

DISEÑO DE UN MODELO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE LA TENIDA DE COMBATE PARA LA DIVISIÓN LOGÍSTICA DEL EJÉRCITO DE CHILE

Fecha de recepción: 28 de diciembre de 2021

Fecha de aceptación: 28 de febrero de 2022

CAP. Alejandra Aravena Rojas ¹

Resumen: La investigación aborda la problemática generada por la ausencia de un modelo para la determinación de la demanda de tenidas de combate, que es desarrollada anualmente por la División Logística (DIVLOG) del Ejército de Chile. Consecuentemente, su propósito es proporcionar una alternativa de solución al problema planteado mediante el diseño de un modelo que permita determinar esta demanda, satisfaciendo los requerimientos del personal de la Institución.

Lo anterior, se logra mediante una investigación descriptiva analítica para el desarrollo del marco teórico y diagnóstico de la situación actual, que conducen a la identificación y selección de las variables del modelo. Finalmente, se aplica la metodología de dinámica de sistemas y en el software Vensim se establecen relaciones causales entre las variables seleccionadas, se ingresan los datos históricos de estas y se procede a la simulación, consiguiendo diseñar un modelo para la determinación de la demanda de tenidas de combate.

Palabras clave: Modelación, ecuación, vestuario militar, demanda, existencia.

DESIGN OF A MODEL FOR THE DETERMINATION OF THE DEMAND OF COMBAT CLOTHING FOR THE CHILEAN ARMY LOGISTICS DIVISION

Abstract: the research addresses the problem generated by the absence of a model for determining the demand for combat clothing, which is developed annually by the Logistics Division (DIVLOG) of the Chilean Army. Consequently, its purpose is to provide an alternative solution to the problem by designing a model to determine this demand, satisfying the requirements of the personnel of the institution.

This is achieved through analytical descriptive research for the development of the theoretical framework and diagnosis of the current situation, which lead to the identification and selection of the variables of the model. Finally, the system dynamics methodology is applied and causal relationships between the selected variables are established in the Vensim software, the historical data of these variables are entered, and the simulation is carried out, achieving the design of a model for the determination of the demand for combat clothing.

KEY WORDS: Modeling, equation, military clothing, demand, stock.

¹ Ingeniero Politécnica Militar con mención en Abastecimiento y Finanzas de la Academia Politécnica Militar, Santiago, Chile. Actualmente se desempeña como Jefa del Departamento de Gestión de Adquisiciones de la División logística del Ejército de Chile. Email: alejandra.aravena.r@ejercito.cl

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como objetivo “Diseñar un modelo para la determinación de la demanda de la tenida de combate para la DIVLOG del Ejército de Chile”, con el propósito de contar con una herramienta que permita determinar una proyección ajustada en cuanto a la cantidad de tenidas de combate que se requieren para satisfacer las necesidades del personal.

Para desarrollar este modelo, en una primera instancia se describe y analiza la normativa actual y variables que inciden en la determinación de la demanda institucional de tenidas de combate, así como la metodología actual que efectúa la DIVLOG para su formulación, lo que deriva, tras una investigación correlacional y exploratoria en la identificación, selección y recopilación de los datos de las variables del modelo. Posteriormente, aplicando la metodología de dinámica de sistemas y utilizando el software Vensim, se establecen las relaciones causales entre estas y se ingresan sus características, unidades de medida, valores y/o ecuaciones, logrando diseñar un modelo para la determinación de la demanda de tenidas de combate.

Finalmente, el modelo y los resultados de la simulación se presentan a un panel de expertos que cuenta con las capacidades para poder evaluar su efectividad, logrando de esta forma dar cumplimiento al objetivo general que es diseñar un modelo para la determinación de la demanda de la tenida de combate para la DIVLOG del Ejército de Chile.

2. DESARROLLO

A continuación, se abordan las etapas principales de la investigación: determinación de la demanda de vestuario y equipo institucional, selección de las variables del modelo y diseño del modelo para la determinación de la demanda de tenidas de combate.

2.1. Determinación de la demanda de vestuario y equipo institucional

Con el propósito de proporcionar un conocimiento básico sobre la formulación de la demanda operacional de vestuario y equipo, el año 2017, la DIVLOG elaboró la cartilla CAL-02003 “Levantamiento de la demanda distribución de vestuario y equipo”, la cual establece la metodología para la determinación de la demanda de vestuario y equipo en cuanto a los plazos de formulación, tipo de personal que debe contemplar e indica el marco regulatorio que rige el proceso. En ese sentido, señala la forma de distribución de estos bienes, estableciendo la documentación y formatos para su realización.

En cuanto al proceso de demanda, indica que, en el mes de febrero, debe solicitar a la Dirección de Operaciones del Ejército (DOE) y Dirección de Personal (DPE) la proyección

de la fuerza del personal de planta, alumnos, Soldados Conscriptos (SLCs) y Soldados de Tropa Profesional (SLTPs), que tendrá la Institución para el año subsiguiente. Asimismo, establece los parámetros de la demanda, que se indican a continuación:

- a. Existencia institucional: stock de especies en los almacenes del Ejército de Chile.
- b. Fuerza del personal: cantidad de personas que forman parte de la Institución.
- c. Dotación: cantidad de especies que le corresponden a cada soldado.
- d. Factores de reposición: porcentaje que se debe reponer determinado por especie.
- e. Porcentaje de stock de seguridad asignado para cada especie: porcentaje de stock mínimo que debe almacenarse por especie.
- f. 5% de reposición: porcentaje adicional para reposición de especies.

En cuanto al cálculo de la demanda, entrega de forma textual las siguientes orientaciones:

Para calcular cualquier especie se multiplica la dotación x factor de reposición x la fuerza que corresponde a cada categoría de personal (personal de planta, SLTPs y SLCs), al resultado de la operación anterior se aplica un 5% de reposición que es utilizado por las unidades en caso de pérdida, reemplazo de material defectuoso o problemas de tallas, luego se aplica un porcentaje que corresponde al stock de seguridad que debe quedar en el RLE N° 1 “Bellavista” (CAL – 02003, pág. 1 - 4).

En base a lo descrito, la demanda, que se representará con la letra D, se puede expresar en la siguiente ecuación:

$$D = ((\text{Dotación} \cdot \text{Factor reposición} \cdot \text{Fuerza}) \cdot 1,05) \cdot (1 + \text{Stock de seguridad})$$

Por otra parte, dentro de la normativa institucional que regulan la demanda de vestuario y equipo institucional, se cuenta con las “Políticas Logísticas del Ejército”, texto del año 2010, que dispone los aspectos relacionados con la planificación y ejecución de la logística institucional de las distintas funciones, entre estas, de la función abastecimiento (Dirección de Logística, 2010, pág. 5).

En lo concerniente a la demanda de vestuario y equipo, las Políticas Logísticas del Ejército indican la composición de la dotación, conforme a las zonas climáticas definidas por el Ejército de Chile, los cuales están contenidos en un documento denominado “Dotación de vestuario y equipo” (Dirección de Logística, 2014).

Asimismo, las Políticas Logísticas establecen los parámetros que deben considerarse para la determinación de la demanda, los cuales son los mismos establecidos en la cartilla

CAL-02003, no obstante, se le agregan las adquisiciones en curso (Dirección de Logística, 2010, pág. 17). Al respecto, considerando este parámetro, la demanda institucional de vestuario y equipo se puede expresar en la siguiente ecuación:

$$D = ((Dotación \cdot Factor \text{ reposición} \cdot Fuerza) \cdot 1,05) \cdot (1 + Stock \text{ seguridad}) - Adq. \text{ en curso}$$

2.1.1. Metodología para la determinación de la demanda de vestuario y equipo de la DIVLOG.

La metodología empleada por la DIVLOG para la determinación de la demanda se basa en la normativa institucional vigente, considerando específicamente lo señalado por la cartilla CAL-02003. Esta se diagramó en el software Bizagi, aplicación propuesta por el Consejo de Auditoría Interna General de Gobierno (CAIGG) para el levantamiento y modelamiento de procesos para los organismos gubernamentales, como se presenta en la Figura N°1, “Diagrama del proceso de cálculo de la demanda de tenidas de combate”.

