



# POSGRADOS

## MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

RPC-SO-37-No.696-2017

OPCIÓN DE  
TITULACIÓN:

PROPUESTAS METODOLÓGICAS Y  
TECNOLÓGICAS AVANZADAS

TEMA:

GESTIÓN DE PUNTOS DE REPOSICIÓN  
MEDIANTE SIMULACIÓN MONTECARLO

AUTOR:

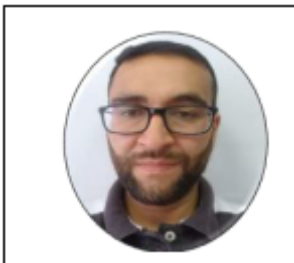
RAÚL ANDRÉS CASTILLO NÚÑEZ

DIRECTOR:

ADRIÁN EUGENIO ÑAUTA ÑAUTA

CUENCA - ECUADOR  
2021

***Autor:***



***Raúl Andrés Castillo Núñez***

Ingeniero Industrial

Candidato a Magíster en Administración de Empresas, Mención en Gestión Financiera por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

rcastillon1@est.ups.edu.ec

***Dirigido por:***



***Adrián Eugenio Ñauta Ñauta***

Ingeniero Industrial

Magister en Gestión Tecnológica

Magister en Métodos Matemáticos y Simulación Numérica en Ingeniería

Magister en Seguridad e Higiene Industrial

anauta@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

©2021 Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

CASTILLO NÚÑEZ RAÚL ANDRÉS

***GESTIÓN DE PUNTOS DE REPOSICIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN MONTECARLO***

## DEDICATORIA

En el mismo orden que Dios permitió que aparecieran en mi vida, este trabajo es:

Para mis tan amados y admirados padres, cuyo legado recorre y recorrerá mis venas, valores y pensamientos. Siempre la lumbrera de mi vida haciendo tan grato el saber de dónde vengo.

Para mi hermosa esposa quien me ha acompañado en cada escalón para lograr este objetivo de entre otros tantos, en cada paso ha logrado transformarme en una mejor persona. Particularmente este trabajo y el esfuerzo en culminarlo es para ella.

Para mis mágicas princesas Amalia y Ananda, cuyo tiempo sacrifique para cumplir esta meta. Les debo mucho, pero siempre han sido y serán mi motor para mejorar y fuente de resiliencia.



*“Como en el arte del bonsái, las grandes obras requieren tiempo, dedicación y paciencia. El problema de aquello es que el tiempo es limitado.”*

## **AGRADECIMIENTOS**

Te agradezco Dios Padre mío, por los milagros que me permitiste observar durante todo este periodo de estudios y en toda la pandemia. Solo tú conoces lo que emocionalmente me implicó culminar esta etapa académica y no me dejaste desfallecer. Todo esto será una semilla para cosechar bendiciones futuras en tu nombre. Gracias, por tanto.

Doy gracias especiales a mi director de Tesis Adrián Eugenio Ñauta Ñauta, por su tiempo, asesoría y paciencia. Hace 15 años no me hubiera imaginado que de amigo pasaría a ser mentor. Que Dios te bendiga siempre y a tu familia¡¡

## INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTOS .....	IV
INDICE DE CONTENIDOS .....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	XI
PRÓLOGO.....	XII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Situación Problemática.....	1
1.2. Formulación del Problema .....	3
1.3. Justificación teórica.....	5
1.4. Justificación práctica .....	6
1.5. Objetivos .....	6
1.5.1. Objetivo general .....	6
1.5.2. Objetivos Específicos .....	7
1.6. Principales resultados .....	7
2. MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. Marco conceptual .....	8
2.1.1. Gestión de inventarios.....	8

2.1.2.	Incertidumbre y simulación.....	10
2.1.3.	El ámbito de aplicación.....	12
2.2.	Bases teóricas. Discusión de enfoques de diferentes autores.....	13
2.3.	Análisis crítico de las metodologías existentes relacionadas al problema.....	14
3.	METODOLOGÍA.....	16
3.1.	Unidad de análisis.....	16
3.2.	Población.....	16
3.3.	Tamaño de muestra.....	18
3.4.	Selección de la muestra.....	18
3.5.	Métodos a emplear. ¿Cuál y para qué?.....	19
3.5.1.	Modelación y entendimiento de un proceso general de inventarios.....	19
3.5.2.	Clasificación ABC.....	23
3.5.3.	Clasificación XYZ.....	24
3.5.4.	Análisis ABC y XYZ.....	25
3.5.5.	Análisis de movilidad y XYZ.....	26
3.5.6.	Análisis de la demanda de los artículos de inventario.....	26
3.5.7.	Cálculo del punto de reposición.....	30
3.5.8.	Configuración de la herramienta de simulación.....	33
3.6.	Identificación de las necesidades de información.....	37
3.7.	Técnicas de recolección de datos ¿Cuáles y para qué?.....	37
3.8.	Herramientas utilizadas para el análisis e interpretación de la información.....	38
3.8.1.	Para establecer la metodología.....	38
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40

4.1.	Análisis, interpretación y discusión de resultados .....	40
4.1.1.	Evaluación de los resultados de la simulación .....	40
4.2.	Propuesta Metodológica o Tecnológica .....	44
4.2.1.	Premisas o supuestos .....	44
4.2.2.	Objetivo de la propuesta metodológica .....	45
4.2.3.	Objeto de la propuesta .....	45
4.3.	Responsables de la implementación y control .....	45
4.4.	Fases para su puesta en práctica .....	47
4.4.1.	Implementación en fase de prueba .....	47
4.4.2.	Implementación optimizada .....	48
4.5.	Indicadores de evaluación .....	49
4.5.1.	Cuantitativos .....	49
4.5.2.	Cualitativos .....	50
5.	CONCLUSIONES .....	51
6.	RECOMENDACIONES .....	53
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
8.	ANEXOS .....	59

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principio de la bañera aplicado a la dinámica de inventarios.....	3
Figura 2. Árbol de problema.....	4
Figura 3. Flujo de información y bienes en la Unidad de Negocio .....	14
Figura 4. Distribución de artículos de inventario según su movilidad .....	17
Figura 5. Opción de MS Excel aplicada para el análisis de datos .....	19
Figura 6. Modelación de inventario con demanda y aprovisionamiento no instantáneo.....	20
Figura 7. Sistema de inventario con aprovisionamiento no instantáneo.....	21
Figura 8. Diagrama de “dientes de sierra” .....	22
Figura 9. Principales variables en un sistema de inventarios.....	22
Figura 10. Análisis ABC de la estructura del inventario .....	23
Figura 11. Análisis XYZ de la estructura del inventario .....	24
Figura 12. Artículos de alta movilidad que conforman el inventario .....	26
Figura 13. Prueba de ajuste de datos de demanda .....	30
Figura 14. Distribución exponencial normalizada acumulada con $\gamma=1$ .....	33
Figura 15. Pantalla para ingreso de transacciones .....	34
Figura 16. Pantalla para ingreso de saldos de los artículos.....	34
Figura 17. Pantalla para ingreso de artículos y de resultados .....	35
Figura 18. Imagen de tabulación de datos por parte de la herramienta de simulación .....	35
Figura 19. Construcción de distribución empírica de probabilidad.....	36
Figura 20. Comparación entre el promedio de las simulaciones generadas .....	41



Figura 21. Error porcentual entre las estimaciones de PPC y PHS .....	41
Figura 22. Distribución de probabilidades de los errores obtenidos.....	42
Figura 23. Evolución del tiempo de simulación en función del número de iteraciones .....	44
Figura 24. Esquema de estructura administrativa de la Unidad de Negocio Hidropaute .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Segregación de artículos para determinar la población de análisis .....	17
Tabla 2. Análisis ABC -XYZ.....	25
Tabla 3. Artículos de inventario de la muestra con demanda normal.....	28
Tabla 4. Distribución de artículos cuya demanda no es normal .....	29
Tabla 5. Resultados de prueba de normalidad en SPSS para E .....	43

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Tamaño de muestra población finita (1) .....	18
Punto de reposición (2).....	30
Tiempo de reposición distribución triangular (3).....	31
Desviación estandar del tiempo de reposición en distribución triangular (4) .....	31
Stock seguridad. Demanda y tiempo de reposición variable (5) .....	31
Función de probabilidad para una distribución exponencial (6).....	32
Función de probabilidad acumulada para una distribución exponencial (7) .....	32
Stock seguridad. Demanda y tiempo de reposición variable dist. exponencial (8).....	32
Indicador Disponibilidad Inventario (9).....	49
Indicador Tiempo de Simulación (10).....	49

## **PRÓLOGO**

Los inventarios afectan directamente el estado de resultados de una empresa, así como su gestión interna. Existen diferentes variables a considerar en la gestión de inventarios asociadas a establecer el ¿cuánto pedir? y el ¿cuándo pedir?, preguntas claves a resolver para el éxito en la administración técnica del inventario.

El presente trabajo analiza el ¿cuándo pedir? establecido por el punto de reposición de los diferentes artículos de inventario, el mismo que se determina principalmente por el comportamiento de la demanda de los artículos y su correspondiente tiempo de reposición.

La demanda y el tiempo de reposición son variables que difieren entre los miles de artículos de inventario que puede llegar a poseer una empresa. Además de tener comportamientos estadísticos independientes.

Por la cantidad de datos asociados a la demanda de los artículos de inventario y el tiempo que implica su análisis particular para cada uno de los diferentes artículos de inventario, para su gestión se propone la utilización de métodos y tecnologías que permitan realizar una estimación mediante la simulación Montecarlo de forma simultánea para varios artículos, en una herramienta de simulación desarrollada en MS Excel.

Para validar los resultados se emplean datos disponibles de la Unidad de Negocio Hidropaute y se propone su utilización en esta empresa, esto nos permite que los resultados de las simulaciones se evalúan frente a los datos obtenidos por otras herramientas de simulación Montecarlo de utilización comercial.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Situación Problemática

En un mundo cada vez más competitivo, las decisiones empresariales se deben fundamentar en información soportada en datos, minimizando costos operativos y maximizando la utilidad.

En la actualidad no todas las empresas cuentan con datos que puedan ser utilizados para la toma de decisiones y aquellas que, si los poseen, pueden desconocer cómo interpretarlos o emplearlos.

Por otro lado, las decisiones empresariales pueden estar sujetas a distintos niveles de incertidumbre, siendo en estos casos el uso de datos un elemento esencial para disminuir el riesgo al tomar decisiones que puedan llevar a resultados no deseados por parte de directivos o analistas en las empresas.

Varias decisiones empresariales están asociadas a la gestión de sus inventarios o existencias, sean estos clasificados como materia prima, inventario en proceso, producto terminado o repuestos para actividades de mantenimiento (Muller, 2019).

Por ser un componente importante en el desarrollo de la actividad empresarial y un elemento fundamental en la determinación de los beneficios económicos, señala los inventarios representan un activo de gran importancia en la gestión empresarial (Bernstein, 1995).

Decisiones inadecuadas en la gestión de inventarios, afectan directamente los estados financieros de las empresas por las siguientes condiciones: el exceso incrementa principalmente los costos por almacenamiento, obsolescencia y una pérdida de liquidez por los valores económicos invertidos y almacenados en calidad de inventario. Por otro, lado la escasez del inventario disminuye la disponibilidad de materiales requeridos para la venta, producción o actividades de mantenimiento como indica (Slater, 2010) y (Hu, Boylan y Huijin, 2017).

Por otro lado las decisiones asociadas a la gestión de inventarios deben considerar el comportamiento de su demanda, tiempos de reposición, costos, vida útil, entre otras (Hillier y Lieberman, 2010),

Los inventarios son dinámicos, disminuyen en la medida de los egresos y aumentan en función de los ingresos, sin embargo, una variable importante para asegurar un nivel adecuado del inventario es responder la pregunta de ¿cuándo pedir? o punto de reposición (Slater, 2010). Este es el valor que ha sido definido para una cantidad de inventario de un determinado artículo, el cual una vez se ha alcanzado o superado indica que debe emitirse una orden de reaprovisionamiento. La incorrecta determinación del punto de reposición puede generar que los artículos no lleguen oportunamente provocando escasez y sus consiguientes efectos en la producción o comercialización, o por otro lado un aprovisionamiento excesivo de material (Fedkovych y Kotsjubynskyi, 2015).

El punto de reposición resulta una función que depende principalmente de variables como demanda del artículo y el tiempo de aprovisionamiento que toma adquirirlo, así como la dispersión expresada en términos de la desviación estándar de las variables antes indicadas. Existen modelos matemáticos establecidos para determinar el punto de reposición, sin embargo, parten de la premisa de que la demanda y el tiempo de aprovisionamiento son constantes (escenario determinístico) o se ajustan a una distribución normal, sin embargo, se ha identificado que estas variables no tienen estos comportamientos en todos los artículos disponibles en una empresa siendo difícil su modelación en la práctica (Mathur y Solow, 2016).

Cuando las variables indicadas tienen un comportamiento uniforme o determinístico resulta más simple estimar los puntos de reposición, sin embargo, cuando estas variables toman valores estocásticos, las decisiones asociadas a su gestión se tornan complejas y para lo cual se puede optar por la simulación Montecarlo, como una metodología para establecer herramientas para su gestión (Faulín y Juan, s/f) y (Cruz, 2017).

La mayor parte de variables investigadas en las ciencias del comportamiento no se distribuyen normalmente y que cuando estos supuestos no se cumplen, los métodos que se basan en estos ofrecen resultados menos fiables (Doménech, 1994).

Las empresas usualmente manejan varios ítems de inventario llegando incluso a miles, por lo que es necesario sistematizar en herramientas de software los algoritmos que permitan analizar de forma rápida y confiable los grandes volúmenes de información asociada a los inventarios.

Por otro lado, y con la finalidad de contar con datos reales que permitan parametrizar las simulaciones se han empleado datos de la Unidad de Negocio Hidropaute de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, la cual fue responsable por aproximadamente el 40% de la generación eléctrica en el Ecuador, con sus centrales de generación Paute Mazar, Paute Molino y Paute Sopladora.

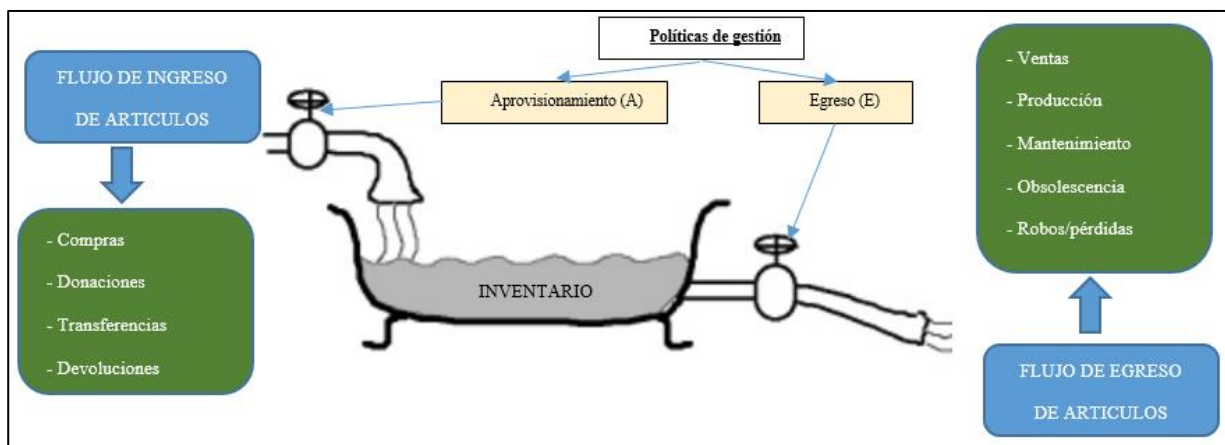
Con la finalidad de asegurar los niveles de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de las unidades de generación, deben ejecutarse estrictos planes de mantenimiento sobre las mismas, para lo cual se requieren cientos de diferentes artículos de inventario, los cuales deben encontrarse oportunamente en los almacenes para cuando son requeridos. Además, de artículos para mantenimiento, también se requieren para la normal ejecución de las actividades administrativas insumos de oficina, medicinas y combustibles.

La institución gestiona entre sus cinco almacenes, más de 10.000 diferentes tipos de artículos de inventario, cuyo valor supera los 30.000.000 de dólares. Adicionalmente, se efectúan en promedio más de 28.000 egresos de inventario al año, por lo cual se requiere establecer instrumentos que permitan analizar grandes volúmenes de información de manera ágil.

## 1.2. Formulación del Problema

Para modelar la dinámica de un sistema de inventarios, este puede modelarse como el “principio de la bañera” conforme la Figura 1 (Slater, 2010).

