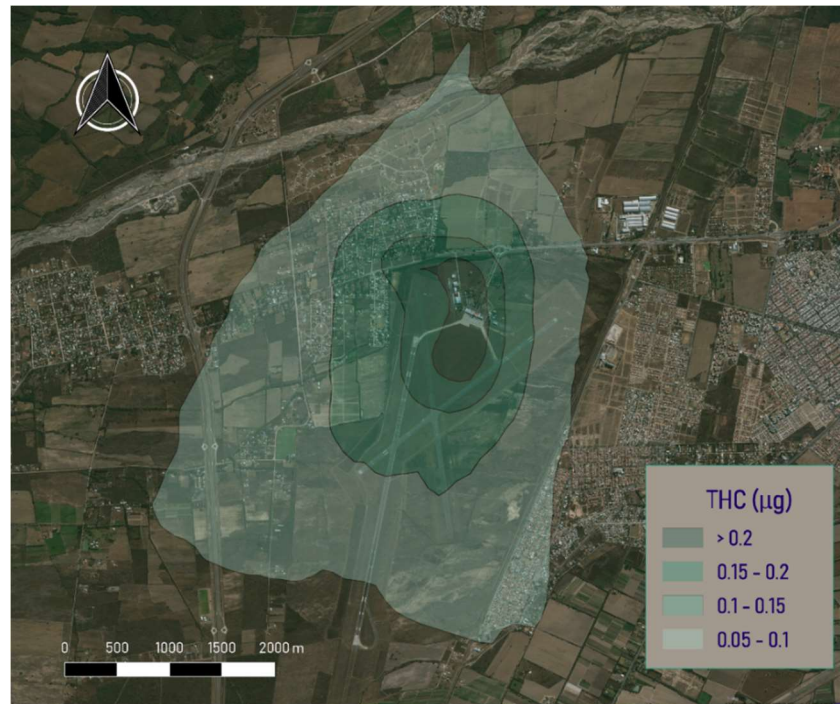


Figura 8. Dispersión gaseosa del THC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Aeropuerto de Salta

10. CONCLUSIONES

En relación con el nivel de emisiones gaseosas (cuantificación y dispersión), el escenario simulado presenta concentraciones muy por debajo de los límites indicados en las normativas analizadas, entre uno y dos órdenes de magnitud considerando los óxidos nitrosos. Del análisis de los hidrocarburos no quemados (THC) y el monóxido de carbono se observa un aumento de la población alcanzada por los niveles de concentración más bajos, estando no regulados para niveles de concentración anuales.

La planificación y gestión del uso del suelo es un medio eficaz para garantizar que las actividades del aeropuerto y el entorno inmediato sean compatibles. El crecimiento de la actividad aeronáutica, asociado a la tendencia mundial del incremento de la densidad de población en grandes ciudades, se verá reflejado en la aparición de nuevas situaciones complejas de competitividad territorial.



El desarrollo de la actividad humana y el crecimiento de las urbanizaciones hacia los aeropuertos no es un tema menor, debe ser difundido para su conocimiento y consideración en los desarrollos de planes estratégicos, códigos urbanos, planes maestros, entre otros. La falta de planificación lleva a una restricción operacional en el aeropuerto con considerables pérdidas económicas, y una afectación ambiental directa a la población que reside en el entorno aeroportuario.

Para analizar de forma integral la relación existente entre el aeropuerto y su entorno, es necesario caracterizar la población afectada por las emisiones gaseosas y acústicas producidas por las plantas de poder de las aeronaves que operan en el aeropuerto, estudiar la relación con las servidumbres aeronáuticas, específicamente las superficies limitadoras de obstáculos (SLOs); y la posibilidad de accidentes en el entorno inmediato.

REFERENCIAS

Alejandro, D. B. Coppa, M. and Tomassini, N. "Análisis comparativo de operaciones en el ciclo LTO en distintos aeropuertos en la región SAM," SITRAER 2014 – Air Transp. Symp. , Brazilian Air Transp. Res. Soc., p. 16, 2014.

Barrett, S. R. H. Britter, R. E. and Waitz, I. A. "Global mortality attributable to aircraft cruise emissions," Environ. Sci. Technol., vol. 44, no. 19, pp. 7736–7742, 2010.

Boeing, "Current Market Outlook 2013 –2032," 2013.

Coppa, M. D'lorio, I. Di Bernardi, A. and Tomassini, N. "Análisis operacional y el impacto gaseoso del ciclo LTO en distintos aeropuertos europeos," V Congr. la Red Iberoam. Investig. en Transp. Aéreo /, p. 15, 2015.

Di Bernardi, A. Coppa, M. and D'lorio, J. I. "Contaminación acústica y gaseosa en el Aeropuerto Internacional de Guarulhos y su impacto en la planificación de usos del suelo," in SITRAER– Air Transportation Symposium, São Paulo, Brazil, 2014.

Flightglobal Consultancy, "Flightglobal Fleet Forecast 2015-2031," 2015.

Heywood, J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill, 1998.

International Civil Aviation Organization (ICAO), "2013 Environmental Report : 'Destination Green,'" 2013.

International Civil Aviation Organization (ICAO), "Airport Air Quality Manual," 2011.

International Civil Aviation Organization (ICAO), "Annex 16 Environmental Protection - Volume II: Aircraft Engine Emissions," 2008.

International Civil Aviation Organization (ICAO), "Doc 9889: Airport air quality manual," 2011.



- International Civil Aviation Organization (ICAO), "ICAO Aircraft Engine Emissions Databank," 2015.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), Annex 16 - Vol III - Aeroplane CO2 Emissions, vol. III, no. January. 2017.
- Lefebvre, A. H. "Fuel Effects on Gas Turbine Combustion," *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 5, no. 4, 1983.
- Masiol M. and Harrison, R. M. "Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review," *Atmos. Environ.*, vol. 95, pp. 409–455, 2014.
- Parlamento Europeo, Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa EL, no. L 152. 2008, pp. 1–44.
- Simone, N. W. Stettler, M. E. J. and Barrett, S. R. H. "Rapid estimation of global civil aviation emissions with uncertainty quantification," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 25, pp. 33–41, 2013.
- World Health Organization, "WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide," *Glob. Updat. 2005 Summ. risk Assess.*, 2005.
- Wuebbles, D. Gupta, M. and Ko, M. "Evaluating the Impacts of Aviation on Climate Change," *Eos, Trans. Am. Geophys. Union*, vol. 88, no. 14, p. 157, 2007.





La Gestión del Riesgo y la Gerencia de la Cadena de Abastecimiento



IX Congreso Universidad Militar Nueva Granada
CONGRESO INTERNACIONAL DE LOGÍSTICA APLICADA



IV Congreso Escuela de Postgrados FAC
CONGRESO INTERNACIONAL DE LOGÍSTICA AERONÁUTICA



Fecha: 28 y 29 de agosto de 2019
Lugar: Universidad Militar Nueva Granada
Aula máxima y auditorios Esteban Jaramillo y Germán Arciniegas.
Bogotá - Colombia