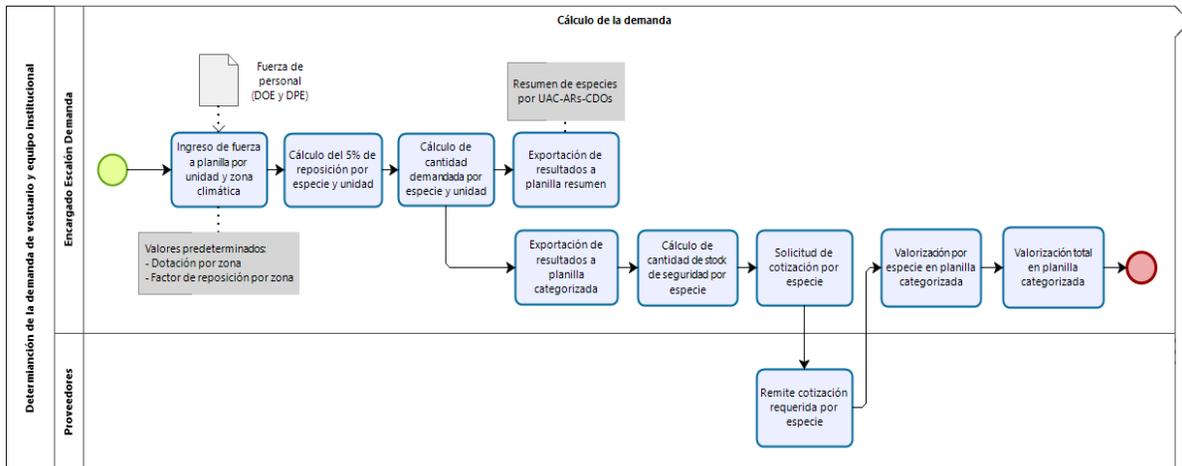


Figura N°1: “Diagrama del proceso de cálculo de la demanda de tenidas de combate”.

Fuente: Elaboración propia en software Bizagi (2021).

2.1.2. Modelos logísticos de gestión de stocks

En la literatura, se puede evidenciar que existen distintos tipos de clasificación de la demanda que influyen en la gestión de stocks (García Sabater, 2014, pág. 1), como se presenta en la Figura N°2.

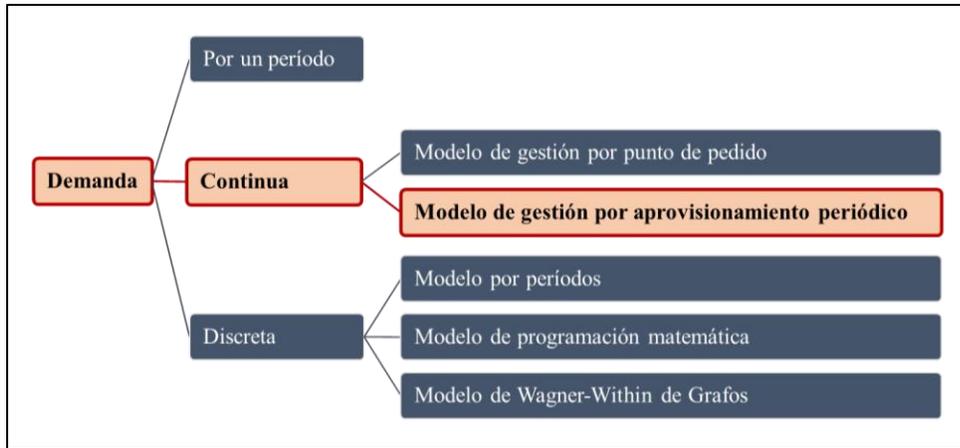


Figura N°2: “Modelos logísticos de gestión de stocks”.

Fuente: Elaboración propia basada en información obtenida de García, J. P. (2011).

La demanda por un periodo es aquella que se asocia a productos que se consideran que, una vez cumplido su ciclo de vida, no serán nuevamente requeridos. Por otra parte, la demanda continua, es aquella que no se prevé por períodos, sino que se considera que será una función a lo largo del tiempo, repitiéndose de manera sistémica en varios períodos. Por último, la demanda discreta, es aquella que consiste en decidir en cada período cuándo y cuánto comprar.

En el caso del Ejército de Chile la clasificación de la demanda que más se aproxima a la realidad institucional es la demanda continua, ya que todos los años deben efectuarse los cálculos de esta, en la misma fecha, estando predefinidos los periodos en los que se debe determinar la demanda.

Los modelos básicos en demanda continua son de gestión por punto de pedido y de aprovisionamiento periódico. El modelo por punto de pedido consiste en solicitar un nuevo lote cuando el nivel de stock alcanza un nivel determinado, siendo este siempre el mismo, en cambio el modelo de aprovisionamiento periódico es aquel en que, una vez fijado el periodo de solicitud de inventario, la cantidad que se pedirá, dependerá del nivel de inventario y otros factores. Debido a que la asignación recursos financieros se realiza de forma periódica y el cálculo de la demanda se realiza una vez comunicada la asignación, el modelo que más se ajusta entre ambos es el de aprovisionamiento periódico, que es en el que se profundizará a continuación.

El modelo de aprovisionamiento periódico trata de encontrar el valor de dos variables (García Sabater, 2014):

- Periodicidad: determinando el plazo de tiempo que debe transcurrir entre dos pedidos.

- Cantidad de pedido: partiendo de los parámetros tales como el consumo esperado del producto, plazo de entrega, precio de compra, costes de adquisición y posesión, de modo de optimizar el stock y nivel de servicio.

El método consiste en que cada período de tiempo, que se representa con la letra T, se pedirá una cantidad de pedido, que se representa con la letra Q, para determinar la demanda utilizando la siguiente ecuación (Ferrín Gutiérrez, 2007, pág. 157):

$$Q = \text{Cantidad de pedido} = \text{Cobertura} - \text{Stock} - \text{Pedidos pendientes}$$

La cobertura, representada por la letra C, es la cantidad que debe cubrir el consumo durante el período de tiempo entre pedidos T más el plazo de entrega, representado por la letra E. Como se observa en la Figura N°3, “Gráfica de Aprovisionamiento Periódico”, en los modelos de periodo fijo se establece un periodo de tiempo, que es siempre el mismo, donde se realizarán los reabastecimientos de inventario.

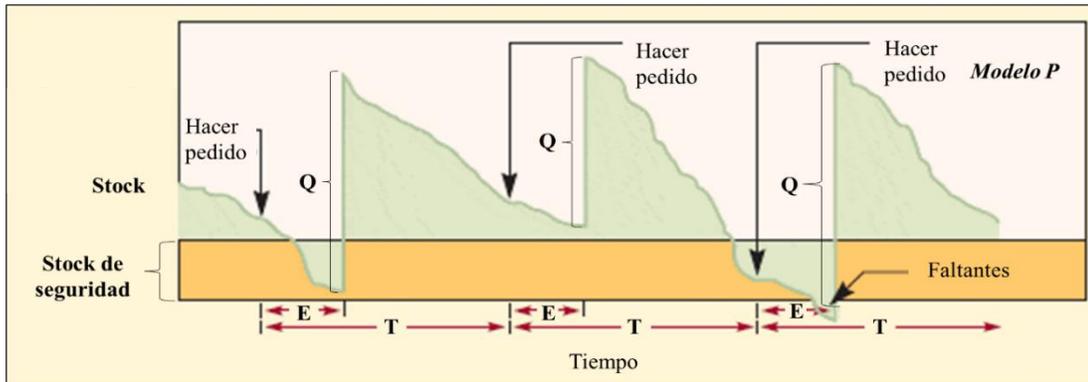


Figura N°3: “Gráfico de aprovisionamiento periódico”.

Fuente: Adaptado de Boada, A. (2020).

La determinación de la periodicidad o frecuencia de pedido se realiza a través de la siguiente ecuación (Ferrín Gutiérrez, 2007, pág. 152):

$$T = \frac{12}{\text{Número de pedidos cursados al año}}$$

Asimismo, este modelo contempla costos de stock, específicamente costos de adquisición y de posesión. Los costos de adquisición son todos aquellos relacionados con los sueldos, seguros, suministros de oficina y otros administrativos relacionados con la compra de las especies. Por otro lado, los costos de posesión son aquellos que se vinculan al almacenamiento y mantenimiento del stock, incluyendo gastos de financiamiento en los que se puedan incurrir, como la tasa de interés de un crédito para la adquisición de las especies. No

obstante, no se profundizará en estos costos, ya que no se tiene considerado que sean incluidos en la investigación.