Figura 1. Principio de la bañera aplicado a la dinámica de inventarios

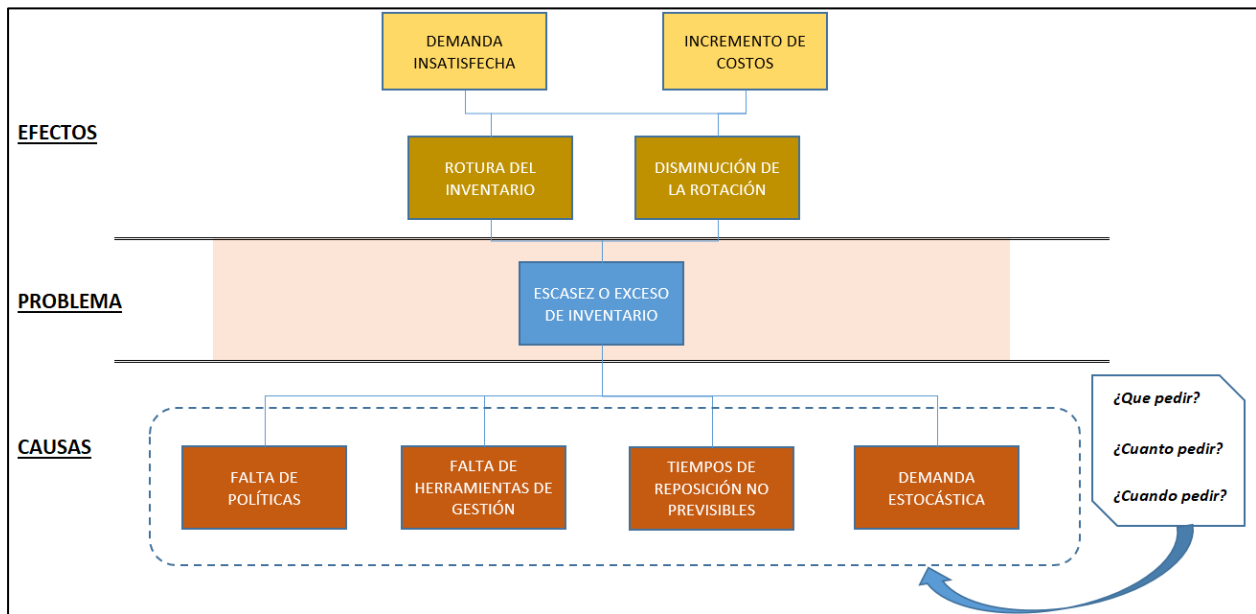


Nota: Elaboración propia del autor

Según el esquema previo, el inventario (I) se genera como el remanente o la diferencia entre la cantidad de artículos obtenidos por una empresa (A) y aquellos que son entregados por distintos motivos por parte de esta (E). El nivel del inventario puede ser ajustado por modificación en los flujos de aprovisionamiento y de egresos.

Podemos considerar según el contexto indicado, que para un periodo de tiempo t, si  $A=B$  entonces I sería constante. Si  $A>E$  entonces I tendría un comportamiento creciente, en el caso contrario I sería decreciente. Un nivel inadecuado de inventario resulta en un problema que puede originar un exceso o escases de artículos con las consiguientes causas y efectos indicados en la Figura 2.

Figura 2. Árbol de problema



Nota: Elaboración propia del autor

Las causas indicadas en la Figura 2 se enmarcan en la posibilidad de contar con la información de que artículos pedir, cuanto adquirir y cuando solicitar su aprovisionamiento, de tal manera que el nivel del inventario oscile en niveles que satisfagan la demanda de artículos al mínimo costo de gestión.

La presente propuesta pretende solventar desde la parte estadística y de manejo de datos el problema asociado a la escasez o exceso de inventario con un enfoque en los artículos de alta movilidad, mediante la determinación del punto de reposición de los artículos de inventario. Como



se ha indicado previamente, este es el parámetro que define el “cuando pedir” y que resulta como uno de los elementos clave del éxito en la gestión de inventarios (Mora, 2014).

Se propone en base a los tópicos señalados que la propuesta permitirá solventar las siguientes interrogantes:

¿Es posible establecer las variables que permitan el análisis del inventario de la Unidad de Negocio Hidropaute?

¿Es posible generar una metodología para estimar los puntos de reposición de artículos de inventario en base a la simulación Montecarlo?

¿Puede la metodología ser sistematizada y generar alertas o reportes automáticos de los artículos cuyos niveles han alcanzado los puntos de reposición?

### **1.3. Justificación teórica**

Los inventarios tienen asociados costos como los de su adquisición, de ordenar, de mantener y por faltante o pérdida de venta, de igual forma en el estado de resultados su impacto es considerable en empresas comercializadoras de bienes o poseedoras de activos que requieren intervenciones regulares de mantenimiento (Peña y Silva, 2016). Por tal razón su gestión debe permitir minimizar los costos asociados a su gestión, asegurando la disponibilidad de los artículos para satisfacer su demanda (Mora, 2014).

La determinación del punto de reposición de un artículo permite gestionar su compra de manera oportuna (Sevgen y Sargut, 2019), en búsqueda de que se minimice la posibilidad de un desabastecimiento o acumulación de artículos de inventario, que de una u otra forma afectan los costos señalados en el párrafo previo.

De las ecuaciones indicadas en secciones posteriores se deduce que el punto de reposición es función principalmente de la demanda y del tiempo de reposición de cada uno de los diferentes artículos de inventario. Variables con comportamientos no determinísticos que se deben calcular mediante procesos de simulación (Faulín y Juan, s/f).

## **1.4. Justificación práctica**

En la práctica se justifica la aplicación de la metodología propuesta considerando que permite obtener de forma casi automática los puntos de reposición de los diferentes artículos de inventario considerando el comportamiento estadístico de su demanda, así como la incertidumbre en el comportamiento del tiempo de reposición de los posibles proveedores. Resulta importante mencionar en referencia a que los sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) avanzados cuentan con módulos para gestión de inventarios, sin embargo, variables como puntos de reposición entre otras se definen empíricamente la mayoría de las veces (Romero y Escalona, 2010), como fue el caso de la Unidad de Negocio Hidropaute.

La metodología y la herramienta empleada para su análisis puede ser optimizada para operar de manera totalmente automática, permitiéndole al personal que toma decisiones referentes al inventario identificar los artículos cuya cantidad ha llegado a un nivel que requiere aprovisionamiento.

Contar con una metodología como la propuesta se justifica principalmente por:

- Las decisiones referentes a los procesos de inventario están dimensionadas en base a métodos cuantitativos.
- La gran cantidad de artículos de inventario y transacciones requieren que los procesos sean sistematizados y automatizados en la mayor parte posible, considerando los recursos limitados de personal y en búsqueda de eficiencia institucional.
- La propuesta considera que las transacciones generadas periódicamente y almacenadas en el sistema retroalimentan los modelos sistematizados para actualizar los cálculos en los que se basa la obtención de los puntos de reposición.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo general***

Establecer una metodología para el control de puntos de reposición correspondientes a artículos de inventario de alta movilidad.

### **1.5.2. *Objetivos Específicos***

- Analizar la composición del inventario de la Unidad de Negocio Hidropaute en términos económicos y de rotación.
- Aplicar la simulación Montecarlo con datos históricos asociados a la demanda de artículos de inventario y tiempos de reposición para generar estimaciones.
- Establecer una metodología para determinar puntos de reposición de artículos de inventario de alta movilidad.

### **1.6. Principales resultados**

- Identificar los artículos de inventario de alta movilidad que componen las existencias de la Unidad de Negocio Hidropaute.
- Conocer la distribución estadística que siguen los datos de demanda de los artículos de alta movilidad.
- Proponer una metodología para la utilización de datos en la determinación del punto de reposición de artículos de inventario.
- Configuración de una herramienta en MS Excel basada en la simulación Montecarlo para la determinación de puntos de reposición.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco conceptual

#### 2.1.1. *Gestión de inventarios.*

Una empresa es considerada como la unidad de organización dedicada a actividades industriales, mercantiles o de prestación de servicios (Española, 2019). Estas actividades pueden requerir en mayor o menor medida de inventarios, que son identificados como el conjunto de mercancías o artículos que tiene la empresa para su continuo y regular desenvolvimiento (Durán, 2012).

La adquisición y preservación de bienes para consumo o transformación es un problema que ha estado presente siempre en torno a la civilización. Es la incertidumbre sobre el futuro la que no le permite al hombre establecer inequívocamente las cantidades de artículos de inventario que debe adquirir y almacenar (Ponsot, 2008).

En torno al manejo del inventario existen entre otras decisiones, aquellas vinculadas a la demanda de inventarios, determinación de plazos de reabastecimiento y sus costos (Parada, 2009).

La clasificación ABC es un método de estratificación de los artículos de inventario en categorías, en función de su valor contable o de adquisición (Moyano y Bruque, 2001). Esta clasificación es uno de los métodos mayormente utilizados para clasificar artículos y permite identificar los artículos de mayor valor que posee la empresa, para establecer políticas de gestión específicas a cada categoría (Peña y Silva, 2016).

De manera análoga a la clasificación ABC, la clasificación XYZ organiza a los artículos de inventario por el tipo y complejidad de su demanda (Chackelson y Errasti, 2010), donde los artículos tipo “X” tienen una demanda regular, los artículos tipo “Y” presentan cierta estacionalidad, mientras que los tipos “Z” presentan consumos intermitentes. Esta consideración es similar a las categorías antes indicadas como “PUSH”, “PULL” y “FROZEN” (Mora, 2014).

Para la estimación de la demanda y otras variables, el criterio más común es la experiencia, combinada ocasionalmente con el uso de pronósticos estadísticos tipo cualitativo y de análisis de series temporales. Por otro lado, las empresas que han implementado software para la gestión de

sus inventarios desconocen los métodos estadísticos que prueba internamente el software para realizar sus estimaciones (Gutierrez y Rodriguez, 2008).

El concepto de movilidad como criterio permite evaluar el dinamismo de la demanda, es decir si un artículo de inventario es consumido en un determinado periodo de tiempo (Mora, 2014).

Para que la cadena de suministros opere correctamente, la demanda debe pronosticarse de tal manera que permita planear el sistema productivo, de abastecimientos y despachos (Castro, 2003).

Los artículos de inventario con demanda de lento movimiento son identificados como aquellos cuya demanda ha sido nula durante largos periodos de tiempo (Charles, 2002). Este concepto se asocia al identificado anteriormente como baja movilidad. Para los artículos identificados como de baja movilidad, el criterio para su reabastecimiento no se basa principalmente en datos estadísticos asociados a su demanda o tiempo de reposición, sino al establecimiento de políticas de control que consideren su costo de escases o de carencia, respecto su costo de almacenamiento (Mora, 2014).

Un problema adicional de los artículos de baja movilidad es que, en caso de exceso de existencias, este no se remedia fácilmente por no existir demanda, lo cual incrementa los costos de almacenamiento y la probabilidad de obsolescencia (Charles, 2002).

Para el caso de instituciones públicas o aquellas en la que el accionista mayoritario sea el estado ecuatoriano, la legislación exige que la adquisición de bienes obedezca a una planificación, como enuncia el artículo 3.21 del Reglamento de Administración y Control de Bienes del Sector Público. Adicionalmente el numeral 406-02 de las Normas de Control Interno de la Contraloría General del Estado Ecuatoriano, obliga a que las instituciones cuenten con un plan anual de contrataciones donde consten las obras, bienes, servicios y consultorías requeridas. En lo que respecta a bienes se señala que las cantidades de compra deben ser apropiadas. Estas referencias legislativas resaltan la importancia de que las decisiones asociadas al inventario sean tomadas en base a criterios objetivos, que permitan a los funcionarios sustentar técnicamente los resultados obtenidos en su gestión administrativa.

### **2.1.2. Incertidumbre y simulación**

El ser humano se preocupa por conocer su futuro siendo para él un principio de supervivencia. Las personas y organizaciones toman decisiones de forma rutinaria, cuyos resultados se manifiestan a lo largo del tiempo, con lo cual la información del futuro en el presente a la hora de decidir resulta significativa para reducir los niveles de incertidumbre (Mora, 2007).

La incertidumbre refleja duda respecto a la veracidad de un resultado obtenido una vez que se han evaluado las fuentes de error (Maroto, Riu, y Ruiz, s/f).

Los datos estadísticos son los que proporcionan información vital a los administradores a la hora de tomar decisiones en tiempo de incertidumbre (Ruiz, 2004).

Existen niveles significantes de incertidumbre en empresas con condiciones complejas de mantenimiento como, por ejemplo, entidades de generación eléctrica (Michelle, 2011).

La simulación es uno de los métodos cuantitativos ampliamente utilizados para tomar decisiones, con el cual se puede aprender de un sistema real en base a un modelo que es representado por el sistema (Anderson, Sweeney, Williams, Camm, y Martin, 2011).

La simulación es una técnica flexible, poderosa e intuitiva de la investigación de operaciones. Esta técnica involucra el uso de una computadora para imitar o simular la operación de un proceso o sistema (Hillier y Lieberman, 2010).

Los modelos de simulación son identificados como una técnica de pronóstico y de uso común. Estos modelos permiten al encargado del pronóstico manejar varias suposiciones acerca de la condición de los escenarios analizados (Chase, Jacobs, y Aquilano, 2009).

La simulación puede utilizarse para estudiar sistemas de control de inventarios, por ejemplo, modelando la demanda como una variable aleatoria (Moore y Weatherford, s/f).

La simulación resulta un método adecuado para modelar sistemas de inventarios y la identifican junto con otros métodos híbridos como el que mejor resultados genera en términos de minimizar el costo de un modelo de inventarios (Izar y Mendez, 2013).

### ***2.1.2.1. Simulación Montecarlo.***

El método Montecarlo es una aplicación numérica o de pruebas estadísticas que permite simular cualquier proceso y resolver problemas matemáticos sin altos niveles de exactitud mediante la simulación de variables aleatorias. El mismo autor indica como fecha de nacimiento del método al año 1949 cuya creación se liga a los autores J. von Neumann y S. Ulam; su nombre se debe al de una población del principado de Mónaco, célebre por su casa de apuestas, pues resulta que uno de los aparatos más simples para obtener resultados de variables aleatorias es la ruleta (Sobol, 1983).

Un paso elemental para generar un proceso de simulación Montecarlo es establecer la distribución de probabilidades acumuladas de las variables (Montenegro, 2011), sin embargo, en la literatura revisada no se señala la cantidad de clases o rangos con el cual debe construirse el histograma de frecuencias para la distribución de probabilidades. Para este fin se propone evaluar la heurística de Stuges (Cujia, Guzmán, y Guillen, s/f).

La simulación Montecarlo se ha venido aplicando en infinidad de aplicaciones como alternativa a los métodos matemáticos exactos en áreas como informática, empresarial, económica, industrial e incluso social (Faulín y Angel, s/f). Para simular valores de demanda y cantidad a pedir de inventarios se utiliza la simulación Montecarlo (Sanchez, 2017).

La distribución estadística de datos empleada en las simulaciones se contrastó mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov (K-S) al ser mas de 50 datos con un nivel de significancia del 5% (Romero, 2016).

Para el caso de estudio, a la fecha no se cuentan con datos relacionados al tiempo de reposición promedio de los artículos, en este sentido para fines de ejecutar la simulación esta variable se modeló como una distribución triangular, considerando que es una herramienta útil en marcos de incertidumbre y poca información para tomar mejores decisiones (Mallo, Artola, García, Martínez y Galante , s/f).

### ***2.1.3. El ámbito de aplicación***

Por otro lado, y con la finalidad de contar con datos reales que permitan parametrizar las simulaciones se han empleado datos de la Unidad de Negocio Hidropaute de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP (UNHP), la cual fue responsable por aproximadamente el 40% de la generación eléctrica en el Ecuador, con sus centrales de generación Paute Mazar, Paute Molino y Paute Sopladora.

La Unidad de Negocio Hidropaute funciono como tal hasta el 31 de marzo de 2020, posterior a lo cual se fusiono con la Unidad de Negocio Enerjubones. Entre ambas entidades conformaron la Unidad de Negocio CELEC SUR mediante un modelo de absorción, en el cual Hidropaute absorbe a Enerjubones.

Con la finalidad de asegurar los niveles de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de las unidades de generación, deben ejecutarse estrictos planes de mantenimiento sobre las mismas, para lo cual se requieren cientos de diferentes artículos de inventario, los cuales deben encontrarse oportunamente en los almacenes para cuando son requeridos. Además, de artículos para mantenimiento, también se requieren para la normal ejecución de las actividades administrativas insumos de oficina, medicinas y combustibles.

La institución gestionó entre sus cinco almacenes, donde se almacenan más de 10.000 diferentes tipos de artículos de inventario un valor que supera los 30.000.000 de dólares. Adicionalmente, se efectúan en promedio más de 28.000 egresos de inventario al año, por lo cual se requiere establecer instrumentos que permitan analizar grandes volúmenes de información y manera ágil.

El flujo de información y bienes en los procesos de aprovisionamiento y egreso de artículos de inventario se esquematiza en la Figura 3.

El proceso de adquisiciones se enmarca en la amplia legislación vigente de contratación pública del Ecuador, sin embargo, proceso de adquisición sigue el siguiente esquema:

#### **Área Requirente**

Son los departamentos que dan uso a los diferentes artículos de inventario. Responsables por ejecutar los procesos de aprovisionamiento.



### **Inventarios**

Departamento encargado de la custodia de los artículos de inventario y evaluar sus condiciones de uso y rotación. Entregan los artículos de inventario a los requirentes y registran los egresos que para fines estadísticos son los datos de demanda.

### **Adquisiciones**

Departamento que resulta de interfaz entre el área requirente y los proveedores para generar en el marco de las compras públicas los compromisos de adquisiciones.

### **Proveedor**

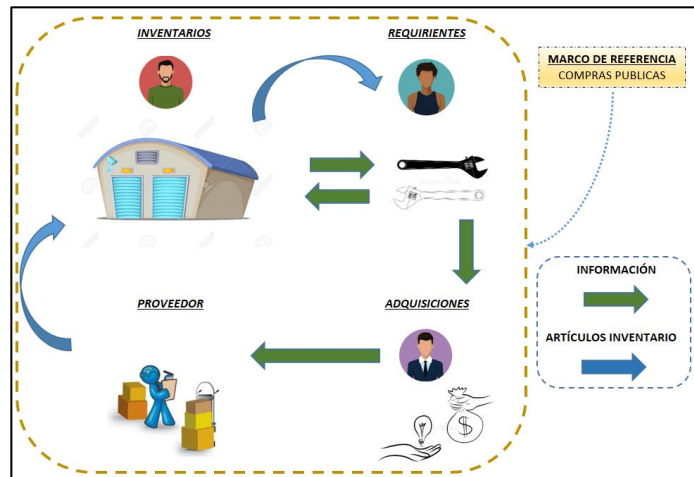
Ente que efectúa el suministro de los artículos de inventario conforme los compromisos establecidos.