La determinación de la cobertura C, se realiza a través de la siguiente ecuación (Ferrín Gutiérrez, 2007, pág. 154):

$$C = m * (T + E) + \text{Stock de seguridad}$$

Donde:

m = Consumo medio mensual

T = Periodicidad o frecuencia de pedido

E = Plazo de entrega

Y, el stock de seguridad se representa con la siguiente ecuación (Ferrín Gutiérrez, 2007, pág. 154):

$$\text{Stock de seguridad} = K\sqrt{m^2 \sigma_E^2 + E^2 \sigma_m^2}$$

Donde:

K = Grado de nivel de servicio que se quiere entregar

σ_E = Desviación estándar del plazo de entrega

σ_m = Desviación estándar del consumo

Por lo tanto, la cobertura C se expresa con la siguiente ecuación (Ferrín Gutiérrez, 2007, pág. 157):

$$\text{Cobertura} = m * (T + E) + K\sqrt{m^2 \sigma_E^2 + E^2 \sigma_m^2}$$

Finalmente, la cantidad a pedir por aprovisionamiento periódico se determina con la fórmula extendida de cantidad de pedido que se presenta a continuación:

$$Q = m * (T + E) + K\sqrt{m^2 \sigma_E^2 + E^2 \sigma_m^2} - \text{Stock} - \text{Pedidos pendientes}$$

2.2. Selección de las variables del modelo

Como resultado del análisis de la normativa actual, la metodología empleada por la DIVLOG y los modelos logísticos de gestión de stock, se identifican las variables asociadas al modelo. Luego, se determinan mediante el método Matriz de Impactos Cruzados Multiplicación Aplicada a una Clasificación (MICMAC), y se presentan a un panel de expertos seleccionado para estos fines, para la validación del resultado.

2.2.1. Identificación de las variables asociadas al modelo

El diccionario de la lengua española define variable como lo “que varía o puede variar” (Real Academia Española, 2020). En términos generales, las variables representan características y/o atributos medibles sujetos a cambios a medida que avanza la investigación y se comprueban los resultados. Derivado del análisis efectuado, las variables asociadas al modelo para la determinación de la demanda de tenidas de combate que se identifican son las que se describen en la Tabla N°1.

N°	Variable	Justificación
1	Existencia institucional.	Esta variable es considerada dentro del modelo básico de determinación de demanda. Las existencias se asocian a la disponibilidad de las tenidas en tránsito y/o en los almacenes y se relacionan con el nivel de servicio que se le quiere entregar al personal.
2	Fuerza del personal.	La fuerza del personal es una variable que se considera para el cálculo del consumo, dado que representan los clientes, demandantes principales de las tenidas de combate.
3	Dotación de vestuario y equipo según zona climática.	La dotación representa cuántas tenidas corresponden por soldado de manera permanente y son un factor dispuesto en las políticas institucionales.
4	Factor de reposición según zona climática.	El factor de reposición es un porcentaje que, al ser multiplicado por la dotación, entrega el resultado de la cantidad de tenidas que le corresponde renovar al personal anualmente. Este valor está dispuesto en la normativa institucional.
5	5% de reposición.	El 5% de reposición es un factor que también está dispuesto en la normativa institucional y es utilizado por las unidades en caso de pérdida, reemplazo de material defectuoso o problemas de tallas.
6	Adquisiciones en curso.	Representan las compras de especies que están siendo tramitadas a partir de una previa determinación de stock de especies requerido. Deben considerarse porque se asocian a recursos comprometidos.
7	Stock de seguridad.	El stock de seguridad es el inventario adicional con el que debe contar un almacén para hacer frente a imprevistos como los retrasos en las adquisiciones o por parte de los proveedores.
8	Plazo de entrega.	El plazo de entrega es el tiempo que se demora el proveedor desde que se ejecuta la compra hasta que el área de abastecimiento institucional recepciona la especie. Es relevante porque su no cumplimiento podría generar quiebres de stocks.
9	Nivel de servicio.	El nivel de servicio es el porcentaje de solicitudes que la organización es capaz de atender en un plazo determinado. Por lo anterior, representa el grado de satisfacción del personal.
10	Desviación de plazo de entrega.	Representa la diferencia entre la fecha de entrega que establece el proveedor y la fecha real de entrega. La desviación es una medida de dispersión respecto al promedio.

N°	Variable	Justificación
11	Desviación de consumo.	Representa la diferencia entre el consumo promedio y el consumo real. La desviación es una medida de dispersión respecto al promedio.
12	Tiempo de compra.	El tiempo de compra es aquel que se considera desde que se asignan los recursos hasta que se ejecuta la compra, lo que se formaliza a través de una orden de compra o contrato. Depende de la eficiencia de la organización, disponibilidad de proveedores en el mercado, entre otros factores.
13	Periodicidad o frecuencia de pedido.	Representa el plazo de tiempo que debe transcurrir entre dos pedidos, es decir cada cuánto se debe realizar una nueva solicitud de compra.
14	Costo de la tenida de combate.	El costo de la tenida de combate se asocia principalmente al precio de esta y a otros montos incurridos en su compra, como lo son el de traslado, impuestos, entre otros.
15	Demanda de tenidas de combate.	Representa la cantidad de pedido de esta especie de vestuario y equipo, cuya periodicidad actualmente es de un año.

Tabla N°1: “Identificación de variables asociadas a modelo”.

Fuente: Elaboración propia (2021).

2.2.2. Determinación de las variables del modelo

Con el objeto de determinar las variables del modelo, se utiliza el método MICMAC, herramienta de análisis estructural que relaciona y clasifica variables de un modelo (Pérez Uribe & Alfonso Vargas, 2015, pág. 96). El propósito principal del método es identificar las variables con alta influencia y dependencia, denominadas claves o de enlace, a través de las cuales la organización puede realizar gestión.

El método se realiza con expertos que tengan experiencia en el área y se compone de tres fases (Godet, 2007, pág. 64):

- a. Listado de variables.
- b. Descripción de relaciones entre variables.
- c. Identificación de las variables con MICMAC.

En consideración a lo anterior, se realizó una reunión con personal del Departamento de Vestuario y Equipo Institucional, con quienes se desarrolló el método según la secuencia que se presenta a continuación:

- a. Listado de variables: a partir de la identificación previa de estas, se procede a su enumeración como se presenta en la Tabla N°2.

N°	Variable
V1	Existencia institucional.
V2	Fuerza del personal.
V3	Dotación de vestuario y equipo según zona climática.
V4	Factor de reposición según zona climática.
V5	5% de reposición.
V6	Adquisiciones en curso.
V7	Stock de seguridad.
V8	Plazo de entrega.
V9	Nivel de servicio.
V10	Desviación de plazo de entrega.
V11	Desviación de consumo.
V12	Tiempo de compra.
V13	Periodicidad o frecuencia de pedido.
V14	Costo de la tenida de combate.
V15	Demanda de tenidas de combate.

Tabla N°2: "Definición de variables".

Fuente: Elaboración propia (2021).

- b. Descripción de relaciones entre variables: en esta fase se relacionan las variables mediante una escala de 0 a 4 para establecer la influencia entre estas, como se indica en la Tabla N°3.

N°	Relación de influencia
0	No hay relación.
1	Débil.
2	Mediana.
3	Fuerte.
4	Potencial.

Tabla N°3: "Escala de relación de influencia entre las variables".

Fuente: (Godet, 2007).

Con la escala anterior se elaboró la matriz influencia-dependencia de doble entrada, como se muestra en Tabla N°4.

Variables	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Influencia	
V1	0	0	1	2	3	0	2	0	3	0	3	2	2	2	3	23	12%
V2	2	0	3	1	0	3	2	0	1	0	3	0	0	0	3	18	10%
V3	2	2	0	2	0	3	0	0	0	0	2	0	0	2	3	16	9%
V4	2	0	1	0	2	1	2	0	0	2	1	0	0	0	2	13	7%
V5	1	0	2	2	0	1	2	0	0	2	1	1	0	0	1	13	7%
V6	2	3	3	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	16	9%
V7	1	0	0	3	2	1	0	0	0	3	0	2	0	0	1	13	7%
V8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	4	2	1	2	11	6%
V9	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	2	7	4%

Variables	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Influencia	
V10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	2	1	1	11	6%
V11	3	0	1	0	0	1	2	2	0	1	0	2	1	0	0	13	7%
V12	3	0	1	0	0	1	0	3	1	0	3	0	2	0	0	14	7%
V13	3	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	1	0	0	0	8	4%
V14	3	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	0	2	9	5%
V15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	2%
Dependencia	23	5	12	10	10	12	10	8	8	13	18	17	10	9	23	188	100%
	12%	3%	6%	5%	5%	6%	5%	4%	4%	7%	10%	9%	5%	5%	12%	100%	

Tabla N°4: “Matriz influencia-dependencia”.

Fuente: Elaboración propia (2021).

- c. Identificación de variables claves con método MICMAC: los resultados de las relaciones se representan en un plano de influencia-dependencia en el que se pueden visualizar las variables, donde el eje de las abscisas corresponde a la dependencia y el eje de ordenadas a la influencia. Este plano se divide en cinco sectores como se observa en el Figura N°4.

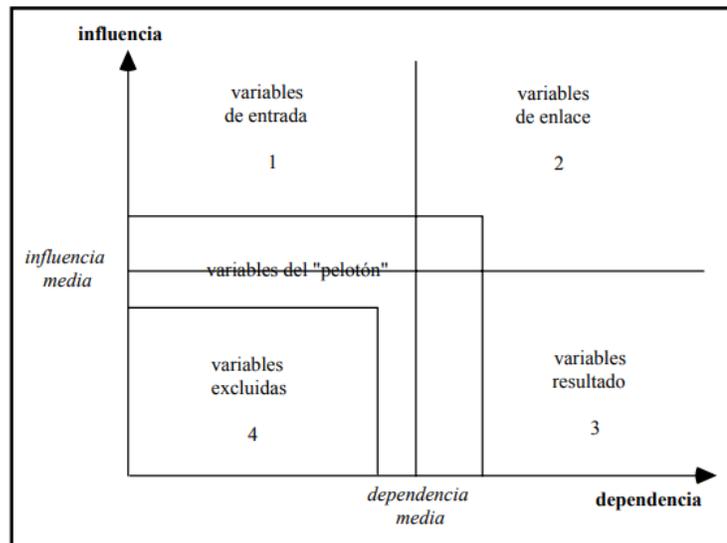


Figura N°4: “Plano de influencia-dependencia”.

Fuente: (Godet, 2007).

Las variables se categorizan según los sectores, como se indica a continuación (Godet, 1993):

- Sector 1: En este sector se agrupan las variables de entrada o influencia. Tienen alta influencia y relativa dependencia, y se caracterizan por afectar altamente el modelo, definiendo los requisitos y condiciones del sistema.
- Sector 2: En este sector se agrupan las variables de enlace o claves. Son muy motrices y dependientes. Sus cambios producen grandes impactos en la organización o sistema que se analice.

- Sector 3: En este sector se agrupan las variables resultado o dependientes. Son poco motrices y muy dependientes de las otras variables del sistema.
- Sector 4: En este sector se agrupan las variables excluidas o autónomas. Tienen baja influencia y son poco dependientes. Pueden ser excluidas del análisis, dado que sus efectos en el sistema no son tan relevantes.
- Sector 5: En este sector se agrupan las variables denominadas “del pelotón” o reguladoras-palancas. Son medianamente motrices y/o dependientes, y son el medio de paso para alcanzar el cumplimiento de las variables claves.

Luego del ingreso de las relaciones en la matriz del software MICMAC, se obtiene el plano resultado influencia-dependencia que se muestra a continuación:

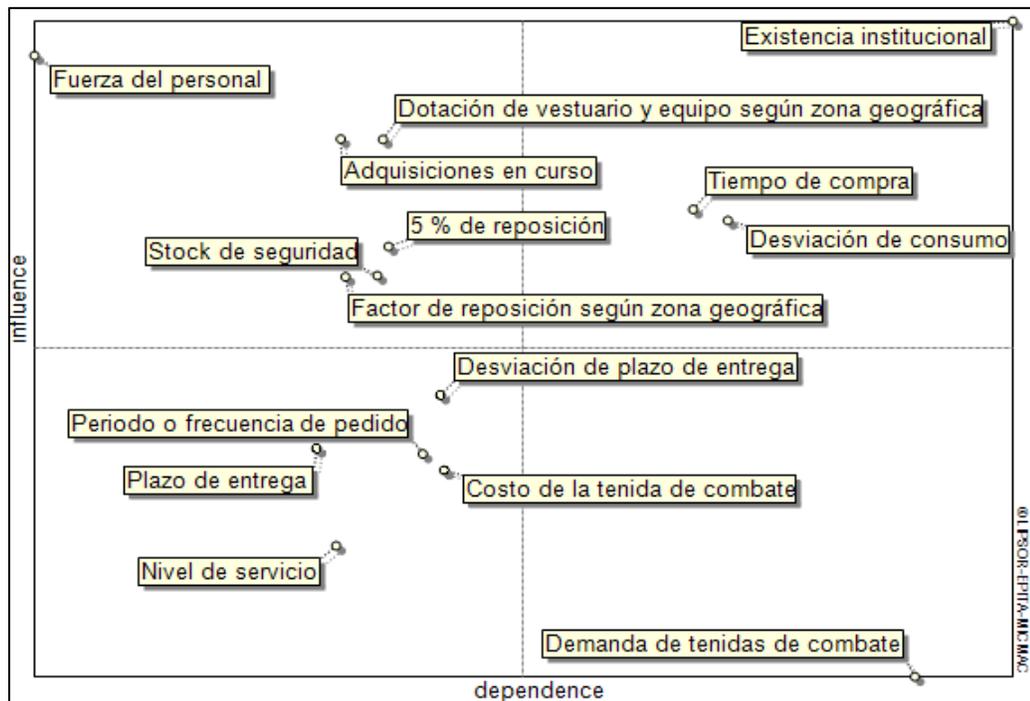


Figura N°5: “Plano de influencia-dependencia de las variables”.

Fuente: Elaboración propia en software MICMAC (2021).

A partir de lo anterior, se pueden clasificar las variables de acuerdo con el sector en el que se encuentran, como se indica en la Tabla N°5:

N°	Variable	Tipo de variable
1	Existencia institucional.	Variable de enlace o clave.
2	Fuerza del personal.	Variable de entrada o influencia.
3	Dotación de vestuario y equipo según zona climática.	Variable de entrada o influencia.
4	Factor de reposición según zona climática.	Variable del pelotón o reguladora.
5	5% de reposición.	Variable del pelotón o reguladora.
6	Adquisiciones en curso.	Variable de entrada o influencia.

N°	Variable	Tipo de variable
7	Stock de seguridad.	Variable del pelotón o reguladora.
8	Plazo de entrega.	Variable del pelotón o reguladora.
9	Nivel de servicio.	Variable excluida o autónoma.
10	Desviación de plazo de entrega.	Variable del pelotón o reguladora.
11	Desviación de consumo.	Variable del pelotón o reguladora.
12	Tiempo de compra.	Variable del pelotón o reguladora.
13	Periodicidad o frecuencia de pedido.	Variable del pelotón o reguladora.
14	Costo de la tenida de combate.	Variable del pelotón o reguladora.
15	Demanda de tenidas de combate.	Variable resultado o dependiente.

Tabla N°5: “Clasificación de las variables para el modelo”.

Fuente: Elaboración propia (2021).

Según los resultados obtenidos, la variable N°9 “Nivel de Servicio” que se identifica como autónoma, se puede excluir del modelo, dado que sus efectos no son tan relevantes. Por otra parte, las variables restantes, cumplen una condición relevante en el modelo y debiesen incluirse. En base a lo anterior, la determinación de las variables del modelo que se propondrá al panel de expertos es la siguiente:

1. Existencia institucional.
2. Fuerza del personal.
3. Dotación de vestuario y equipo según zona climática.
4. Factor de reposición según zona climática.
5. 5% de reposición.
6. Adquisiciones en curso.
7. Stock de seguridad.
8. Plazo de entrega.
9. Desviación de plazo de entrega.
10. Desviación de consumo.
11. Tiempo de compra.
12. Periodicidad o frecuencia de pedido.
13. Costo de la tenida de combate.
14. Demanda de tenidas de combate.