## **2.2. Bases teóricas. Discusión de enfoques de diferentes autores.**

Se han analizado trabajos previos como los de (Arzac, Nora, y Santori, s/f), (Ramirez y Ramirez, 2010) y (Montenegro, 2011), en donde se han propuesto herramientas en MS Excel para simular sistemas de inventario, sin embargo, estos requieren para su simulación parámetros definidos por el usuario, además de no tener un nivel de automatismo para generar un análisis para varios artículos de inventario lo que limita su utilización al requerir la interacción de personal. Adicionalmente no se establecen criterios técnicos para definir, que artículos presentan las condiciones para ser simulados, el número de clases para generar la distribución de frecuencias básicas para la simulación Montecarlo, ni el número adecuado de iteraciones que deben ser aplicadas. Por otro lado, en todos los casos se asumen comportamientos estadísticamente normales de la demanda de los artículos.

Existen varios métodos de aproximación para determinar el punto de reposición de un artículo, sin embargo, son las aproximaciones obtenidas por procesos de simulación las que mejor desempeño tienen (Izar y Mendez, 2013). En este sentido la simulación y su coyuntura con el uso de computadoras permiten analizar grandes cantidades de información en tiempos menores y con mínima interacción de personal.

Figura 3. Flujo de información y bienes en la Unidad de Negocio



Nota: Elaboración propia del autor

En el mercado existen poderosos programas de código cerrado para efectuar simulaciones Montecarlo, sin embargo, su utilización es de uso general y requieren ser parametrizados por un experto para cada caso. En este sentido es un aporte importante generar una herramienta cuyos resultados se aproximen a los obtenidos por los sistemas comerciales, lo que daría un camino para desarrollos futuros y aplicaciones a sistemas empresariales de desarrollo local.

### 2.3. Análisis crítico de las metodologías existentes relacionadas al problema

Los sistemas de inventarios se pueden clasificar principalmente en (Figueredo, 2008):

- Sistemas de inventario determinístico, caracterizados por que es conocida la demanda y tiempo de reposición de los artículos de inventario. Se incluyen aquí el modelo de lote económico, modelo de inventarios con faltantes planeados y modelos con descuentos.
- Sistemas de inventarios probabilístico, caracterizados por que la demanda y el tiempo de reposición de los artículos de inventario es conocida bajo ciertas condiciones de probabilidad. Se incluyen los modelos de reposición periódico sujetos a variables con comportamientos no determinísticos.

Cada uno de los sistemas antes mencionados, con relación a las condiciones de demanda y tiempo de reposición tienen asociados diferentes modelos matemáticos para su aplicación, ante lo cual se analiza lo siguiente:

- a. Al contar con miles de artículos de inventario, así como la generación de centenares de transacciones las metodologías propuestas deben ser automatizadas y sistematizadas para que sea eficiente en términos de tiempo y del recurso humano implicado.
- b. Los artículos de inventario con demanda y tiempo de reposición determinísticos en la UNHP son mínimos, considerando que su utilización se ajusta a requerimientos de mantenimiento preventivo y correctivo. Los mantenimientos correctivos no pueden ser previstos.
- c. Los sistemas de inventario probabilísticos requieren mayor análisis que los sistemas determinísticos siendo requerido más conocimiento y recursos para su implementación.

Considerando que la simulación Montecarlo permite simular cualquier variable (Sobol, 1983), aplicarla para determinar los puntos de reposición permite:

- Analizar los artículos de inventario sin ser requerido profundizar si su comportamiento puede ser clasificado como determinístico o probabilístico.
- Automatizar y sistematizar los procesos de cálculo y simulación.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Unidad de análisis**

La unidad de análisis para la presente aplicación metodológica, fueron las transacciones y saldos valorados de inventario (egresos) pertenecientes a la Unidad de Negocio Hidropaute de la CELEC EP, para la cual se emplearon registros de transacciones desde el 01 de enero de 2012 hasta el 31 de diciembre de 2019, siendo este periodo en el cual se dispone de información completa, considerando que fue implementado un sistema transaccional de carácter institucional.

#### **3.2. Población**

Se parte de los registros correspondientes a los artículos de inventario propiedad de la Unidad de Negocio Hidropaute, disponibles con corte a la fecha 31 de diciembre de 2019, los cuales ascienden a 14.579 artículos de inventario.

De similar manera se toman 187.325 transacciones (egresos) comprendidos entre el periodo 01 de enero de 2012 hasta el 31 de diciembre de 2019. Estas transacciones corresponden a 10481 artículos de inventario que han experimentado algún egreso en el periodo indicado.

De los registros indicados (universo), la población se estableció como aquellos artículos que tienen movilidad (Mora, 2014), es decir, aquellos artículos que en los últimos 48 meses han tenido egresos en por lo menos 24 de estos. En la Tabla 1 se resumen los artículos a analizar, mientras que en la Figura 4 se visualiza la cantidad de artículos que han tenido diferentes niveles de movilidad.

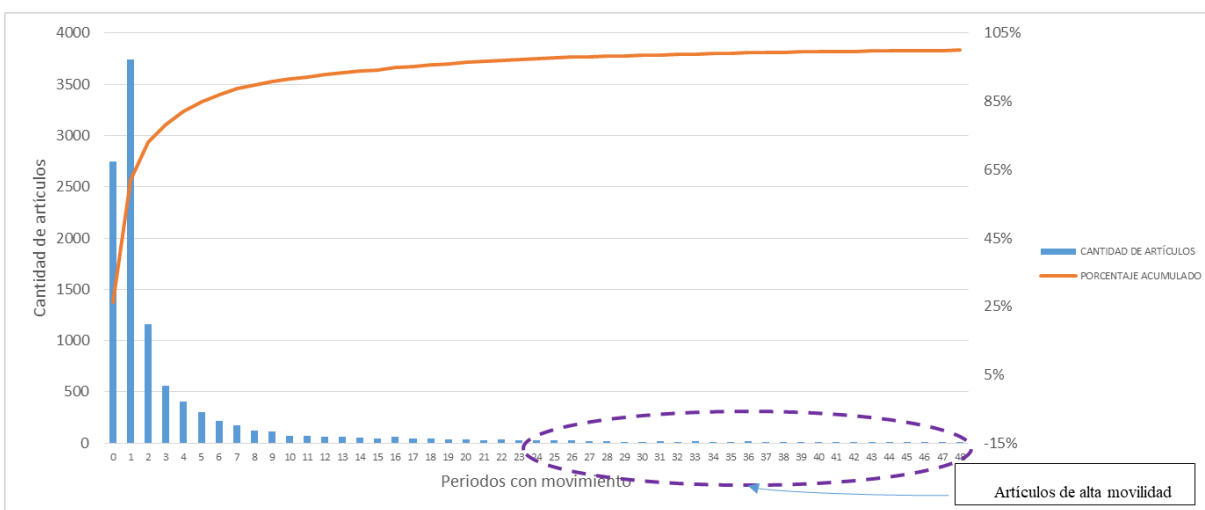
Se ha determinado esta población considerando que los artículos de alta movilidad son los que responden mayoritariamente a los requerimientos de las distintas áreas. Es decir, estos artículos enfocan la demanda de inventarios (Mora, 2014) y como se evidencia en la Figura 4..

Tabla 1. Segregación de artículos para determinar la población de análisis

	<b>ARTÍCULOS REGISTRADOS</b>	<b>ARTÍCULOS CON EGRESO</b>	<b>ARTÍCULOS ALTA MOVILIDAD</b>
Cantidad artículos	14.579,00	10.481,00	293,00
% artículos	100,00	71,89	2,00

Nota: Elaboración propia del autor con datos disponibles en ERP periodo 01/01/2012 al 31/12/2019

Figura 4. Distribución de artículos de inventario según su movilidad



Nota: Elaboración propia del autor

### 3.3. Tamaño de muestra

Para determinar el tamaño de la muestra, se aplicó el modelo matemático indicado en la ecuación (1), aplicado para la utilización en poblaciones finitas (Morales, 2011).

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2 pq}} \quad (1)$$

En donde:

$n =$  tamaño de la muestra

$N =$  población

$e =$  margen de error (0.05)

$z =$  variable estandarizada para el nivel de confianza de 90%

$p, q =$  proporciones de la varianza. Para maximizar la proporción se toma  $p, q = 0.5$

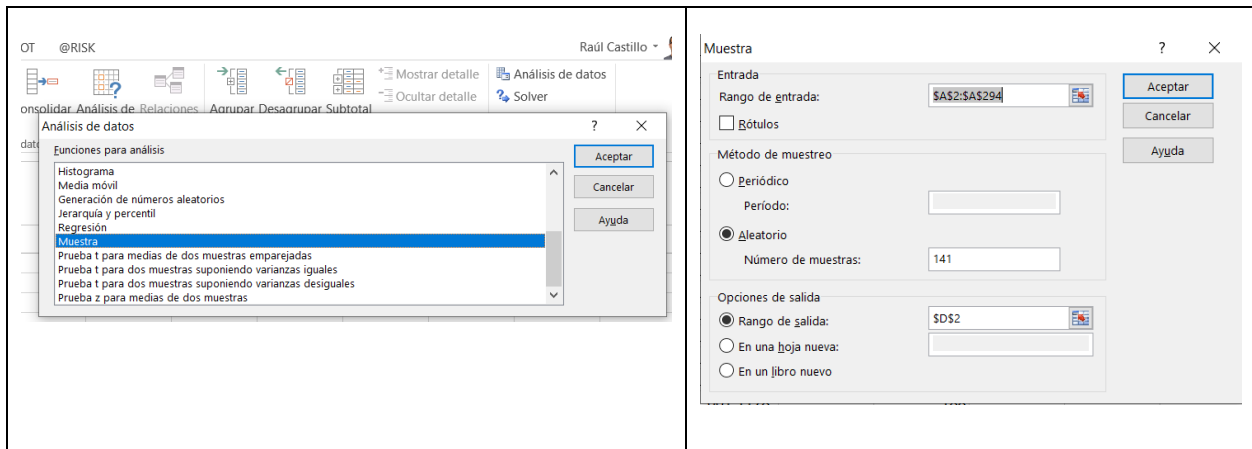
Son consideraciones para el establecimiento de la población los datos de alta movilidad indicados en la Tabla 1.

$$n = \frac{293}{1 + \frac{0.05^2(293 - 1)}{(1.6448)^2(0.5)(0.5)}} = \frac{293}{1 + \frac{0.0025(292)}{2.7053(0.5)(0.5)}} = \frac{293}{1 + \frac{0.73}{0.67}} = 140.22 \sim 141$$

### 3.4. Selección de la muestra

La selección de los artículos que fueron analizados se obtuvo mediante una determinación aleatoria. Para esto se aplicó la opción de MS Excel, Análisis de Datos, Muestra. En la Figura 5 se muestra la opción empleada.

Figura 5. Opción de MS Excel aplicada para el análisis de datos



Nota: Elaboración propia del autor, imagen de opción en MS Excel

Con el método señalado y como se proporciona en el Anexo 1 se detallan los artículos identificados como muestra aleatoria.

### 3.5. Métodos a emplear. ¿Cuál y para qué?

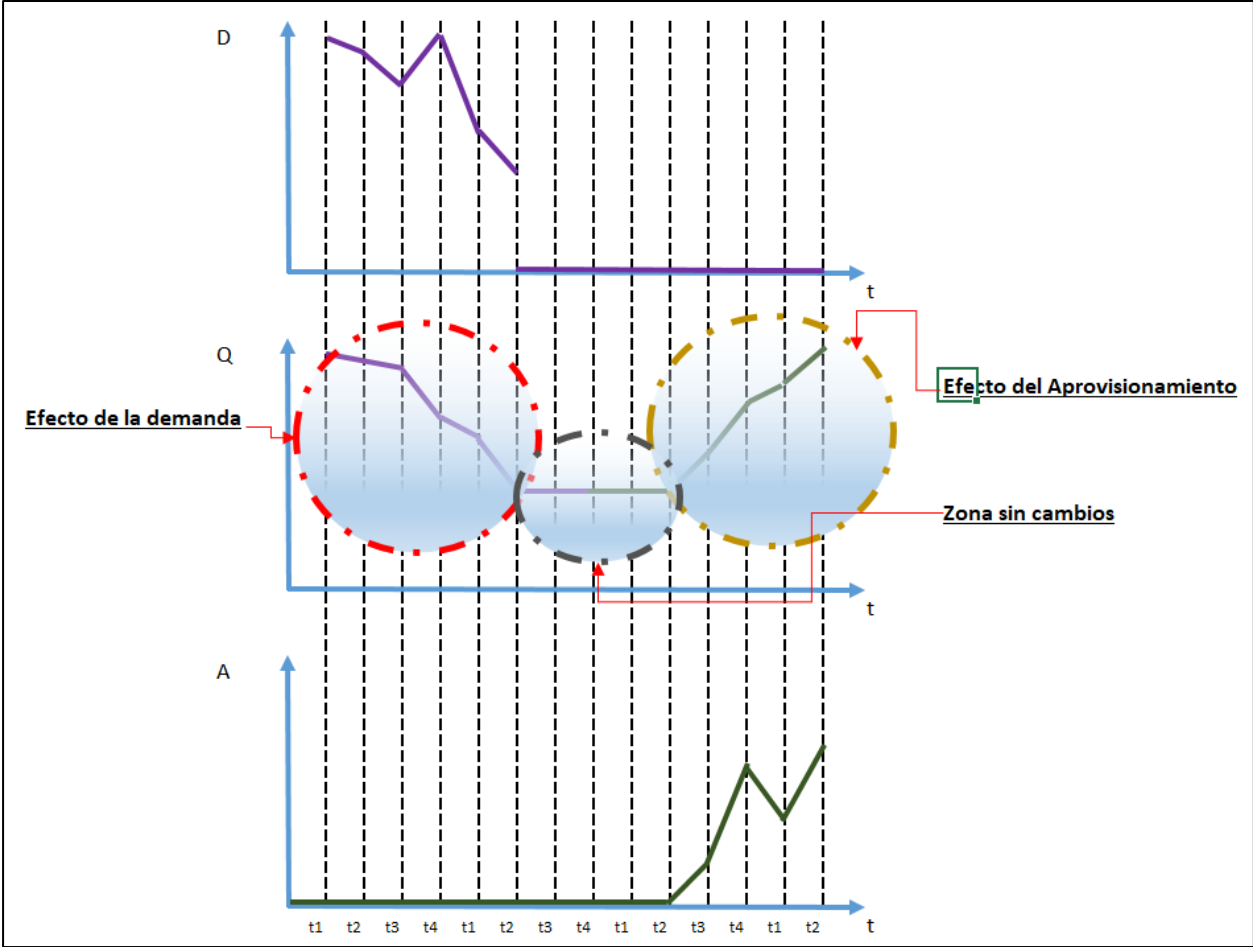
#### 3.5.1. Modelación y entendimiento de un proceso general de inventarios

La Figura 1 esquematiza la conceptualización de un sistema de inventario. El nivel de la bañera fluctúa al transcurrir el tiempo, en función de cómo se ingresa y evacúa agua de la misma, esto es aprovisionamiento y egreso (demanda). En la Figura 6 e Figura 7 se modela el comportamiento del nivel de la bañera (Inventario =  $Q$ ) antes indicada, bajo el supuesto de un caudal de ingreso (Aprovisionamiento =  $A$ ) como de egreso (demanda =  $D$ ).

El modelo de la Figura 7 representa el comportamiento de los artículos de inventario de la UNHP. El patrón señalado al repetirse por varios ciclos muestra el conocido diagrama de “dientes de sierra” asociado al comportamiento de un inventario que se proporciona como Figura 8.

Sobre la base de la Figura 8, en la Figura 9 se señalan las principales variables de análisis en el modelo de inventarios.