Según los resultados obtenidos, la variable N°9 “Nivel de Servicio” que se identifica como autónoma, se puede excluir del modelo, dado que sus efectos no son tan relevantes. Por otra parte, las variables restantes, cumplen una condición relevante en el modelo, por lo que deben incluirse.

2.2.3. Selección de las variables del modelo.

Los resultados de esta determinación de variables se expusieron a un panel de expertos, quienes validaron estos resultados. En base a esta validación, las variables seleccionadas para

el diseño del modelo son las propuestas por el panel de especialistas a través del método MICMAC.

2.3. Modelo para la determinación de la demanda de tenidas de combate

Para el desarrollo del modelo, se requieren los datos históricos de las variables seleccionadas. Luego, se procede a identificar y seleccionar una metodología de modelación que se relacione con el tema de investigación. Finalmente, se desarrollará el modelo, se modelará en un software previamente seleccionado y se simulará, para posteriormente proceder a la verificación y diseño de un modelo para la determinación de la demanda de la tenida de combate.

2.3.1. Recopilación de datos históricos de las variables del modelo.

En base a sus características, se recopilaron los datos históricos de las siguientes variables, que no están establecidas y presentan una variabilidad anual:

- a. Fuerza del personal.
- b. Plazo de entrega.
- c. Desviación del plazo de entrega.
- d. Tiempo de compra.
- e. Costo de la tenida de combate.

2.3.2. Identificación de metodologías de modelación.

En cuanto a las metodologías de modelación, estas deben cumplir los criterios acordados al modelo abordados durante la investigación, como se indica:

- a. Cuantitativa.
- b. De carácter estocástico.
- c. De eventos continuos dinámica.
- d. Con elementos estructurales de causalidad, retroalimentación por retrasos en los subsistemas y flujos periódicos.
- e. Con herramientas de programación disponibles para diferentes sistemas operativos, lenguajes de programación, versiones y GUI (*graphical user interface*).
- f. De sistemas complejos y con análisis de sensibilidad para las variables de estado y condiciones de borde.

Las metodologías que cumplen con estos criterios y que se evalúan son:

- a. Dinámica de sistemas.
- b. Método de Montecarlo.
- c. Redes Bayesianas.
- d. Técnicas de investigación de operaciones.

2.3.3. Selección de una metodología de modelación.

Para seleccionar la metodología de modelación, junto a personal experto en modelación y simulación, se efectuó el proceso jerárquico mediante el empleo del software Expert Choice. Primero, se definieron los criterios y alternativas de solución, luego se efectuó la comparación por pares, posteriormente se priorizaron en el software y finalmente se seleccionó la metodología de modelación de dinámica de sistemas, como la más acorde para la investigación.

2.3.4. Elementos estructurales, componentes y ecuaciones de Forrester.

Para el modelamiento mediante la metodología seleccionada, es necesario evidenciar los elementos estructurales que se encuentran presentes en los sistemas dinámicos, así como los componentes y ecuaciones que definen los diagramas, como se presenta en la Tabla N°6.

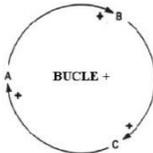
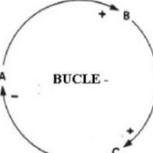
Elemento estructural	Ecuación	Definición
Diagramas de causalidad	$A \longrightarrow B$ <p>A influencia a B</p>	Estos diagramas representan la interacción causal entre dos o más variables, definiendo la estructura de un sistema, en cuanto a las relaciones entre las mismas. Se representan mediante una flecha dirigida, que tiene la dirección desde la variable independiente hacia la variable dependiente. Al término de la flecha se ubica un signo de polaridad positivo si es directa y negativo si es inversa.
Bucles de realimentación positivo		Los bucles de realimentación, definidos como una cadena cerrada de acciones elementales entre elementos de un sistema, se clasifican en bucles de realimentación positivos y negativos. Los positivos son aquellos en que la variación de un elemento se propaga a través de este reforzando la variación inicial, tendiendo a un crecimiento exponencial.
Bucles de realimentación negativo		Los bucles de realimentación negativa son aquellos en que los cambios de un elemento que se transmiten a lo largo del bucle determinan un cambio que contrarresta el inicial, tendiendo a un comportamiento asintótico o de equilibrio. Se da esta condición si contiene un número impar de relaciones negativas.
Diagramas de Forrester		Corresponden a un diagrama de causalidad basado en la naturaleza y comportamiento matemático de variables de nivel, flujo y auxiliares. Constituye un paso intermedio entre el diagrama causal y el sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden asociado a este.

Tabla N°6: “Elementos estructurales de la metodología de dinámica de sistemas”.
 Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida de Sterman, J. (2002).

El origen de la conducta dinámica en sí misma, es una relación entre los flujos y stocks, donde los stocks aumentan los flujos; los que, a su vez, generan que las medidas de los stocks cambien en el tiempo. Asimismo, en los sistemas existen retrasos que distribuyen los efectos de los cambios en las variables en relación con el tiempo. Por otra parte, hay retroalimentaciones que transmiten la conducta dinámica hasta cerrar lazos, que tienden a equilibrar o desequilibrar un sistema. Por último, se generan relaciones no lineales, que implican que atributos del sistema influyan en él de manera no proporcional. Los resultados de estas interacciones causan cambios en la estructura de un sistema en el tiempo (Ortiz Moctezuma, 2015, pág. 13).

Para el análisis de los componentes y ecuaciones que definen un diagrama de Forrester se utilizará la simbología que se muestra en la siguiente Fig. N°6.

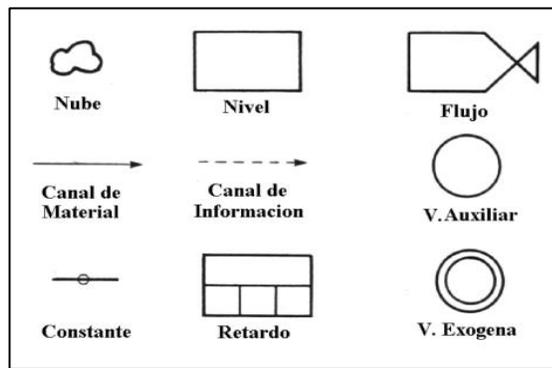


Figura N°6, "Símbolos del diagrama de Forrester".

Fuente: De Leo, E., Aranda, D., & Addati, G. A. (2020). Introducción a la dinámica de sistemas. Buenos Aires, Argentina: Universidad del CEMA.

En base a la simbología presentada, a continuación, en la Tabla N°7, se definen los componentes y sus respectivos diagramas de ecuación. Se observa que los canales de material, las constantes y canales de información son parte estos.

Componente	Definición	Diagrama de ecuación
VARIABLES DE NIVEL	Se denominan también variables de estado y se definen como la magnitud del resultado acumulativo de acciones pasadas. En hidrodinámica se asocian a los depósitos que acumulan líquido, que acumulan líquido como resultado de la apertura de las válvulas.	

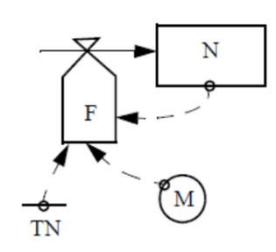
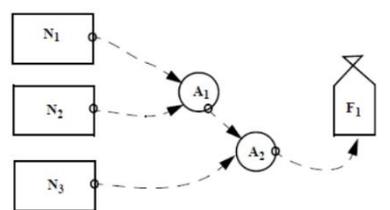
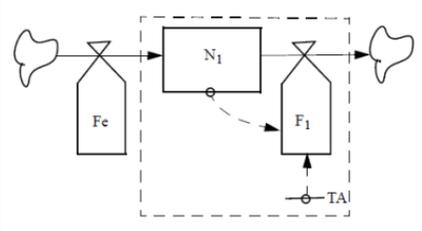
Componente	Definición	Diagrama de ecuación
VARIABLES DE FLUJO	Estas variables determinan los cambios en las variables de nivel. Muestran las acciones en el sistema, que quedan acumuladas en los niveles. Expresan la transformación de la información en una acción. En hidrodinámica se asocian a las válvulas del sistema.	
VARIABLES AUXILIARES	Estas variables representan la descomposición de cálculos de una variable de flujo a partir de los valores de otros niveles. Se utilizan para facilitar la comprensión y definición de las variables de flujo.	
RETRASOS	Los retrasos son una característica que se considera en los sistemas dinámicos, tanto en la transmisión de material o de información. Se producen cuando existen elementos que almacenan temporalmente el material que fluye por el mismo.	
NUBE	Una nube representa una fuente exterior de capacidad infinita.	

Tabla N°7: “Componentes de un diagrama causal”.

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida de De Leo, E., Aranda, D., & Addati, G. A. (2020).

Los componentes definidos tienen asociadas ecuaciones. A la variable de nivel $N(t)$ se le puede asociar un flujo de entrada $Fe(t)$ y salida $Fs(t)$, representándose a través de una ecuación denominada de nivel como se presenta en la siguiente ecuación (De Leo, Aranda, & Addati, 2020, pág. 12):

$$N(t) = N(t_0) + \int_{t_0}^t f(Fe, Fs) dt$$

Y, en el caso de la variable de flujo $F(t)$, se asocia a la ecuación de flujo, con variables de nivel, auxiliares y constantes, donde F_n flujo normal (constante), $M(t)$ el multiplicador de flujo y $N(t)$ el nivel, como se expresa en la siguiente ecuación (De Leo, Aranda, & Addati, 2020, pág. 13):

$$F(t) = F_n \cdot M(t) \cdot N(t)$$

2.3.5. Modelo para la determinación de la demanda.

Con el propósito de dar un ordenamiento y claridad a la diagramación del modelo para la determinación de la demanda, se utilizan dos capas del software, denominadas “pedidos e inventario” y “demanda”.

En la primera “pedidos e inventario”, se establecen las relaciones entre todas las variables que afectan al modelo de demanda, además de variables propias de los diagramas causales. Esta es la dinámica más relevante del modelo, pues en esta se sustenta la cantidad de pedido.

Por otra parte, en la segunda ventana “demanda”, se refleja la variable de nivel resultado denominada “cantidad de pedido anual”, que determina la demanda, a través de la confluencia de las variables y relaciones determinadas en la primera, como se presenta a continuación:

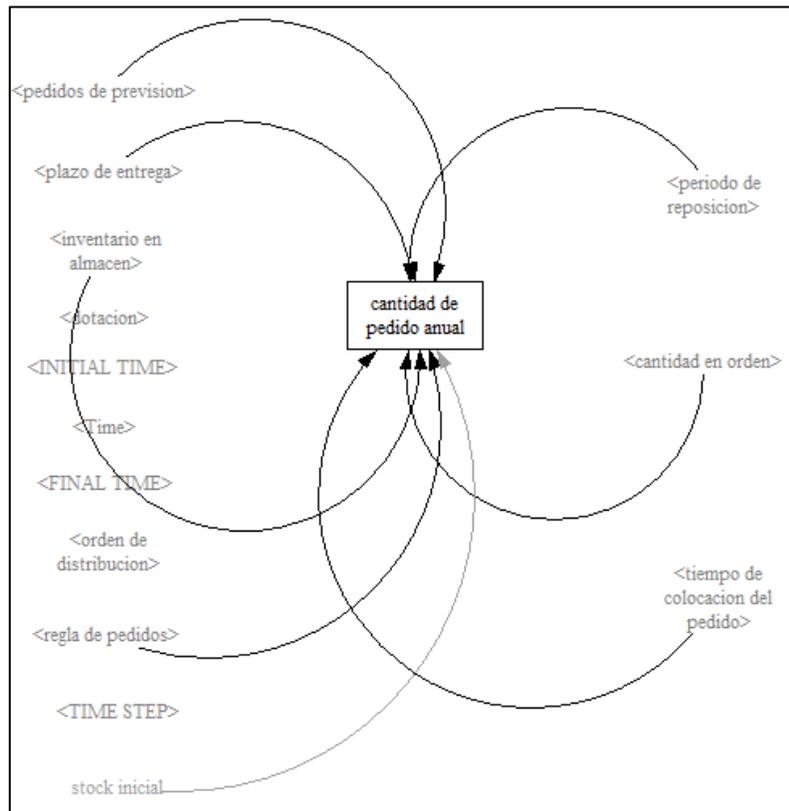


Figura N°7: “Diagrama de demanda de tenidas de combate”.

Fuente: Elaboración propia en software Vensim (2021).

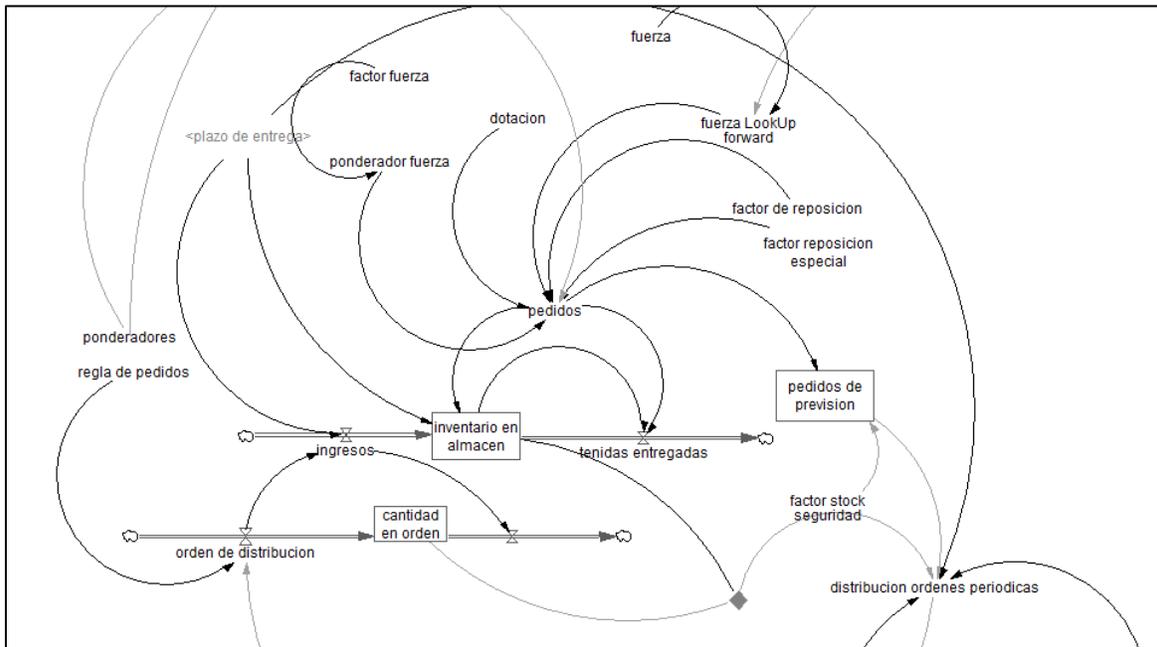


Figura N°8, “Vista superior del diagrama de pedidos e inventarios”.
 Fuente: Elaboración propia en software Vensim (2021).

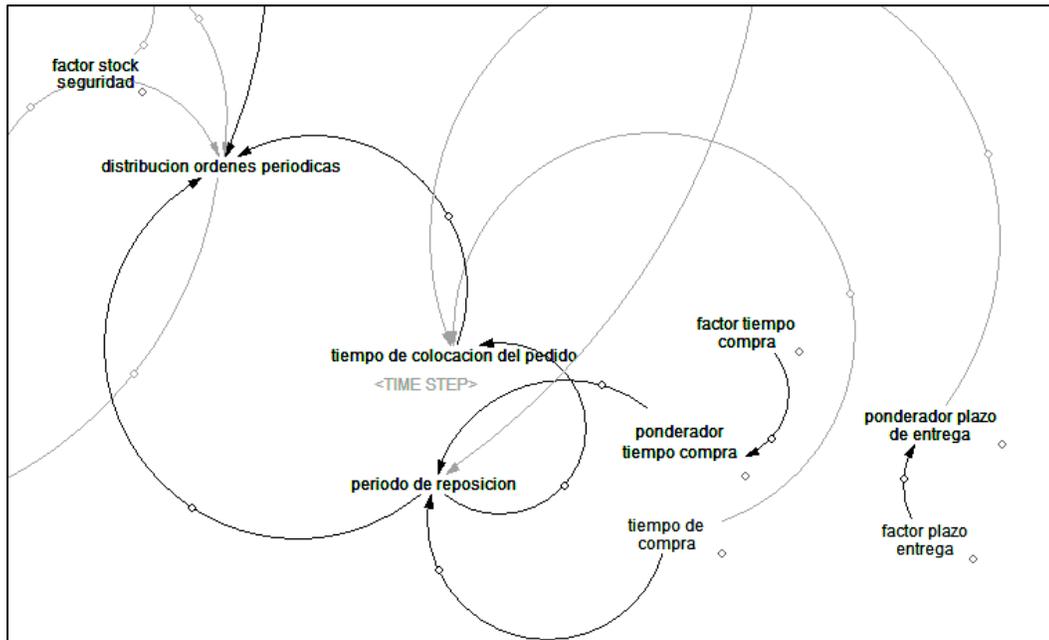


Figura N°9: “Vista inferior del diagrama de pedidos e inventarios”.
 Fuente: Elaboración propia en software Vensim (2021).