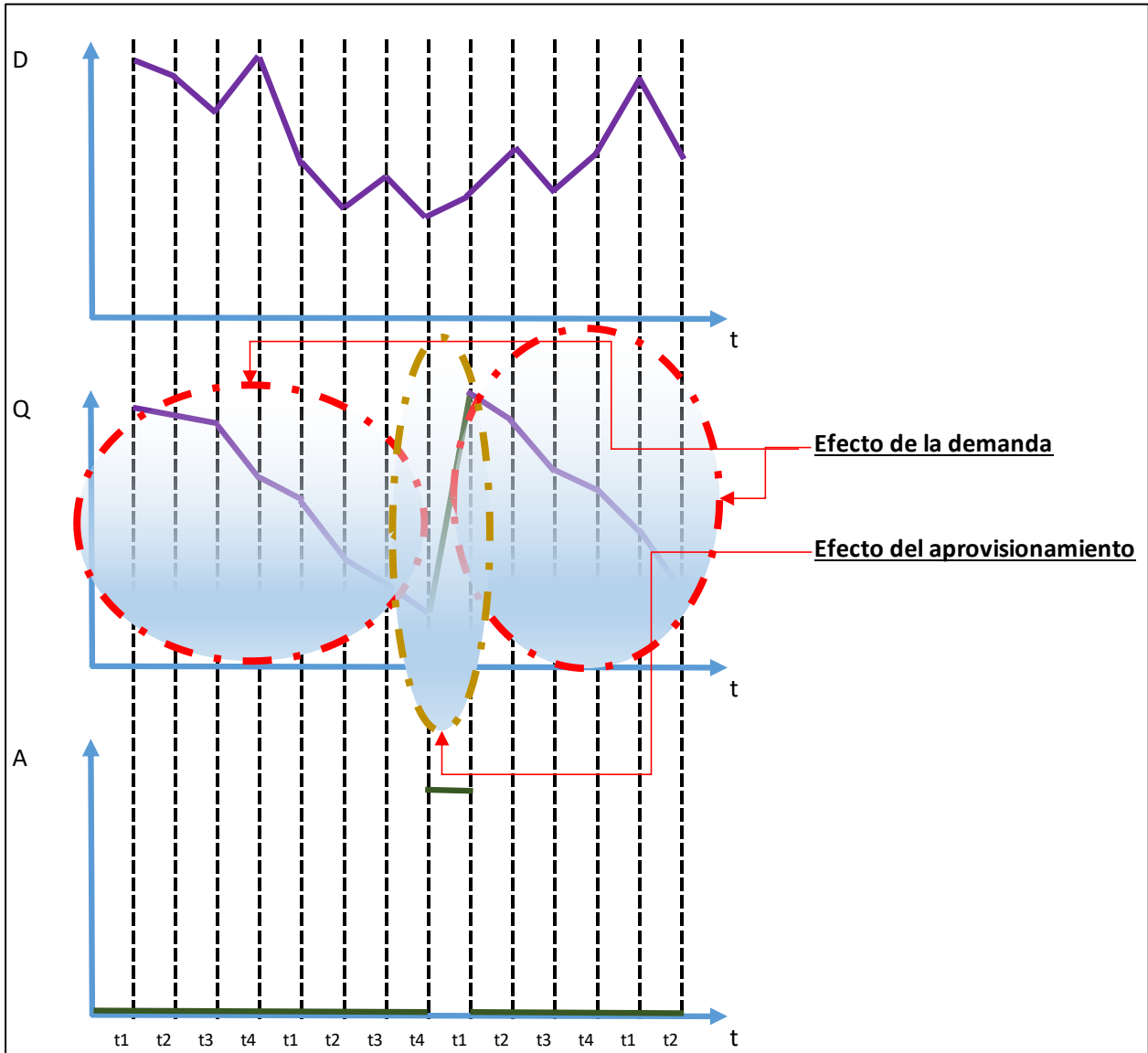
Figura 6. Modelación de inventario con demanda y aprovisionamiento no instantáneo



Nota: Elaboración propia del autor

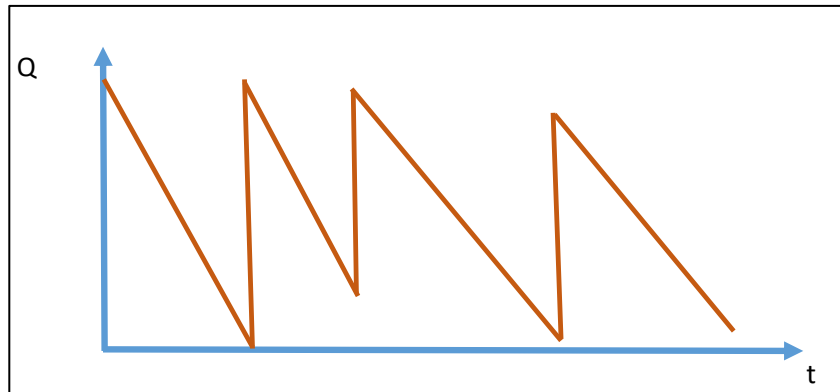


Figura 7. Sistema de inventario con aprovisionamiento no instantáneo



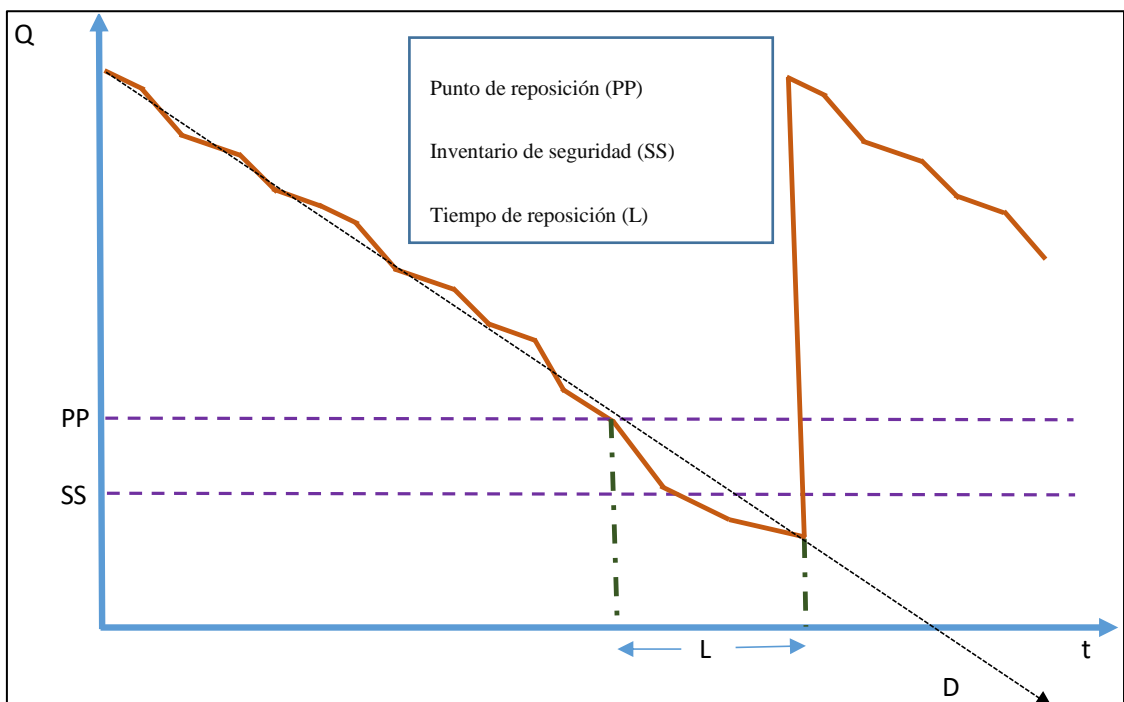
Nota: Elaboración propia del autor

Figura 8. Diagrama de "dientes de sierra"



Nota: Elaboración propia del autor

Figura 9. Principales variables en un sistema de inventarios



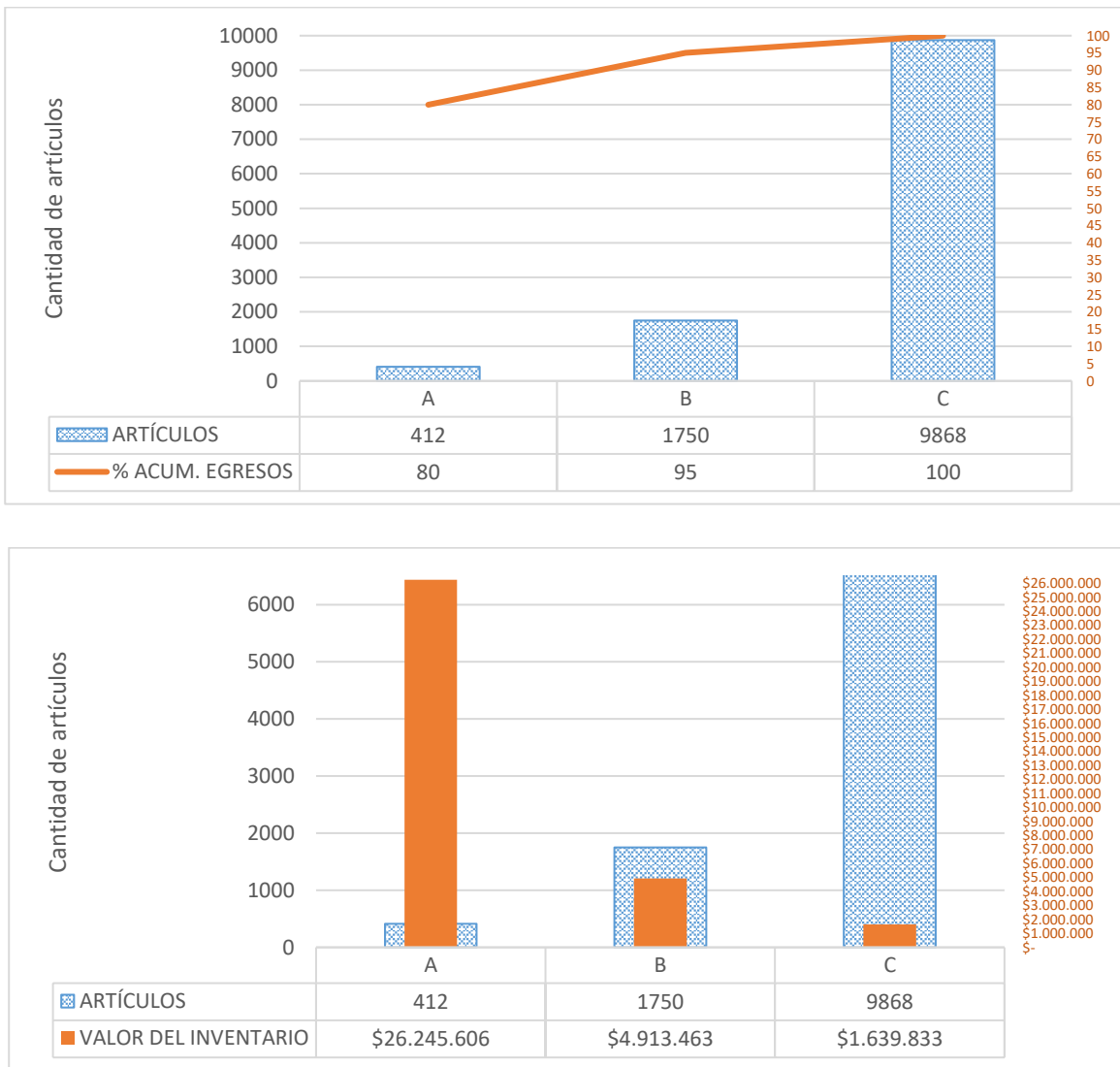
Nota:

Elaboración propia del autor

### 3.5.2. Clasificación ABC

Para el análisis ABC se analizan los artículos en categorías en función de cómo su valor contable contribuye en el monto global del inventario almacenado. En los gráficos correspondientes a la Figura 10 se presenta la configuración ABC del inventario de la UNHP.

Figura 10. Análisis ABC de la estructura del inventario

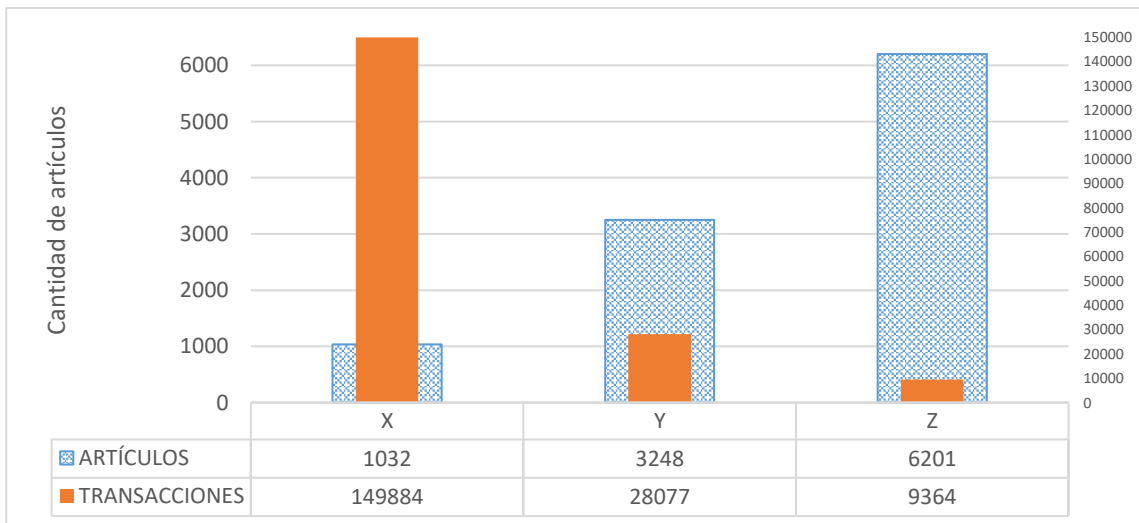
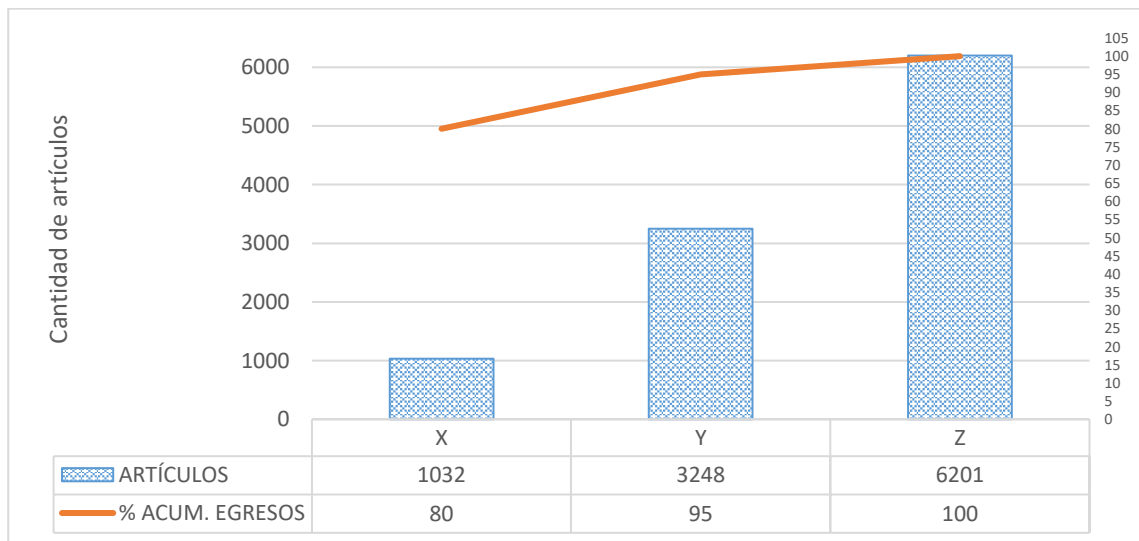


Nota: Elaboración propia del autor

### 3.5.3. Clasificación XYZ

Para el análisis XYZ se analizan los artículos en categorías en función de cómo la cantidad de sus transacciones (egresos) contribuyen en la cantidad total de transacciones efectuadas. En los gráficos correspondientes a la Figura 10 se presenta la configuración ABC del inventario de la UNHP. Se proporciona en la Figura 11 la composición de las transacciones de inventario,

Figura 11. Análisis XYZ de la estructura del inventario



Nota: Elaboración propia del autor

### 3.5.4. Análisis ABC y XYZ

Un análisis combinado asociado al valor económico de los artículos de inventario (ABC) y la rotación de los mismos (XYZ) permite identificar en términos generales conforme la Tabla 2, como se distribuyen en el inventario los artículos de mayor rotación o movilidad conforme su valor. Se evidencia que los artículos de inventario de mayor valor (A) y un porcentaje considerable de artículos de menor valor (C) no están siendo utilizados. La mayor cantidad de artículos que están siendo utilizados son los de bajo valor (C).

Tabla 2. Análisis ABC -XYZ

	X	Y	Z	SIN MOVIMIENTO	SUBTOTAL
<b>A</b>	6	27	69	310	<b>412</b>
<b>B</b>	73	236	357	1084	<b>1750</b>
<b>C</b>	656	1922	2278	5012	<b>9868</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>735</b>	<b>2185</b>	<b>2704</b>	<b>6406</b>	<b>12030</b>

	X	Y	Z	SIN MOVIMIENTO	SUBTOTAL
<b>A</b>	0%	0%	1%	3%	<b>3%</b>
<b>B</b>	1%	2%	3%	9%	<b>15%</b>
<b>C</b>	5%	16%	19%	42%	<b>82%</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>6%</b>	<b>18%</b>	<b>22%</b>	<b>53%</b>	<b>100%</b>

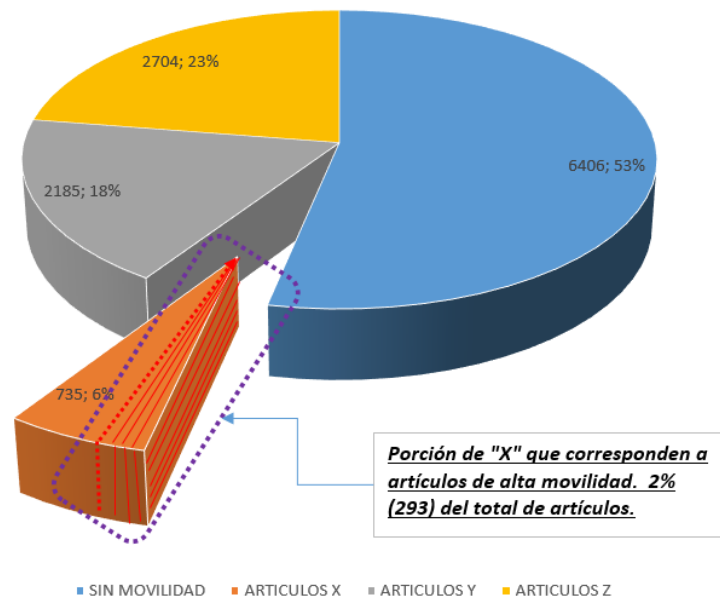
Nota: Elaboración propia del autor

### 3.5.5. Análisis de movilidad y XYZ

El análisis de movilidad y XYZ pueden resultar similares, pero es necesario aclarar que el análisis de movilidad considera las demandas de los artículos en los últimos 48 meses y dentro de este periodo a los artículos que han tenido movimiento por lo menos en 24 meses, mientras que el análisis XYZ es una referencia porcentual de todas las transacciones en un intervalo de tiempo. Resulta evidente considerar que los artículos de alta movilidad recaen en la categoría “X” del análisis XYZ.