2.3.6. Selección del software para la simulación del modelo.

Para seleccionar la herramienta de modelación, se efectuó el proceso jerárquico analítico mediante el empleo del software Expert Choice con personal experto en modelación y

simulación. En primer lugar, se definieron los criterios y alternativas de solución, luego se efectuó la comparación por pares, posteriormente se priorizaron en el software y finalmente se seleccionó el software Vensim, como la herramienta más acorde para la investigación.

Los criterios definidos fueron los siguientes:

- a. Modelación mediante dinámica de sistemas.
- b. Licenciamiento con mínimas restricciones.
- c. Interfaz con formato de experiencia de usuario.
- d. Compatibilidad con sistemas operativos.
- e. Implementación y capacitación accesibles.

Las alternativas de solución fueron las siguientes:

- a. Arena Rockwell.
- b. Vensim.
- c. Ithink.
- d. Simul8.
- e. Simio.

2.3.7. Modelación en el software seleccionado.

En el software seleccionado, Vensim, se desarrolla el modelo de acuerdo con los diagramas y relaciones definidos en la etapa previa de modelación, utilizando para este propósito dos ventanas o capas del software, uno para el diagrama denominado “pedidos e inventario” y otro para el diagrama “demanda”.

Una vez diagramados los componentes, se ingresan en el software el tipo de variable y unidad de medida asociada a cada uno de estos, como también las ecuaciones que los determinan. Esta interacción de los componentes permite la obtención del modelo de demanda, definida por las variables que se presentan en la Tabla N°8.

Variable	Nombre
$ped_prev(t)$	Pedidos de previsión.
t_e	Plazo de entrega.
p_r	Periodo de reposición (sobre 365 días).
$inv_alm(t)$	Inventario en almacén.
$q_{orden}(t)$	Cantidad en orden.
t_c	Tiempo de colocación del pedido.
$ped(t)$	Pedidos.
f_s	Factor stock de seguridad.
$i(t)$	Ingresos.

Variable	Nombre
$e(t)$	Tenidas entregadas.
$Q(t)$	Demanda.

Tabla N°8: “Variables de la ecuación de demanda”.

Fuente: Elaboración propia (2021).

Los pedidos de previsión se expresan en la siguiente ecuación:

$$\text{ped_prev}(t) = \int [\text{ped}(t) - \text{ped_prev}(t)] \cdot f_s dt$$

Por otra parte, el inventario en almacén se expresa en la siguiente ecuación:

$$\text{inv_alm}(t) = \int [i(t) - e(t)] dt + \text{ped}(t) \cdot t_e$$

Finalmente, el modelo de demanda se representa a través de la siguiente ecuación:

$$Q(t) = \begin{cases} \frac{\text{ped_prev}(t) \cdot (t_e + p_r) - \text{inv_alm}(t) - q_{\text{orden}}(t)}{t_c} & \text{si } t_c \neq 0 \\ 0 & \text{si } t_c = 0 \end{cases}$$

2.3.8. Simulación del modelo en el software.

Con la herramienta SyntheSim del software Vensim, se ejecuta la simulación del comportamiento del modelo y las diferentes variables declaradas que lo componen, en las dos ventanas o capas, tanto de “demanda” que posee la variable de nivel denominada cantidad de pedido anual, como de “pedidos e inventario”. En la Figura N°10 se observa el comportamiento de las variables en el tiempo.

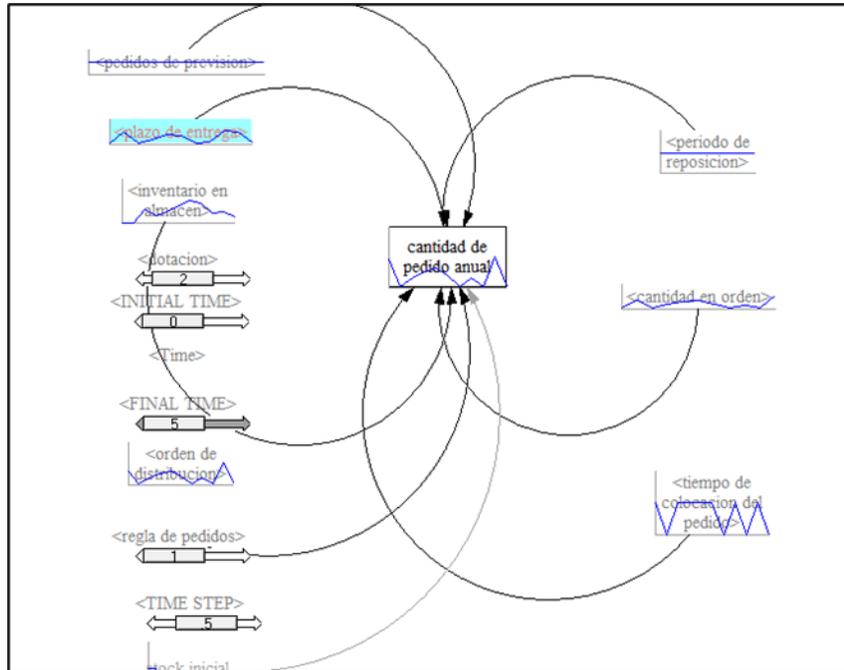


Figura N°10: “Simulación de la demanda de tenidas de combate”.
 Fuente: Elaboración propia en software Vensim (2021).

Dado que el interés es obtener la información de la proyección de la cantidad de pedido en el tiempo, en este caso, definido para cinco años es necesario aplicar la herramienta denominada “Table Time Down”, que se presenta a continuación en la Figura N°11.

Table Time Down		
Time (Year)	"cantidad de pedido anual"	cantidad de pedido anual
0		44074.9
0.5	Runs:	0
1	Current	15438.8
1.5		25409.8
2		31041
2.5		18078.1
3		0
3.5		14412.4
4		0
4.5		48767.3
5		0

Figura N°11, “Datos entregados por la simulación”.
 Fuente: Elaboración propia en software Vensim (2021).

Esta tabla señala la cantidad de tenidas que deben pedirse anualmente. Considerando que los pedidos son en los años N° 1, 2, 3, 4 y 5, las cantidades que deben anualmente se reflejan en la Tabla N°9:

Año	Cantidad de pedido (tenidas de combate)
-----	-----------------------------------------

2021	44.075
2022	15.439
2023	31.041
2024	0
2025	0
2026	0

Tabla N°9: “Demanda de tenidas de combate en los próximos cinco años”.
 Fuente: Elaboración propia (2021).

Asimismo, se obtiene el gráfico “Cantidad de pedido anual de tenidas de combate proyectada a 5 años” que se presenta en la Figura N°12 y que presenta la misma información anterior, a intervalos de medios años (0.5 años).