En la Figura 12 se visualiza la cantidad de artículos de alta movilidad que conforman el inventario. Estos artículos representan un 2% del total de artículos con saldo al 31 de diciembre de 2019 y un 40% de los artículos identificados en la categoría “X”.

Figura 12. Artículos de alta movilidad que conforman el inventario



Nota: Elaboración propia del autor

### 3.5.6. Análisis de la demanda de los artículos de inventario

Según la muestra determinada de 141 artículos de inventario de alta movilidad, es necesario identificar la mejor distribución que se ajusta al comportamiento de su demanda. Para este objetivo

se empleó un software para modelación de datos y SPSS disponible en la Universidad Politécnica Salesiana.

### ***3.5.6.1. Prueba de normalidad de la demanda***

En primera instancia se realiza una observación de los histogramas generados de la demanda para identificar si tienen un patrón que se ajuste a una distribución normal. Se analizan los gráficos de forma aleatoria conforme se señala en el Anexo 2. En una primera instancia, por la forma de los histogramas se deduce que los datos de demanda no se ajustan a una distribución normal.

Para validar la hipótesis de que los datos no se ajustan a una distribución normal, se aplica la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov (K-S) en el software revisar los derechos SPSS para un nivel de significancia del 5% (0.05). La aplicación de hipótesis es la siguiente:

Ho: la distribución de los datos = normal;  $p > 0.05$

H1: la distribución de los datos  $\neq$  normal;  $p < 0.05$

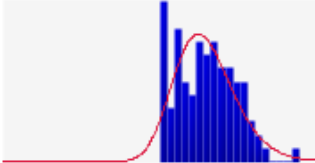
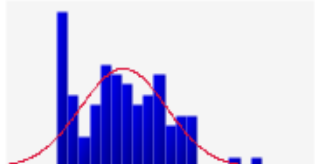
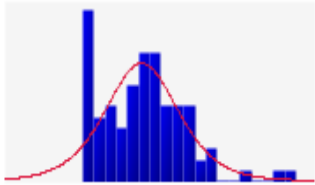
Luego de aplicar la prueba a los 141 artículos de inventario seleccionados como muestra, se identifica que la demanda de 138 artículos no se ajusta a una distribución normal, al tener un nivel de significancia inferior a 0.05. Los artículos señalados en la Tabla 3 registran valores de demanda que se ajusta a una distribución normal.

### ***3.5.6.2. Identificación de la distribución de datos de la demanda.***

Si bien la demanda de un 98% de artículos de inventario no se ajusta a una distribución normal, es importante identificar a que distribución se ajusta para entender su comportamiento. Revisando aleatoriamente la forma de los histogramas de demanda conforme se proporciona en la Tabla 4, se podría deducir en una primera instancia que los datos se ajustan a una distribución exponencial.

Para corroborar el supuesto antes indicado, se utiliza una función de ajuste de un software de gestión de datos que permite establecer la mejor distribución a la cual se ajustan los datos. Para el método de ajuste se escoge como parámetro Kolmogorov – Smirnov (K - S) y en base a lo cual se ratifica que los datos que no se ajustan a una distribución normal, estos se ajustan a una distribución exponencial como se indica en la Figura 13.

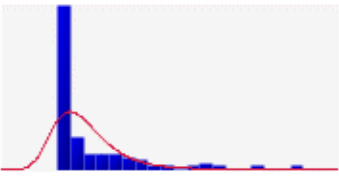
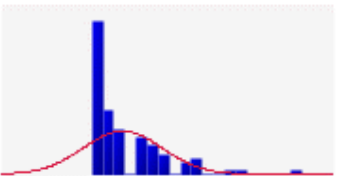
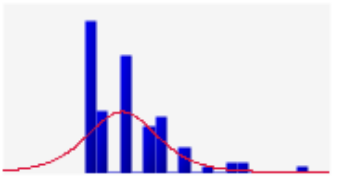
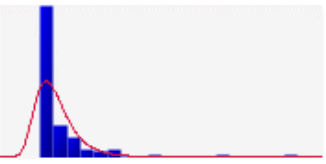
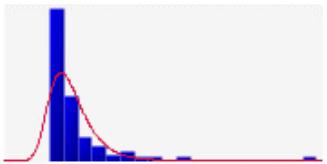
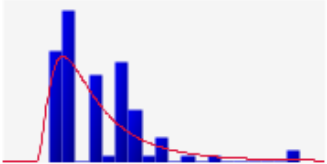

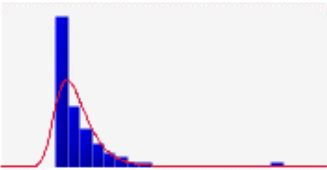
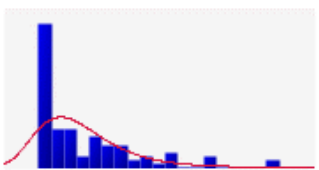
Tabla 3. Artículos de inventario de la muestra con demanda normal

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ESTADÍSTICO K-S	SIGNIFICANCIA	DISTRIBUCIÓN
01.003.0573	ROLLO DE TEFLON	0.063	0.2	
01.004.0118	TARRO DE LIMPIA CONTACTOS OMYA ECT-39	0.085	0.08	
01.099.1163	TAPONES AUDITIVOS CON CORDON Y CAJA	0.083	0.1	

Nota: Elaboración propia del autor

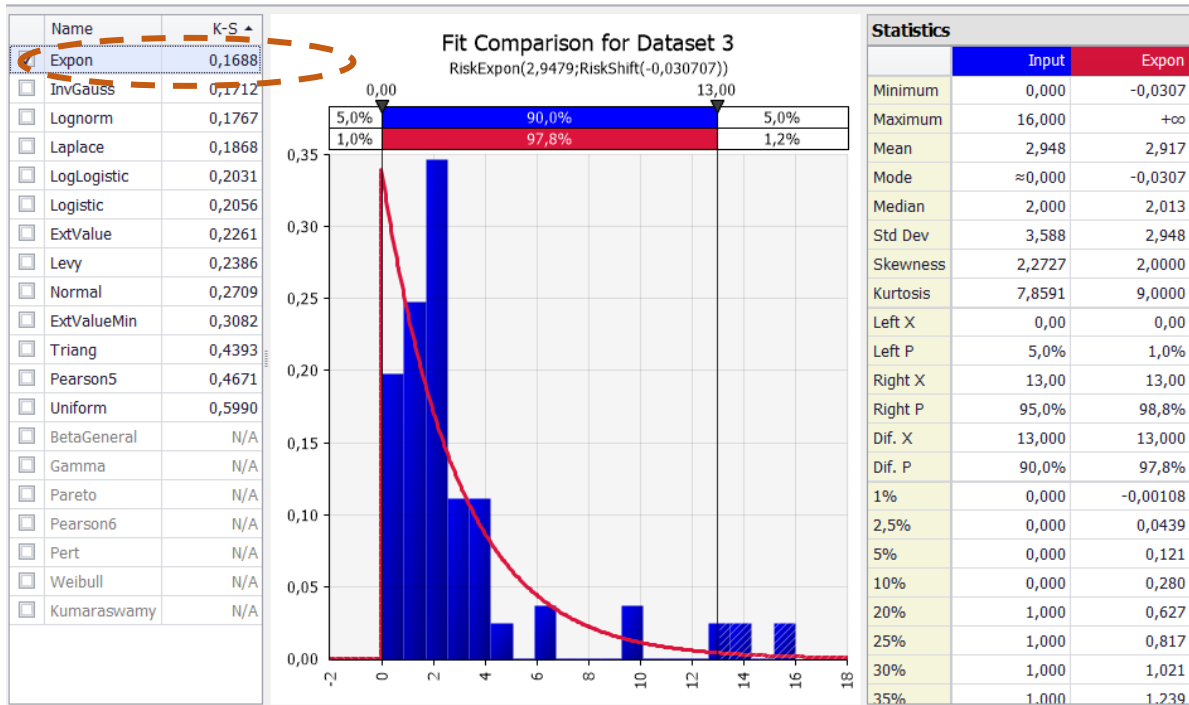


Tabla 4. Distribución de artículos cuya demanda no es normal

<b>ARTÍCULO</b>	<b>ARTÍCULO</b>	<b>ARTÍCULO</b>
<b>01.001.1221</b>	<b>01.001.1222</b>	<b>01.001.1401</b>
		
<b>01.002.1456</b>	<b>01.002.1904</b>	<b>01.002.2084</b>
		
<b>01.003.0342</b>	<b>01.003.0343</b>	<b>01.003.0345</b>
		

*Nota: Elaboración propia del autor*

Figura 13. Prueba de ajuste de datos de demanda



Nota: Elaboración propia del autor

### 3.5.7. Cálculo del punto de reposición

El modelo matemático para la determinación del punto de reposición de un artículo de inventario se calcula conforme la ecuación (2) (Slater, 2010).

$$PP = DL_T + SS \quad (2)$$

En donde:

$PP$  = punto de reposición

$L_T$  = tiempo de reposición promedio

$D$  = demanda promedio de un artículo

$SS$  = Stock de seguridad

Al no contar con datos relacionados al tiempo de reposición promedio de los artículos, la simulación de esta variable se modeló como una distribución triangular.

La distribución triangular se modela en la herramienta de simulación, para lo cual el usuario debe parametrizar para cada artículo conforme su naturaleza de compra un tiempo optimista, esperado y pesimista de los diferentes tiempos de reposición. Con esta información se estima el tiempo de reposición promedio y su respectiva desviación estándar conforme las ecuaciones (3) y (4) respectivamente.

$$L_T = \frac{L_{TO} + L_{TE} + L_{TP}}{3} \quad (3)$$

En donde:

$L_T$  = tiempo de reposición promedio

$L_{TO}$  = tiempo de reposición optimista

$L_{TE}$  = tiempo de reposición esperado

$L_{TP}$  = tiempo de reposición pesimista

$$\sigma_{L_T} = \sqrt{\frac{L_{TO}^2 + L_{TE}^2 + L_{TP}^2 - L_{TO}L_{TE} - L_{TO}L_{TP} - L_{TE}L_{TP}}{18}} \quad (4)$$

### 3.5.7.1. Determinación del stock de seguridad (SS)

Según (Betancourt, 2018), se propone para el caso de una demanda y tiempo de reposición variables, el modelo indicado en la ecuación (5).

$$SS = z \sqrt{\sigma_D^2 L_T + D^2 \sigma_{L_T}^2} \quad (5)$$

En donde:

$SS$  = stock de seguridad

$z$  = variable estandarizada de probabilidad para una distribución normal

$\sigma_D$  = desviación estándar de la demanda

$\sigma_{L_T}$  = desviación estándar del tiempo de reposición

Es importante indicar que el modelo asume que la demanda se ajusta a una distribución normal, sin embargo, considerando lo señalado en las secciones previas, la demanda de los artículos no se ajusta en su mayoría a una distribución normal, por lo que se propone a la utilización de una variable normalizada para una distribución exponencial. Se considera el modelo indicado en la ecuación (6) (Gonzalez, 2018).

$$P(x) = 1 - e^{-\gamma x} \quad (6)$$

En donde:

$P(x)$  = probabilidad

$\gamma$  = parámetro de comportamiento

$x$  = variable normalizada

Despejando la variable normalizada se obtiene el modelo indicado en la ecuación (7).

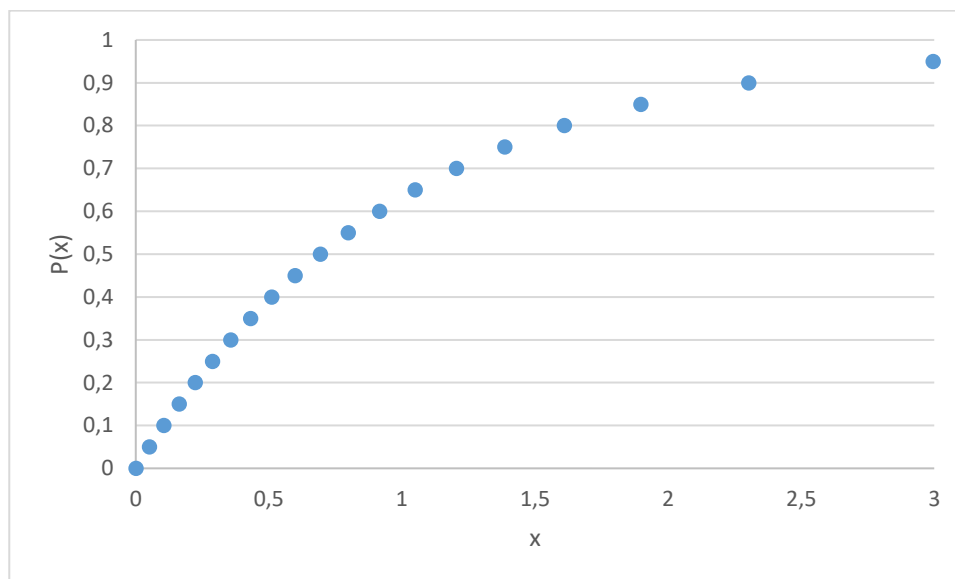
$$x = -\frac{\ln(1-P(x))}{\gamma}; \text{ si } \gamma = 1 \text{ entonces } x = -\ln(1 - P(x)) \quad (7)$$

El modelo previo describe la distribución de probabilidad exponencial acumulada indicada en la Figura 14..

El modelo para el cálculo del stock de seguridad considerando una demanda que se ajusta a una distribución exponencial resulta de combinar la ecuación (6) y (7). Este modelo se indica como ecuación (8).

$$SS = -\ln(1 - P(x)) \sqrt{\sigma_D^2 L_T + D^2 \sigma_{L_T}^2} \quad (8)$$

Figura 14. Distribución exponencial normalizada acumulada con  $\gamma=1$



Nota: Elaboración propia del autor

### 3.5.8. Configuración de la herramienta de simulación

La herramienta de simulación desarrollada por el estudiante se configuró en Ms Excel con aplicación de Macros en Visual Basic y se compone tanto de actividades manuales como automáticas conforme se esquematiza en el Anexo 3 y se detalla con más profundidad a continuación:

#### 3.5.8.1. Extracción y alimentación de datos.

Los datos se encuentran disponibles en el ERP institucional, siendo de acceso restringido, lo que imposibilita la lectura directa desde un archivo de Ms Excel.

Para la aplicación, los datos tanto de saldos como de egresos, se extraen realizando una consulta manual y luego son exportados a herramienta de simulación. En la hoja “TRANSACCIONES” se registran los egresos de los artículos de inventario, mientras que en la hoja “SALDOS” se registran los stocks disponibles en los almacenes a una determinada fecha de corte. En la Figura 15 se proporcionan las imágenes de la pantalla donde se alimentan los datos.

Figura 15. Pantalla para ingreso de transacciones

	A	B	C	D
1	Artículo	Descripción Artículo	Cantidad	Fecha Aplicada
2	50.001.0230	IBUPROFENO 600MG. COMPRIMIDOS	5	21/4/2014
3	50.001.0219	DICLOXACILINA 250MG/5ML FRASCO	1	21/4/2014
4	50.001.0278	TOXOIDE TETANICO AMPOLLA	1	21/4/2014
5	50.001.0117	JERINGUILLAS DE INSULINA UNIDADES	1	21/4/2014
6	50.001.0274	BENZOCAINA + CETILPIRIDINIO 6MG+2MG TAB	6	21/4/2014
7	50.001.0191	ACIDO ASCORBICO 500MG. TABLETAS	3	21/4/2014
8	50.001.0343	PARACETAMOL+PSEUDOEFDRIINA+CLORFENA	3	21/4/2014
9	50.001.0020	CLORURO DE SODIO 0.9% . 1000ML.	1	21/4/2014

Fecha de ocurrencia del egreso o transacción

Nota: Elaboración propia del autor

Figura 16. Pantalla para ingreso de saldos de los artículos

	A	B	C
1	ARTICULO	DESCRIPCI	CANTIDAD
2	01.001.0001	CODO GALVA	9
3	01.001.0003	NUDO UNIVE	33
4	01.001.0005	NUDO UNIVE	22
5	01.001.0006	ARENA MEDIA	12
6	01.001.0007	REDUCCION C	14
7	01.001.0008	REDUCCION C	26

Cantidad de artículos almacenados independiente de la bodega

Nota: Elaboración propia del autor

### 3.5.8.2. Definición de artículos a simular

En la herramienta de simulación se carga la información de todos los artículos indistintamente conforme el numeral previo. En la hoja “ARTICULOS” se define:

- Los artículos a simular
- La cantidad de iteraciones de la simulación
- Nivel de servicio asociado al artículo para el cálculo del stock de seguridad
- Tiempo de reposición del artículo en base a un criterio optimista, esperado y pesimista.

En la misma pantalla se presentan los resultados de punto de reposición obtenidos de la simulación. La configuración de esta pantalla se visualiza en la Figura 17.

Figura 17. Pantalla para ingreso de artículos y de resultados

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	CANTIDAD	2	SIMULACIÓN	1000	ITERACIONES	1000			
2		EJECUTAR SIMULACIÓN → ●			FECHA CORTE	31/12/2019			
3									
4									
5	ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	NIVEL SERVICIO	OPTIMISTA	ESPERADO	PESIMISTA	SALDO ACTUAL	FILA	VALOR_PP
6	01.002.0065	BOQUILLA DE LOZA	0,90	10	25	60	136	2001	514,744163
7	01.003.2326	WIPE	0,90	10	25	60	471,8	1001	13945,9286
8			0,90	10	25	60			

En color naranja se presentan al finalizar los resultados de simulación.

Nota: Elaboración propia del autor

### 3.5.8.3. Tabulación de datos

Los datos son extraídos del ERP sin ningún orden cronológico o agrupación, por lo que la primera acción automática de la herramienta de simulación es agrupar las transacciones en periodos mensuales siendo este el análisis más usual (Mora, 2014). En la Figura 18 se visualiza como son organizados los datos por la herramienta de simulación.

Figura 18. Imagen de tabulación de datos por parte de la herramienta de simulación

	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	CODIGO	01.003.2326					FECHA MÍNIMA	10/1/2012		PRIMER ME	1	
2	DESCRIPCIÓN	WIPE					FECHA MÁXIMA	14/3/1905		PRIMER AÑO	2012	
3							FECHA CORTE	31/12/2019				
4							MESES	95		AÑO	MES	CANTIDAD ME
5							AÑOS	8		2012	1	153
6										2012	2	158
7										2012	3	170
8										2012	4	330
9										2012	5	149
10										2012	6	320
11										2012	7	172
12										2012	8	248
13										2012	9	243

Extracción de transacciones del artículo.

Tabulación mensual de las cantidades egresadas

Nota: Elaboración propia del autor

### 3.5.8.4. Construcción de distribución empírica de probabilidad

Con los datos organizados en periodos, aplicando la heurística de Sturges determina la cantidad de rangos para generar automáticamente una tabla de frecuencias y probabilidades acumuladas. Esta información describe la distribución de probabilidad a la que se ajustan los egresos de los artículos

de inventario. En la Figura 19 se ejemplifica como se construye la distribución empírica por parte de la herramienta de simulación.

Figura 19. Construcción de distribución empírica de probabilidad



Nota: Elaboración propia del autor

### 3.5.8.5. Generación de números aleatorios y escenarios

El sistema genera dos números aleatorios con los cuales simula una posible demanda del artículo con la distribución generada previamente, así como un tiempo de reaprovisionamiento conforme una distribución triangular.

### 3.5.8.6. Cálculo de puntos de reposición

Para cada iteración se calcula el stock de seguridad y el punto de pedido, el sistema entrega para cada artículo el punto de reposición promedio de las iteraciones realizadas.



### **3.5.8.7. Presentación de resultados**

Luego de efectuar el proceso de simulación para cada uno de los artículos requeridos, los resultados de los puntos de reposición son presentados en la hoja “ARTICULOS” conforme la Figura 17.

### **3.6. Identificación de las necesidades de información.**

Una fuente primaria es aquella que contiene información nueva y original que no ha sido sometida a ningún tratamiento posterior (Cabrera, 2010). Conforme esta definición son fuentes de información:

1. Las bases de datos del ERP donde constan los registros de las transacciones (egresos) y saldos de los diferentes artículos de inventario.
2. La experiencia del personal de inventarios y adquisiciones, requerida para determinar los tiempos de reposición de cada artículo de inventario.

No se considera la existencia de fuentes secundarias para la utilización de la herramienta de simulación.

### **3.7. Técnicas de recolección de datos ¿Cuáles y para qué?**

Los datos que se han recolectado de forma directa del ERP institucional para efectuar el modelo y correr las simulaciones son:

- Cantidad de cada artículo de inventario egresado entre el 01 de enero de 2012 y el 31 de diciembre de 2019 para simular la demanda de los artículos.
- Saldo de los artículos de inventario disponibles en los almacenes al 31 de diciembre de 2019 para evaluar si es necesario efectuar un pedido.
- Resultados de las simulaciones obtenidas de la herramienta de simulación para compararlo con los obtenidos de otros sistemas comerciales que efectúan procesos de simulación Montecarlo.

### **3.8. Herramientas utilizadas para el análisis e interpretación de la información**

#### **3.8.1. Para establecer la metodología**

Para el análisis de la metodología se emplearon las siguientes herramientas, cuyas bases teóricas se explicaron en capítulos anteriores:

- Análisis de Pareto: se utilizó la base conceptual de Pareto que fundamenta el análisis ABC y XYZ con el cual se entiende como está estructurado el inventario en términos económicos y de transaccionalidad.
- Investigación de operaciones: como rama de estudio de la ingeniería industrial y la administración, otorgó las bases conceptuales que permiten entender los métodos cuantitativos en la gestión de inventarios.
- Análisis de movilidad: concepto que permitió categorizar a los artículos de inventario según su movimiento (egresos). Con esta herramienta se identifican los artículos de alta movilidad.
- Muestreo y selección aleatoria: el muestreo se utilizó para determinar la cantidad de artículos de inventario de la población que fueron analizados. La selección de los artículos de la muestra, fueron tomados de la población mediante un proceso de escogimiento aleatorio.
- Prueba de normalidad: realizada a las transacciones de los diferentes artículos, así como a los resultados de las simulaciones. Se efectuó la prueba de Kolmogorov Smirnov en el sistema SPSS. Los resultados de esta prueba permitieron identificar la distribución estadística que siguen las transacciones de cada uno de los diferentes artículos de la muestra seleccionada.
- Prueba de ajuste: se efectuó una prueba de ajuste en un software comercial para identificar la distribución estadística que mejor se ajusta al comportamiento de los datos.

- Programación computacional: técnica mediante la cual fue posible generar una sistematización del método de simulación en MS EXCEL interviniéndolo con un código en VISUAL BASIC.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados**

#### ***4.1.1. Evaluación de los resultados de la simulación***

Como primera etapa es necesario evaluar si los resultados generados por la herramienta de simulación son aceptables, en comparación con aquellos obtenidos con otros softwares comerciales de uso específico para procesos de simulación Montecarlo.

##### ***4.1.1.1. Validación de las aproximaciones obtenidas por el simulador***

Es importante considerar si las estimaciones generadas por la herramienta de simulación (PHS) se pueden considerar como válidas en comparación con las generadas por un sistema comercial (PPC) de simulación. En este sentido se ha propuesto comparar los resultados de los puntos de reposición generados, es importante aclarar que las herramientas comerciales de simulación no cuentan con la aplicación directa para determinar puntos de reposición, estos son generales y deben ser configurados para este fin.

La comparación se aplicó aproximadamente al 50% de los 141 que conforman la muestra en estudio y consta de las siguientes etapas:

1. Generación de 3 simulaciones de 1000 iteraciones cada una, tanto en la herramienta de simulación como en el programa de uso comercial.
2. Promedio simple de las simulaciones generadas en la herramienta de simulación y en el programa de uso comercial. En la Figura 20 se visualizan los valores de los promedios obtenidos, los cuales resultaron similares.
3. Determinación de las diferencias entre los promedios obtenidos, así como el error porcentual respecto al valor generado por el sistema comercial para cada artículo de inventario conforme la ecuación (9). Se pudo determinar que el error oscila entre el 2% y -6% como consta en la Figura 21.

Figura 20. Comparación entre el promedio de las simulaciones generadas



Nota: Elaboración propia del autor

$$E = \frac{PPC - PHS}{PPC} \times 100 \quad (9)$$

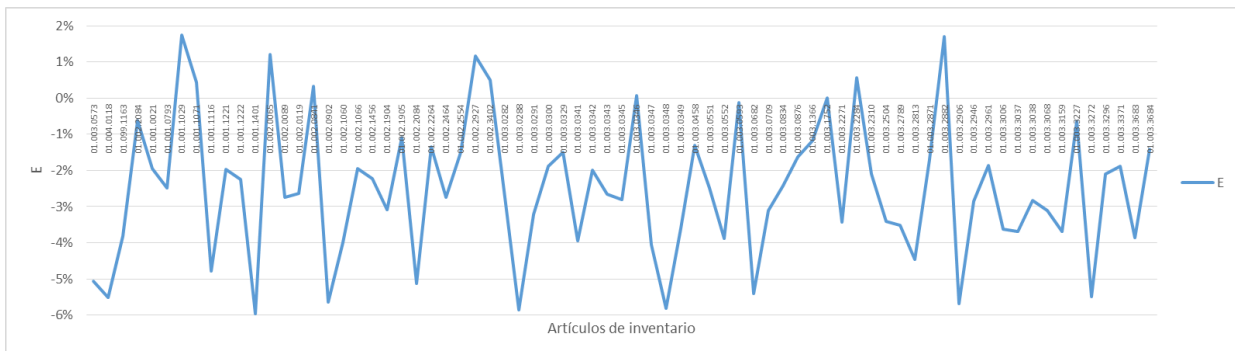
En donde:

$E$  = Error porcentual entre el promedio de las simulaciones

$PPC$  = Promedio de las simulaciones generadas en el programa comercial

$PHS$  = Promedio de las simulaciones generadas en la herramienta de simulación

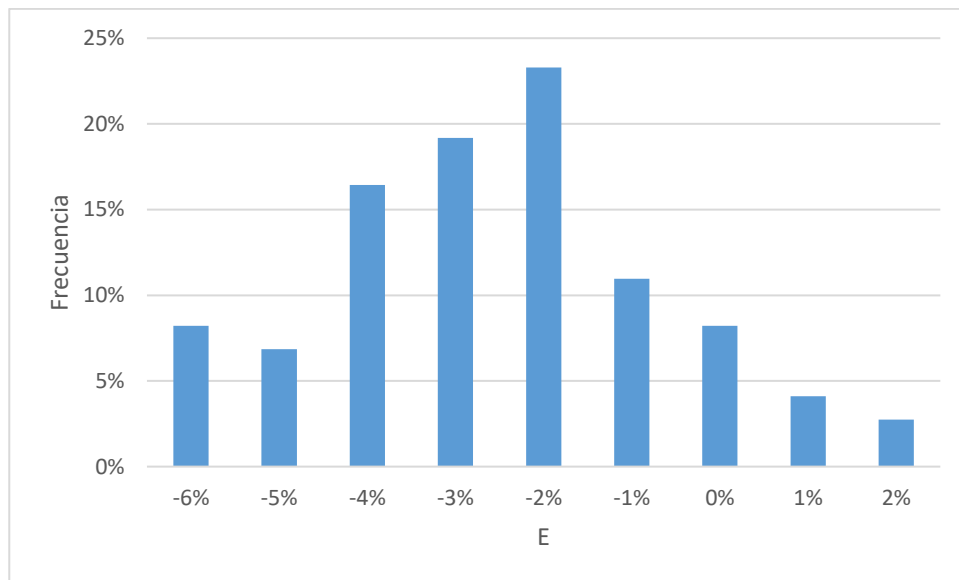
Figura 21. Error porcentual entre las estimaciones de PPC y PHS



Nota: Elaboración propia del autor

4. Prueba de normalidad de los errores porcentuales (E) obtenidos. En la Figura 22 se proporciona la distribución de probabilidad de E, siguiendo aparentemente una distribución normal.

Figura 22. Distribución de probabilidades de los errores obtenidos



Nota: Elaboración propia del autor

Para validar la hipótesis de que los datos de E se ajustan a una distribución normal, se aplica la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov (K-S) en SPSS para un nivel de significancia del 5% (0.05). La aplicación de hipótesis es la siguiente:

Ho: la distribución de los datos = normal;  $p > 0.05$

H1: la distribución de los datos  $\neq$  normal;  $p < 0.05$

Luego de aplicar la prueba a aproximadamente el 50% de los 141 artículos de inventario seleccionados como muestra, se obtuvo el nivel de significancia señalado en la Tabla 5 por lo cual se acepta la hipótesis Ho y se concluye que E se ajusta a una distribución normal.

Tabla 5. Resultados de prueba de normalidad en SPSS para E

K – S		
ESTADÍSTICO	df	SIGNIFICANCIA
0.066	73	0.20

*Nota: Elaboración propia del autor*

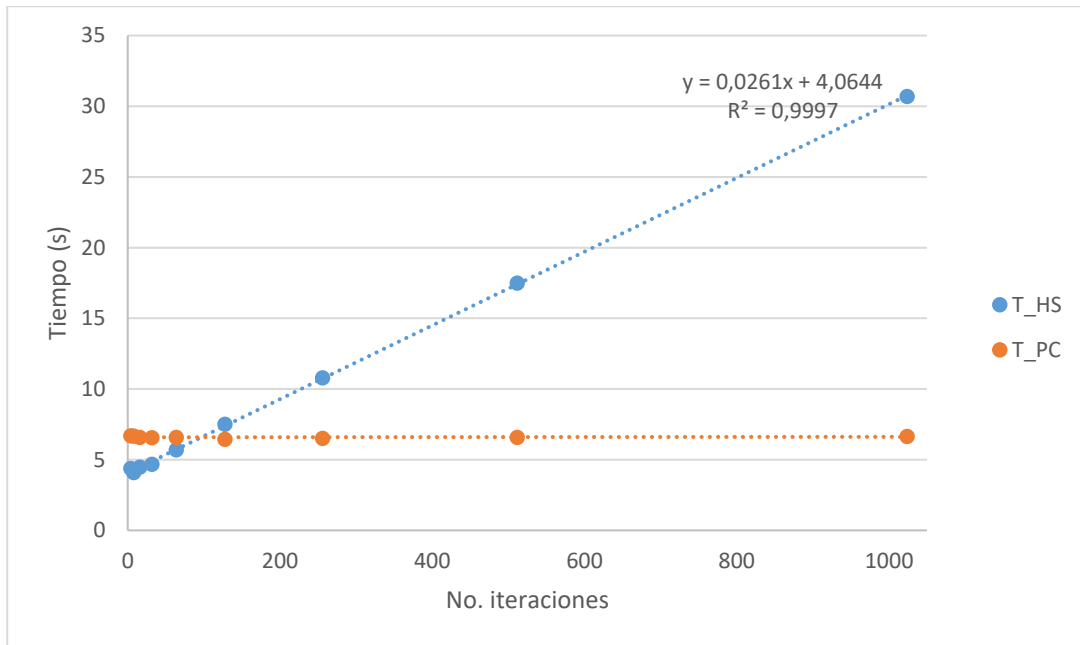
#### **4.1.1.2. Evaluación preliminar del desempeño de la herramienta de simulación**

Para evaluar el tiempo que le toma a la herramienta de simulación culminar un número de iteraciones determinado, se ha realizado la siguiente estimación:

1. Ejecución del proceso de simulación para un artículo desde las 4 iteraciones hasta las 1024 iteraciones. En cada iteración posterior se duplica la cantidad de las mismas.
2. Medición del tiempo que le toma concluir cada proceso de simulación en base al número de iteraciones.
3. Linealización de la dispersión obtenida.

Los pasos antes indicados se repitieron tanto en la herramienta de simulación como en un software comercial. En la Figura 23 se proporcionan las dispersiones obtenidas en los dos sistemas. Se observa que a medida que incrementan las iteraciones también incrementa el tiempo en la ejecución del proceso de simulación en la herramienta de simulación (T\_HS). En el programa comercial (T\_PC) el tiempo de simulación es prácticamente indiferente a la cantidad de iteraciones. Por otro lado, se observa que el tiempo que le toma a la herramienta de simulación completar el proceso se incrementa conforme el número de iteraciones.

Figura 23. Evolución del tiempo de simulación en función del número de iteraciones



Nota: Elaboración propia del autor

## 4.2. Propuesta Metodológica o Tecnológica

### 4.2.1. Premisas o supuestos

- Es un supuesto que la demanda futura de los artículos de inventarios puede ser descrita en base a la información histórica disponible.
- Es un supuesto que la demanda se ha satisfecho en todos los casos y cuando se registra cero es porque no se ha requerido el material, mas no porque no existía en stock. Esta consideración se realiza considerando que no existen registros sobre demanda insatisfecha.
- Es un supuesto que los datos registrados en el sistema son precisos y se han registrado en la fecha que efectivamente fueron requeridos de los almacenes.
- No se dispone a la fecha de la información de los tiempos de reposición para los diferentes artículos de inventario. Para fines de simulación se asumen para todos los artículos iguales y que estos se ajustan a una distribución triangular.



- La demanda del 97% de los artículos de alta movilidad no sigue una distribución normal. La demanda se ajusta a una distribución exponencial.
- Se asume que, una vez llegado al punto de reposición, el responsable del inventario efectuará inmediatamente un pedido, para lo cual, al ser una empresa pública se asume que se cuenta con el contrato correspondiente para el suministro.

#### **4.2.2. *Objetivo de la propuesta metodológica***

Proponer un método para estimar el punto de reposición de artículos de alta movilidad, que pueda llegar a ser automatizado y sistematizado, aplicando la simulación Montecarlo.

#### **4.2.3. *Objeto de la propuesta***

La propuesta considera la aplicación de métodos cuantitativos para la toma de decisiones y la simulación Montecarlo sobre una parte del proceso de gestión de inventarios que conlleva a la determinación de los puntos de reposición de los artículos de inventario.