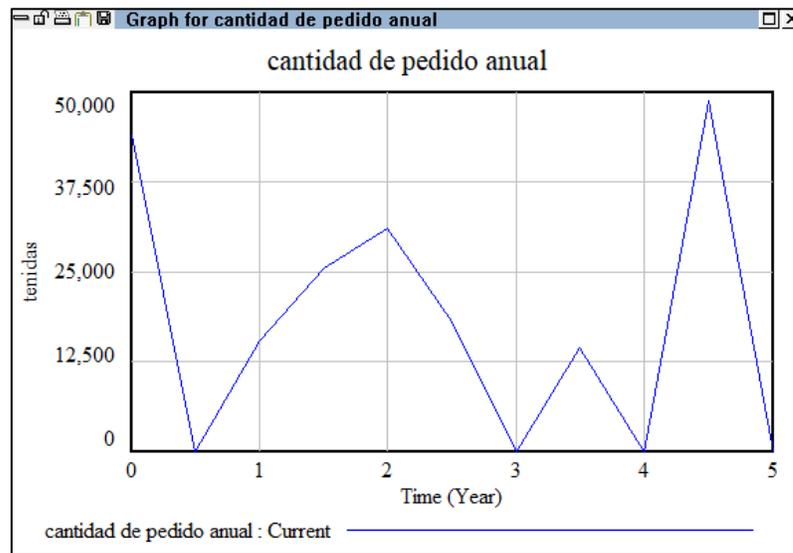


Figura N°12: “Cantidad de pedido anual de tenidas de combate proyectada a 5 años”.
 Fuente: Elaboración propia en software Vensim (2021).

2.3.9. Verificación y validación del modelo.

La verificación, definida como la comprobación de la correcta ejecución de un modelo según sus especificaciones (Guasch, Piera, Casanovas, & Figueras, 2003, pág. 18), será realizada para la ecuación de la demanda definida como la cantidad de pedido, de acuerdo con la simulación mediante el uso de parámetros estadísticos del promedio y desviación, a un tiempo inicial de cero y final de cinco, medido en años, como se presenta en la Tabla N°10.

Paso del tiempo	Resultado de ecuación		Resultado de simulación		Diferencia Q	Diferencia Q ponderador
	Q	Q ponderador	Q simulada	Q simulada ponderador		
0	44079,87	0	44079,90	0	0,0287671	0
0,5	0	174548,71	0	174549	0	0,289183562
1	15438,88	0	15438,80	0	0,0770608	0
1,5	25409,84	0	25409,80	0	0,0351555	0
2	31041,05	78922,09	31041	78922,2	0,0464119	0,107400774
2,5	18078,18	6562,58	18078,10	6562,6	0,0754913	0,017493063
3	0	0	0	0	0	0
3,5	14412,43	25420,35	14412,40	25420,3	0,0335153	0,046609825
4	0	123418,50	0	123419	0	0,500090627
4,5	48767,34	0	48767,30	0	0,0372903	0
5	0,00	0	0	0	0	0

Tabla N°10: "Verificación del modelo".

Fuente: Elaboración propia (2021).

Como se observa, no hay diferencias significativas estadísticamente entre la ecuación de la demanda definida y la simulación. Considerando este resultado, se procedió a la elaboración de una pauta para evaluar si el modelo cumple con esta y otras condiciones, tales como la inclusión de las variables significativas, lógica y adecuación a la realidad, y si representa de forma detallada la determinación de la demanda de tenidas de combate. Este instrumento fue aplicado al profesor guía, Sr. Mladen Nadinic Cruz, doctor en ciencias matemáticas, quien verifica que el modelo cumple con la totalidad de los requisitos establecidos.

Finalmente, se determinó el perfil del personal que integró el panel de expertos para la validación del modelo propuesto. Se elaboró y presentó a dicho panel el instrumento de evaluación, el que consideró cinco criterios junto a una escala de Likert (de 1 a 5). Una vez aplicado este instrumento, se realizó el análisis de las respuestas, siendo validado el modelo con un promedio de 5, mediante lo que se puede concluir que se dio cumplimiento al objetivo general de esta memoria y solución al problema planteado inicialmente.

3. CONCLUSIONES

Inicialmente, la descripción de la normativa y la recopilación de antecedentes para la determinación de la demanda de tenidas de combate para la DIVLOG permitió conocer la metodología empleada por esa Unidad, el grado de cumplimiento de los procedimientos establecidos y, a través del análisis de la literatura existente, se comprendieron las variables que son de utilidad para la confección del modelo de determinación de la demanda de tenidas de combate.

Luego, la selección de las variables del modelo se efectuó tras el análisis de las características y establecimiento de las relaciones entre estas, que se visualizan en el proceso

elaborado durante la investigación, como por medio de entrevistas a los principales involucrados de dicho proceso para la detección de falencias y restricciones. Este procedimiento de selección que utiliza el método MICMAC, fue validado mediante un panel de expertos.

En la fase previa para el diseño de un modelo para la determinación de la demanda de la tenida de combate para la DIVLOG se recopilaron los datos históricos de las variables del modelo, para luego seleccionar la metodología de modelación a través de la determinación y comparación de criterios por parte de especialistas.

A través de la metodología seleccionada de dinámica de sistemas se establecieron relaciones causales entre los diferentes componentes del modelo, y tras la determinación de un panel de expertos, se establece que el software Vensim es el que cumple mayormente con los criterios asociados a la metodología. En este se realizó la modelación, a través del ingreso de las variables, unidades de medida, ecuaciones relacionadas, para luego relacionarlas en un sistema dinámico configurado en dos ventanas o capas, denominadas “pedidos e inventarios” y “demanda”.

En el diagrama pedidos e inventarios, fueron ingresadas todas las variables y relaciones que determinan la demanda y que confluyen en esta, generando una ecuación matemática compuesta de integrales. Posteriormente, tras la simulación, se determina a través de la verificación que el modelo es confiable, no existiendo una diferencia estadísticamente significativa y se comprueba una correcta ejecución de las especificaciones de las variables y de los datos ingresados.

Con el resultado de la información recabada, el análisis realizado y el empleo del software mencionado, se diseñó un modelo para la para la determinación de la demanda de tenidas de combate en la DIVLOG del Ejército de Chile, el cual sirve como una herramienta de gestión para la toma de decisiones de la unidad patrocinante.

Finalmente, se recomienda que esta investigación se emplee como base para el desarrollo de futuras investigaciones, dado que a pesar de que se individualice su empleo específico para tenidas de combate, se puede emplear para la determinación de la demanda en distintos rubros que presenten condiciones similares a las que presenta el vestuario en general.

BIBLIOGRAFÍA

- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la Cadena de Suministro*. México: Pearson.
- Consejo de Auditoría Interna General de Gobierno. (2016). *Documento Técnico N° 89. Propuestas metodológicas para el levantamiento y modelamiento de procesos*. Santiago: CAIGG Área de Estudios.
- De Leo, E., Aranda, D., & Addati, G. A. (2020). *Introducción a la dinámica de sistemas*. Buenos Aires, Argentina: Universidad del CEMA.
- Dirección de Logística. (2010). *Políticas Logísticas del Ejército*. Santiago, Chile: Dirección de Logística.
- Dirección de Logística. (2014). *Dotación de vestuario y equipo y factores de reposición. Actualiza Anexo N° 2 de "Políticas Logísticas"*. Santiago, Chile: Dirección de Logística.
- Dirección de Logística. (2016). *Reglamento de Vestuario y Equipo del Ejército*. Santiago, Chile: División Doctrina.
- División Logística. (2017). *Cartilla N° 02003. Levantamiento de la demanda de distribución de vestuario y equipo*. Santiago, Chile: División Doctrina.
- Educación, D. (2011). *Guía para la redacción de citas bibliográficas*. Santiago: División Educación.
- Ferrín Gutiérrez, A. (2007). *Gestión de stocks en la logística de almacenes*. Madrid: FC Editorial.
- García Sabater, J. (7 de marzo de 2014). *Tipos de demanda y su influencia en la gestión de stocks*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Godet, M. (2007). *Prospectiva estratégica: problemas y métodos*. Paris, Francia: Prospektiker.
- Guasch, A., Piera, M. Á., Casanovas, J., & Figueras, J. (2003). *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Barcelona: UPC de la Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ortiz Moctezuma, M. (2015). *Sistemas dinámicos en tiempo continuo. Modelado y simulación*. México: Omniascience.
- Pérez Uribe, R., & Alfonso Vargas, H. (2015). *El uso del método MICMAC, para la definición de procesos de intervención en las organizaciones*. Bogotá, Colombia: Universidad EAN.
- Real Academia Española. (2020). *Diccionario de la lengua española*. Obtenido de www.rae.es
- Sterman, J. (2002). *System dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Cambridge, Estados Unidos: Massachusetts Institute of Technology Engineering Systems Division.