### **4.3. Responsables de la implementación y control**

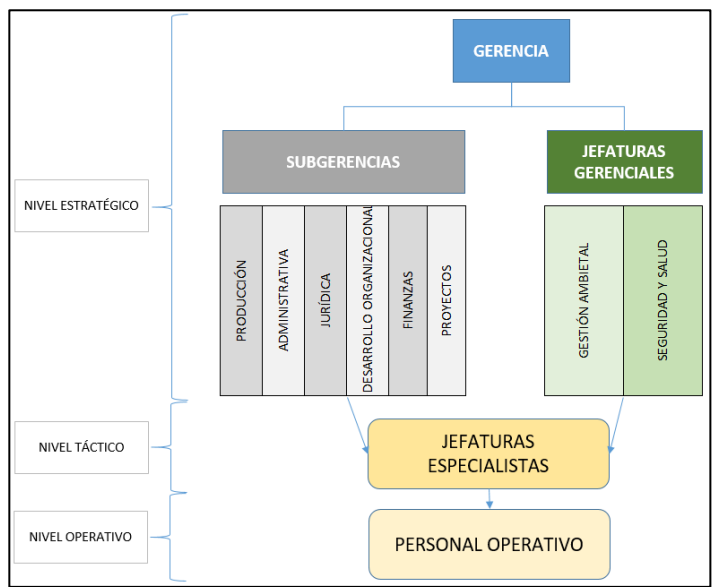
La implementación del sistema pretende generar un cambio en la manera de gestionar el inventario al incorporar información y criterios técnicos en la gestión de inventario. Al referirse a un cambio, de cierta manera esto se pueda entender como un proyecto y en este sentido se proponen responsabilidades asociadas a patrocinador (gestor de recursos para el proyecto), usuario (quien emplea los entregables del proyecto) y director del proyecto (quien lidera la ejecución del proyecto).

Figura 24. En la ilustración consta la estructura de la institución en sus niveles estratégico, táctico y operativo. Es importante indicar las siguientes particularidades:

- Todas las áreas son áreas requirentes de artículos de inventario en mayor o menor medida.
- Los departamentos de inventarios y adquisiciones son parte de la Subgerencia Administrativa.
- Los departamentos de tecnología es parte de la Subgerencia de Gestión Organizacional

La implementación del sistema pretende generar un cambio en la manera de gestionar el inventario al incorporar información y criterios técnicos en la gestión de inventario. Al referirse a un cambio, de cierta manera esto se pueda entender como un proyecto (PMI, 2017) y en este sentido se proponen responsabilidades asociadas a patrocinador (gestor de recursos para el proyecto), usuario (quien emplea los entregables del proyecto) y director del proyecto (quien lidera la ejecución del proyecto).

Figura 24. Esquema de estructura administrativa de la Unidad de Negocio Hidropaute



Nota: Elaboración propia del autor

Las responsabilidades y roles en la implementación asociadas a los diferentes cargos deben ser las siguientes:

**Gerencia**

Valida el alcance de la implementación y resulta como patrocinador del proyecto, siendo su interés incrementar la eficiencia institucional y buen uso de recursos conforme le obligan las Normas de Control Interno de la Contraloría General del Estado Ecuatoriano.

**Subgerencia Administrativa**

Es responsabilidad de la subgerencia asegurar el éxito de la implementación realizando las funciones de director de proyecto durante las etapas de implementación, para lo cual debe apoyarse

en el personal de los departamentos de Inventarios y Adquisiciones que son parte del mismo, asegurando que se utilice la herramienta.

Debe establecer las directrices claras de utilización de la herramienta, así como las responsabilidades de las distintas áreas requirentes responsables por la adquisición de los distintos artículos.

A través del personal de inventarios identificar demandas puntuales que resulten como datos atípicos o aberrantes que distorsionen las estimaciones del punto de reposición.

### **Subgerencia de Gestión Organizacional**

El personal del departamento de tecnología debe analizar y mejorar el desempeño del algoritmo de simulación. Adicionalmente es este departamento quien debe procurar mejorar las condiciones de automatización del sistema.

### **Otras áreas**

Comprender las implicaciones de una buena gestión de inventarios para la empresa, así como el entendimiento general de los métodos establecidos para la gestión de los puntos de reposición. Es importante que las áreas realicen oportunamente las adquisiciones conforme las alertas que genere la herramienta de simulación, caso contrario resultarán inútiles las estimaciones obtenidas.

## **4.4. Fases para su puesta en práctica**

Las fases para la puesta en práctica consideran la implementación de la herramienta de simulación en dos escenarios:

1. Implementación en fase de prueba, conforme la herramienta se encuentra desarrollada.
2. Implementación optimizada, considerando una sistematización con mayor automatismo.

### ***4.4.1. Implementación en fase de prueba***

La herramienta de simulación con su configuración actual puede ser implementada conforme las siguientes etapas:

1. La herramienta de simulación no tiene acceso a leer por si sola las bases de datos registradas en el ERP. Por lo tanto, con una periodicidad mínima de una semana deberán extraerse los registros de las transacciones y saldos de inventario. Esto por parte del personal de inventarios.
2. Establecer los artículos cuyos puntos de reposición se desea simular. Esto se efectúa por una única ocasión.
3. Para cada artículo de inventario determinar los tiempos de reposición pesimista, esperada y optimista. Estos datos deben tener una actualización semestral o cuando se identifiquen cambios en el tiempo de reaprovisionamiento que tienen los artículos.
4. Determinar los puntos de reposición en la herramienta de simulación. Al finalizar este procesamiento se obtendrá el reporte de los puntos de reposición para cada artículo.
5. Inicio del proceso de reaprovisionamiento de los artículos cuyo nivel de inventario es inferior al punto de reposición.

La implementación en fase de prueba permitirá identificar ajustes a los que pudiera estar sujeta la herramienta de simulación previo ser sistematizada en un sistema que tenga lectura automática a la base de datos del ERP o en el ERP mismo.

#### ***4.4.2. Implementación optimizada***

1. Lectura automática de las bases de datos del ERP con una periodicidad determinada.
2. Para cada artículo de inventario determinar los tiempos de reposición pesimista, esperada y optimista. Estos datos deben tener una actualización semestral o cuando se identifiquen cambios en el tiempo de reaprovisionamiento que tienen los artículos.
3. La simulación se efectúa para todos los artículos de inventario en un proceso automático diario.
4. Presentación del reporte con los puntos de reposición.

## 4.5. Indicadores de evaluación

### 4.5.1. Cuantitativos

Se propone considerar los siguientes indicadores:

#### **Disponibilidad del inventario (DI)**

El indicador mide si los artículos de inventario de alta movilidad que son requeridos se encuentran disponibles en los almacenes el momento que son requeridos. Se parte de la consideración de que los artículos son solicitados a los almacenes mediante una solicitud de bodega u orden de trabajo generada por los solicitantes en el ERP. En caso de no existir disponibilidad las líneas de las solicitudes no pueden ser cerradas, quedando en estado pendiente hasta que los materiales en algún momento se encuentren disponibles y puedan ser entregados.

$$DI = \frac{LSI_C}{LSI} \times 100 \quad (9)$$

En donde:

*LSI<sub>C</sub>* = Líneas de solicitud de inventario cerradas en un periodo *n*

*LSI* = Líneas de solicitud de inventario generadas en un periodo *n*

El indicador tiene una interpretación positiva, es decir se busca su incremento.

#### **Tiempo de simulación**

El indicador mide el tiempo que le toma a la herramienta efectuar un proceso de simulación frente a otras opciones del mercado para mismas condiciones de simulación, tal como se indicó en la sección “Evaluación preliminar del desempeño de la herramienta de simulación”.

$$TS = \frac{TS_{HS}}{TS_C} \times 100 \quad (10)$$

En donde:

$TS_{Hc}$  = Tiempo de efectuar un proceso de simulación en la herramienta

$TS_c$  = Tiempo de efectuar un proceso de simulación en una herramienta comercial

El indicador tiene una interpretación negativa, es decir se busca su decremento.

### **Validación de la simulación**

El indicador mide si los valores cuantitativos obtenidos por la herramienta de simulación se asemejan a los obtenidos con herramientas comerciales para los mismos parámetros de simulación.

$$E = \frac{PPC - PHS}{PPC} \times 100$$

En donde:

$E$  = Error porcentual entre el promedio de las simulaciones

$PPC$  = Promedio de las simulaciones generadas en el programa comercial

$PHS$  = Promedio de las simulaciones generadas en la herramienta de simulación

#### **4.5.2. Cualitativos**

Para la propuesta generada se considera que no existen indicadores cualitativos que puedan ser considerados.

## 5. CONCLUSIONES

- En términos económicos y con corte al 31 de diciembre de 2019, se deduce luego de aplicar la clasificación ABC que es el valor de 412 artículos de inventario donde se concentra el 80% del monto económico que mantiene la empresa como inventario corriente. El 20% restante lo acumulan 11618 artículos de inventario.
- Con corte al 31 de diciembre de 2019 la base de datos de artículos de inventario de la UNHP constaba con 14.579 artículos de inventario almacenados. De los artículos almacenados, 10.481 experimentaron algún tipo de movimiento (egreso) desde el 01 de enero de 2012, lo que representa aproximadamente un 29% de artículos congelados.
- Los artículos de alta movilidad representan el 2% de los artículos almacenados, esto es 293 artículos de inventario. En consistencia a este dato y conforme el análisis XYZ, se determinó que en el periodo comprendido entre el 01-01-2012 al 31-12-2019, el 80% de las transacciones (egresos) corresponden a 1032 artículos de inventario. De esta manera se observa que la mayor cantidad de artículos almacenados no son de alta movilidad.
- En base el análisis combinado ABC y XYZ, se concluye que la mayor inversión económica en artículos de inventario se encuentra en artículos de lento o nulo movimiento, es decir en los artículos que no rotan. Por otro lado, los artículos que más rotación experimentan son aquellos a los que corresponde la menor inversión.

Existe un porcentaje del 42% de artículos de inventario que no han tenido movimiento alguno y que son de menor valor económico.

- Para el análisis el universo fue de 14579 artículos de inventario con corte al 31 de diciembre de 2019, de aquí la población tomada fueron los 293 artículos de inventario identificados como de alta movilidad.

Con un margen de confianza del 90% la muestra de la población se determinó en 141 artículos de inventario para el análisis, los cuales fueron seleccionados mediante un proceso aleatorio.

De la muestra determinada, se identifica que la distribución estadística que sigue la demanda del 98% de los artículos no se ajusta a una distribución normal con un nivel de significancia de 0.05. Con relación a esto se determinó que la distribución estadística de los datos de demanda que conforman los artículos de la muestra se ajustan una distribución exponencial.

- Se estableció un modelo matemático indicado en la ecuación (8) el cual puede ser utilizado para determinar el stock de seguridad de artículos de inventario cuya demanda se ajusta a una distribución exponencial.
- Se configuró un proceso de simulación Montecarlo en MS Excel ampliando sus funciones mediante un código en Visual Basic. La simulación consideró modelar la demanda de los diferentes artículos de inventario como una distribución exponencial, mientras los datos que corresponden a tiempos de reposición como una distribución triangular.
- Los resultados de los puntos de reposición obtenidos de simulaciones efectuadas tanto en la herramienta de simulación como en un software libre presentan un error que fluctúa entre el 2% y -6%. Estos errores se ajustan a una distribución normal con  $p=0.5$ .
- En cuanto al tiempo que toma ejecutar el proceso en la herramienta de simulación, se identificó que incrementa linealmente con  $R=0.9997$  conforme incrementa el número de iteraciones de la simulación. En el software libre, el tiempo del proceso de simulación se mantiene constante e indiferente al número de iteraciones que se configuren.
- El monto económico del inventario analizado mediante la metodología ABC, así como la transaccionalidad del inventario (egresos) analizado mediante la metodología XYX y movilidad son variables que permitieron realizar un análisis general del inventario de la Unidad de Negocio Hidropaute.
- Fue factible generar una propuesta metodológica para estimar el punto de reposición de artículos de inventario de alta movilidad en base a la simulación Montecarlo. La metodología puso ser sistematizada para determinar los puntos de reposición de varios artículos de inventario. Como resultado de la simulación se presenta un resumen donde se identifican los artículos de inventario cuyos saldos han alcanzado o superado el punto de reposición, dando una alerta que es requerido iniciar un proceso de reabastecimiento.



## 6. RECOMENDACIONES

- La composición del inventario es diversa en cuanto a valor económico y transaccionalidad de los artículos. Si bien el análisis se enfocó en los artículos de inventario de alta movilidad y que coincidentalmente son de bajo valor, este debería ampliarse al resto de artículos para identificar sus patrones estadísticos y mejores opciones de gestión.
- Existe un alto porcentaje de artículos sin movimiento y diverso valor económico, cuyo stock debe ser evaluado para considerar su eliminación. De identificar artículos que son innecesarios debería ser eliminados conforme la legislación vigente, ya que el mantenerlos genera costos asociados a su gestión y obsolescencia.
- Pueden existir datos atípicos en las transacciones (egresos) de los artículos de inventario y su presencia entre los datos empleados por la herramienta de simulación pueden distorsionar los resultados obtenidos. Se recomienda establecer una metodología para identificarlos y que no sean considerados en el proceso de simulación. Una opción sería que las transacciones que corresponden a datos atípicos sean identificadas en el mismo interfaz del ERP para que en los reportes sean identificados claramente.
- Los procesos manuales realizados en la herramienta de simulación, como son la carga de datos, ejecución de la simulación y presentación de resultados debe ser sistematizado a otro nivel para que su ejecución sea automática. Según la factibilidad de efectuar desarrollos en el ERP los algoritmos pueden servir de base para que sean ejecutados automáticamente.
- Contando con la lógica de operación de la herramienta de simulación, su algoritmo debería ser optimizado para que el tiempo de ejecución del proceso de simulación sea el mínimo posible.
- La metodología permite identificar el punto de reposición de artículos de inventario de alta movilidad. Mediante estudios adicionales, la metodología debería complementarse para que sea determinada la cantidad óptima de compra que debe gestionarse, así como las cantidades de entrega que minimizan los costos de gestión del inventario.

- La Unidad de Negocio Hidropaute es una empresa estatal, sujeta como tal al régimen ecuatoriano de compras públicas. La legislación que debe cumplirse para efectuar un proceso de abastecimiento podría afectar los tiempos de reposición, afectando por este motivo la disponibilidad de materiales. Se recomienda estandarizar los procesos requeridos para realizar una compra, así como establecer escenarios realistas respecto el tiempo de reposición lo cual afectará directamente el stock de seguridad de los artículos de inventario.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., & Martin, K. (2011). *Métodos cuantitativos para los negocios*. México: CENGAGE.
- Arzac, C., Nora, N., & Santori, G. (s/f). *Simulación aplicada a la gestión de stocks*. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- Bernstein, L. (1995). *Análisis de Estados Financieros*. México: Mc Graw Hill.
- Betancourt, D. (16 de 05 de 2018). *Ingenio Empresa*. Obtenido de <https://ingenioempresa.com/sistema-de-revision-continua/>
- Cabrera Méndez, M. (2010). Introducción a las fuentes de información. *Universidad Politécnica de Valencia*.
- Castro Zuluaga, C. A. (2003). Una estructura para la selección de modelos de gestión de inventarios de artículos individuales cuando la demanda es determinística. *Re-creaciones*, 83-93.
- Chackelson, C., & Errasti, A. (2010). Validación de un sistema experto para mejorar la gestión de inventarios mediante estudios de casos. *Universidad de Montevideo*.
- Charles Eaves, A. H. (2002). *Forecasting for the ordering and stock-holding of consumable spare parts*. Lancaster: Lancaster University.
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). *Administración de operaciones*. México: McGraw Hill.
- Cruz, A. (2017). *Gestión de inventarios*. Málaga: IC Editorial.
- Cujia Benitez, A., Guzmán González, C., & Guillen Oñate, K. (S/F). Comparación de histogramas con número de intervalos de clases generados con Sturges, Scott y Freedman-Diaconis. *Revista Colombiana de Estadística*.

- Doménech i Massons, J. M. (1994). *Herramientas para un laboratorio de estadística fundamentado en técnicas Montecarlo*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Durán, Y. (2012). Administración del inventario: elemento clave para la optimización de las utilidades de la empresa. *Visión Gerencial*, 55-78.
- Española, R. A. (27 de 05 de 2019). *Diccionario de la Real Academia Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/?id=EsuT8Fg>
- Faulín , J., & Juan, A. (S/F). Simulación Montecarlo con Excel. *UOC*.
- Faulín, J., & Angel, J. (s/f). Simulación de Montecarlo con Excel. *Proyecto e-Math*.
- Fedkovych, Y., & Kotsjubynskyi str. (2015). A literature review on models of inventory managment under uncertainty. *Mykolas Romeris University*, 26-35.
- Figueredo Garzón, C. A. (2008). *Administración de inventarios*. UNAD.
- Gonzalez Rodriguez, J. E. (2018). *El modelo de larga duración Exponencial-Poisson*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gutierrez, V., & Rodriguez, L. F. (2008). Diagnóstico regional de gestión de inventarios en la insdustria de producción y distribución de bienes. *Revista de la Facultad de Ingeniería de Antioquia*, 157-171.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones*. México: McGraw-Hill.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. México: Mc Graw Hill.
- Hu, Q., Boylan, J., & Huijin, C. (2017). *OR in spare parts management: A review*. China: ELSEVIER.
- Izar, J. M., & Mendez, H. (2013). Estudio comparativo de 6 modelos de inventario para decidir la cantidad y punto de reorden de un artículo.

- Mallo, P., Artola, M., García, M., Martínez, D., & Galante, M. (s/f). La distribución triangular y los números borrosos triangulares. *Facultad de Ciencias Económicas y Sociales - Universidad Nacional de Mar del Plata*.
- Maroto, A., Riu, J., & Ruiz, X. (s/f). Incertidumbre y precisión. *IEA*.
- Mathur, K., & Solow, D. (2016). *Investigación de operaciones: El arte de la toma de decisiones*. Pearson.
- Michelle Scala, N. (2011). Spare parts management for nuclear power generation facilities. *University of Pittsburgh*.
- Mongin, P. (2016). *Spurious unanimity and the Pareto principle*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Montenegro López, R. (2011). Diseño e implementación de un sistema de inventarios, aplicando simulación Montecarlo, en una empresa de servicios petroleros. *Escuela Politécnica Nacional del Ecuador*.
- Moore, J., & Weatherford, L. (s/f). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. California: Pearson.
- Mora Gutierrez, A. (2007). *Pronósticos de demanda e inventarios*. Medellín: AMG.
- Mora Gutierrez, A. (2014). *Stock Cero*. Antioquia: CIMPRO S.A.S.
- Morales Vallejo, P. (2011). Tamaño necesario de la muestra: ¿Cuántos sujetos necesitamos? *Estadística Aplicada a las Ciencias Sociales*.
- Moyano Fuentes, J., & Bruque Cámara, S. (2001). *Administración de empresas y organización de la producción*. Linares: Universidad de Jaen.
- Muller, M. (2019). *Essentials of Inventory Management*. Estados Unidos: Harper Collins.
- Parada Gutierrez, Ó. (2009). Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios. *Competitividad, eficiencia y calidad en la gestión empresarial*, 169-187.

- Peña, O., & Silva, R. (2016). Factores incidentes sobre la gestión de sistemas de inventario en organizaciones venezolanas. *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 187 - 207.
- PMI. (2017). *Guía de lo FUNDAMENTOS PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS*. Pensilvania.
- Ponsot, E. (2008). El estudio de inventarios en la cadena de suministros: Una mirada desde el subdesarrollo. *FACES*, 82-94.
- Ramirez Barrera, V. A., & Ramirez Nieves, A. (2010). Aplicación de simulación montecarlo en un sistema de inventarios dinámico. *Administración y organizaciones*.
- Romero, M. (2016). Prueba de bondad de ajuste a una distribución normal. *Enfermería del Trabajo*, 105-114.
- Romero, M., & Escalona, Y. (2010). Tecnologías de información en la toma de decisiones operativas en empresas petroleras del estado Zulia. *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 12(3), 323-341.
- Ruiz Muñoz, D. (2004). *Manual de estadística*. n/d: eumed.net.
- Sanchez, M. (2017). *Estudio de los factores que inciden sobre la gestión de inventarios en las PYMES mediante el uso de lógica difusa y simulación Montecarlo*. Guayaquil: Facultad de Ingeniería, Universidad de Guayaquil.
- Sevgen, A., & Sargut, Z. (2019). May reorder point help under disruptions? *ELSEVIER*.
- Slater, P. (2010). *Smart Inventory Solutions*. New York: Industrial Press Inc.
- Sobol, I. M. (1983). *Método de Montecarlo*. Moscú: MIR.

## 8. ANEXOS

*Anexo 1. Artículos de inventario seleccionados como muestra*

<b>No.</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
2	01.001.0021	CEMENTO DE CONTACTO GRANDE 1/4 GAL
8	01.001.0793	PLASTICOLA
13	01.001.1029	CERRADURA DE POMO PARA PUERTA
18	01.001.1071	NUDO UNIVERSAL DE 3/4 IPS
19	01.001.1116	NEPLO CON CINTURA IPS DE 3/4"
21	01.001.1221	LACA SELLADOR CATALIZADA
22	01.001.1222	LACA CATALIZADA AL ACIDO ACABADO BRILLANTE
25	01.001.1401	RODILLO PARA PINTAR DE 4"
27	01.002.0065	BOQUILLA DE LOZA
28	01.002.0089	ROLLO DE CINTA AISLANTE
29	01.002.0119	FOTOCELULA
33	01.002.0841	TOMACORRIENTE POLARIZADO DOBLE SOBREPUESTO
34	01.002.0902	TARRO DE SILICONE RTV-21R OMYA
35	01.002.1060	TOMACORRIENTE POLARIZADO
36	01.002.1066	SUPRESOR DE PICOS
40	01.002.1456	ENCHUFE POLARIZADO

43	01.002.1904	ALCOHOL INDUSTRIAL
44	01.002.1905	DESENGRASANTE DEGREASOL
50	01.002.2084	SCOTCH BRITE 96
55	01.002.2264	TERMINAL TIPO U PARA CABLE # 14-16 AWG
56	01.002.2464	FOCO DE SODIO 150W 220V BOQUILLA E-40
57	01.002.2554	JUEGO DE BALASTRO IGNITOR Y CONDENSADOR PARA LÁMPARA DE SODIO 150W. 220V
58	01.002.2927	FOCO LED DE 10 W 120 - 230 V E-27
60	01.002.3402	FOCO FLUORESCENTE (ESPIRAL) 20W 120V E27 LUZ DE DIA
63	01.003.0282	BROCHA DE 1"
64	01.003.0288	CANDADO DE 30 MM.
65	01.003.0291	CEPILLO DE ACERO
66	01.003.0300	DISCO DE PULIR DE 1/4 X 7 X 7/8
67	01.003.0329	GRASA SKF LGMT
69	01.003.0341	PLIEGO DE LIJA # 120
70	01.003.0342	PLIEGO DE LIJA # 150
71	01.003.0343	PLIEGO DE LIJA # 180
73	01.003.0345	PLIEGO DE LIJA # 280
74	01.003.0346	PLIEGO DE LIJA # 320



75	01.003.0347	PLIEGO DE LIJA # 400
76	01.003.0348	PLIEGO DE LIJA # 500
77	01.003.0349	PLIEGO DE LIJA PARA HIERRO # 80
78	01.003.0458	ROLLO DE PIOLA DE NYLON
80	01.003.0551	TACO FISHER # 6
81	01.003.0552	TACO FISHER # 10
82	01.003.0573	ROLLO DE TEFLON
83	01.003.0593	TUERCA HEXAGONAL AC M 4 X 0.7, RD
85	01.003.0682	BROCA CILINDRICA HSS DE 4,5 MM.
87	01.003.0709	DISOLVENTE
88	01.003.0834	CEPILLO DE BRONCE
90	01.003.0876	PLIEGO DE LIJA # 80
91	01.003.1366	DISCO DE CORTE DE 1/8 X 7 X 7/8
93	01.003.1752	TACO FISHER M10 X 95.
96	01.003.2271	TARRO DE REVELADOR SKD S2
97	01.003.2284	CUERDA (CABO) DE NYLON DE 3/8
98	01.003.2310	CANDADO DE 50 MM
106	01.003.2504	PINTURA ESMALTE EN AEROSOL COLOR ROJO

108	01.003.2789	ARANDELA PLANA AI A 8
109	01.003.2813	BROCHA DE 2"
110	01.003.2871	SELLAROSCA IPS
111	01.003.2882	PINTURA ESMALTE COLOR AZUL ESPAÑOL
112	01.003.2906	CORREA PLASTICA 300 MM
113	01.003.2946	BROCHA DE 3"
114	01.003.2961	TARRO DE ACEITE PENETRANTE
115	01.003.3006	BROCHA DE 2 1/2"
117	01.003.3037	BROCA CILINDRICA HSS DE 4MM
118	01.003.3038	BROCA CILINDRICA HSS DE 5 MM
119	01.003.3068	PLIEGO DE LIJA PARA HIERRO # 60
120	01.003.3159	ARANDELA PLANA AI A 12
121	01.003.3227	TUERCA HEXAGONAL AI M 8 X 1.25, RD
122	01.003.3272	DISCO DE PULIR DE 1/4" X 4 1/2" X 7/8"
123	01.003.3296	ARANDELA DE PRESION AI A 6
124	01.003.3371	TUERCA HEXAGONAL AI M 6 X 1, RD
125	01.003.3683	PINTURA ESMALTE COLOR GRIS
126	01.003.3684	PINTURA ESMALTE COLOR NEGRO

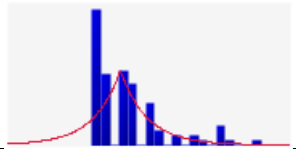
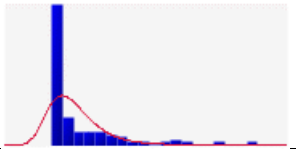
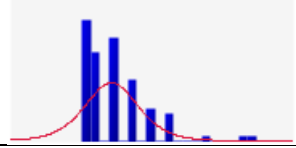
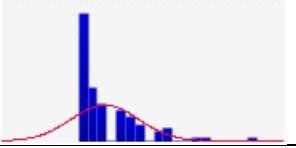
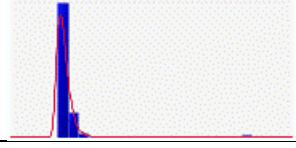
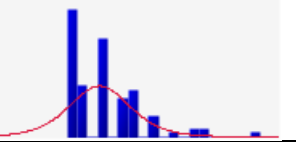
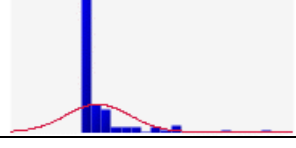
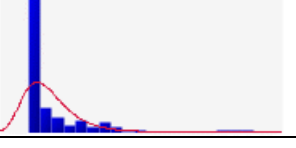
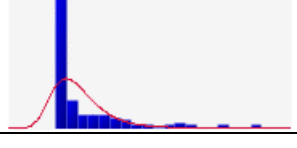
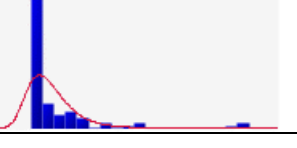
132	01.003.4496	PINTURA LATEX COLOR BLANCO HUESO
134	01.004.0118	TARRO DE LIMPIA CONTACTOS OMYA ECT-39
135	01.099.0121	TUERCA HEXAGONAL AC M10 X 1.5, RD
138	01.099.0891	PANTALON IMPERMEABLE
139	01.099.0892	BOTA DE CAUCHO LLANERA
140	01.099.0900	BROCHA DE 1/2"
141	01.099.1163	TAPONES AUDITIVOS CON CORDON Y CAJA
142	01.099.1164	TELA PAÑAL
149	01.099.1349	MASCARILLA PARA VAPORES ACIDOS
151	01.099.1500	MASCARILLA PARA HUMOS DE SOLDADURA
152	01.099.1501	MASCARILLA PARA POLVOS
155	01.099.1555	ESCOBA DE NYLON CERDAS SUAVES
156	01.099.1581	PANTALLA DE PROTECCION FACIAL
163	01.099.1863	DETER
164	01.099.1868	MASCARILLA MEDIO ROSTRO
165	01.099.1869	FILTRO PARA MASCARILLA TIPO CARTUCHO QUIMICO (ROSCADO)
166	01.099.1878	BOTA DE CAUCHO CON PUNTERA DE ACERO
170	02.002.0471	CABEZAL DE NYLON PARA DESBROZADORA MARUYAMA

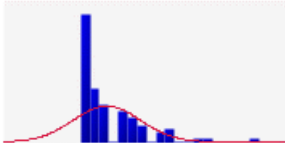
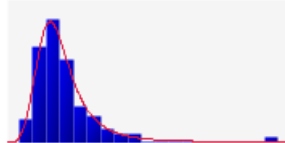
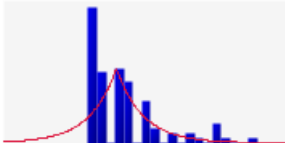
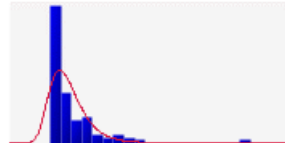
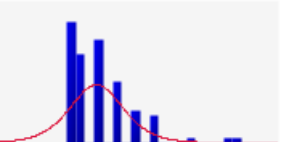
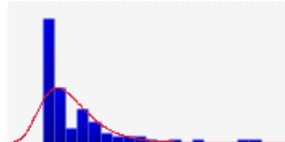

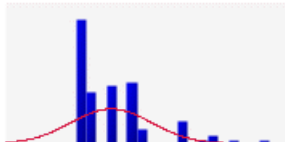
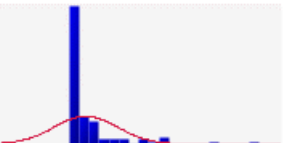
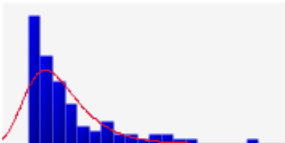
171	03.002.0103	PERNO GUIA
174	03.002.0341	FRASCO DE ADITIVO LIMPIA INYECTORES DIESEL
180	03.002.0691	ACEITE MULTIUSO WD-40
183	03.002.0748	FOCO HALOGENO H7
187	03.002.0995	BUJE DE LAS OREJAS DE LOS PAQUETES PARA D MAX
188	03.002.1009	AMORTIGUADOR POSTERIOR PARA D MAX 4 X 4 C/D
190	03.002.1028	CAUCHO DE LOS PAQUETES PARA D MAX
193	03.002.1043	FILTRO DE ACEITE PARA VITARA 1.6
194	03.002.1045	FILTRO DE AIRE PARA D MAX DIESEL
195	03.002.1048	FILTRO DE AIRE PARA VITARA 1.6
196	03.002.1050	FILTRO DE COMBUSTIBLE PARA D MAX 4 X 4 DIESEL
197	03.002.1056	FILTRO RACOR PARA D MAX DIESEL
200	03.002.1091	JUEGO DE PASTILLAS DE FRENO PARA D MAX 4 X 4
202	03.002.1233	PROTECTOR DE SILICON PARA VEHICULOS
209	07.001.0012	BORRADORES PELIKAN BLANCO
210	07.001.0013	CAJA DE GRAPAS 26/6
216	07.001.0027	CAJA DE CLIPS PEQUEÑOS
217	07.001.0029	CORRECTORES

218	07.001.0031	CUADERNO PEQUEÑO 100H CUADROS
219	07.001.0038	ESFERO AZUL
222	07.001.0042	GOMA EN BARRA
226	07.001.0063	MARCADOR PARA PIZARRA ROJO
231	07.001.0069	MARCADOR PERMANENTE ROJO
234	07.001.0076	RESMA DE PAPEL A4 75GR X 500
235	07.001.0081	PERFORADORA
237	07.001.0086	PORTAMINA 0.5
239	07.001.0092	RESALTADOR VERDE
240	07.001.0093	RESALTADOR AMARILLO
241	07.001.0095	RESALTADOR ROSADO
242	07.001.0098	SACAGRAPAS
243	07.001.0102	PAQUETE DE SEPARADORES PLASTICOS DE COLORES
245	07.001.0121	PAQUETE DE BANDERITAS
248	07.001.0177	CARPETA PLASTICA DOS ANILLOS TAMAÑO OFICIO
249	07.001.0192	ARCHIVADOR TAMAÑO TELEGRAMA
251	07.001.0311	ENGRAPADORA
258	07.001.0497	CUCHILLA PEQUEÑA

262	50.001.0058	RANITIDINA 50MG/2ML. AMPOLLAS
265	50.001.0099	EQUIPO DE VENOCISIS
267	50.001.0116	JERINGUILLAS DE 3CC. UNIDADES
268	50.001.0138	VENDA DE GASA 3"
269	50.001.0139	VENDA DE GASA 4"
270	50.001.0146	VENDA ELÁSTICA 4"
271	50.001.0147	VENDA ELÁSTICA 6"
272	50.001.0195	ALBENDAZOL 400MG. TABLETAS
273	50.001.0208	CIPROFLOXACINO 500MG. COMPRIMIDOS
276	50.001.0264	ENZIMAS DIGESTIVAS CAPSULAS
277	50.001.0267	GENTAMICINA/ BETAMETASONA (FOSFATO DISODICO) GOTAS OFTALMICAS
282	50.001.0323	AMOXICILINA + ACIDO CLAVULANICO 250+60.5 SUSP. FRASCO 120ML.
286	50.001.0432	BETAHISTINA 24MG. TABLETAS
287	50.001.0442	PROTECTOR SOLAR FPS 50 TUBO
290	50.001.0463	DICLOFENACO FRASCO SPRAY
291	50.001.0678	CEFADROXILO 500MG. COMPRIMIDOS
293	50.001.0729	CITRATO+CLORURO+POTASIO+SODIO. (SUERO ORAL) FRASCO.

Anexo 2. Histogramas generados por @Risk para identificar el patrón de ajuste a una distribución normal

CÓDIGO	ARTÍCULO	GRÁFICO	CÓDIGO	ARTÍCULO	GRÁFICO
01.001.0021	CEMENTO DE CONTACTO GRANDE 1/4 GAL		01.002.0119	FOTOCELULA	
01.001.0793	PLASTICOLA		01.002.0841	TOMACORRIENTE POLARIZADO DOBLE SOBREPUESTO	
01.001.1029	CERRADURA DE POMO PARA PUERTA		01.002.0902	TARRO DE SILICONE RTV-21R OMYA	
01.001.1071	NUDO UNIVERSAL DE 3/4 IPS		01.002.1060	TOMACORRIENTE POLARIZADO	
01.001.1116	NEPLO CON CINTURA IPS DE 3/4"		01.002.1066	SUPRESOR DE PICOS	

CÓDIGO	ARTÍCULO	GRÁFICO	CÓDIGO	ARTÍCULO	GRÁFICO
01.001.1221	LACA SELLADOR CATALIZADA		01.002.1456	ENCHUFE POLARIZADO	
01.001.1222	LACA BRILLANTE CATALIZADA		01.002.1904	ALCOHOL INDUSTRIAL	
01.001.1401	RODILLO PARA PINTAR DE 4"		01.002.1905	DESENGRASANTE DEGREASOL	
01.002.0065	BOQUILLA DE LOZA		01.002.2084	SCOTCH BRITE 96	
01.002.0089	ROLLO DE CINTA AISLANTE		01.002.2264	TERMINAL TIPO U PARA CABLE # 14-16 AWG	



Anexo 3. Diagrama de actividades realizadas por la herramienta de simulación

