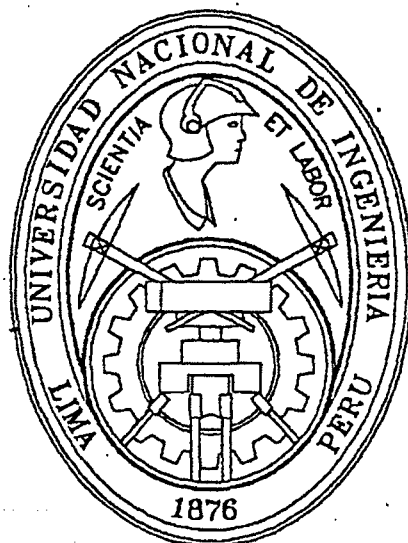


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS

SECCIÓN DE POST-GRADO



**SISTEMA DE INVENTARIO PARA ABASTECIMIENTO  
DE MEDICAMENTOS Y SU OPTIMIZACIÓN CON  
REDES NEURONALES ARTIFICIALES  
RECURRENTES APLICADO A UNA ENTIDAD  
PRIVADA DE SALUD**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA DE  
SISTEMAS**

**Abel Rodolfo Zárate Avendaño**

Lima – Perú  
2011

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente tesis a los seres que más quiero en este mundo: Mis hijos Adriana y Fernando, mi esposa Gabriela, mis padres, mi tío Raúl y mis suegros.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por la paciencia y la esperanza que me concede en cada momento de mi vida; y por la certeza de que me extiende la mano siempre, y porque está allí cuando más lo necesito.

A las personas que han contribuido significativamente en mi crecimiento personal y profesional, aún cuando por razones de tiempo y de espacio no pueda enumerar a todos.

A los asesores y la Escuela de Postgrado, por su apoyo constante y por la paciencia que han tenido con mi persona.

## ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE .....	IV
DESCRIPTORES TEMÁTICOS .....	VII
RESUMEN .....	X
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b><u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u></b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u></b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 <u>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u></b> .....	<b>9</b>
<b>1.3 <u>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</u></b> .....	<b>10</b>
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	10
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>1.4 <u>PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS</u></b> .....	<b>11</b>
1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL .....	11
1.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	11
<b>1.5 <u>IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</u></b> .....	<b>12</b>
<b>1.6 <u>DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</u></b> .....	<b>15</b>
1.6.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL .....	15

1.6.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL .....	15
-----------------------------------	----

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....** 16

#### **2.1 MARCO REFERENCIAL .....** 16

2.1.1 SISTEMA DE INVENTARIOS .....	16
------------------------------------	----

2.1.2 MODELOS ESTADÍSTICOS DE PRONÓSTICO .....	56
--	----

2.1.3 FUNDAMENTOS DE REDES NEURONALES.....	58
--	----

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....** 81

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....** 81

#### **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....** 82

3.2.1 ANÁLISIS DEL PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE MEDICAMENTOS.....	83
--	----

3.2.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE REDES NEURONALES...	83
--	----

3.2.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS ESTADÍSTICOS AJUSTADO A LAS VARIABLES DE COMPRAS.....	83
--	----

3.2.4 COMPARAR LOS RESULTADOS DE PRONÓSTICO DE REDES NEURONALES CON MODELOS ESTADÍSTICOS .....	84
---	----

3.2.5 DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE PRONÓSTICO BASADO EN REDES NEURONALES .....	84
--	----

3.2.6 REDISEÑO DEL PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE MEDICAMENTOS.....	84
--	----

3.2.7 IMPLANTACIÓN DE LA PLATAFORMA DE PRONÓSTICO BASADO EN REDES NEURONALES .....	85
---	----

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS .....** 86

#### **4.1 PRONÓSTICO DE LA VARIABLE DE VENTAS.....** 86

4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE DE PRONÓSTICO.....	86
---	----

4.1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES.....	86
---	----

4.1.3 PRONÓSTICO CON SERIES DE TIEMPO .....	88
4.1.4 PRONÓSTICO CON REGRESIÓN LINEAL .....	91
4.1.5 PRONOSTICO CON UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL .....	94
4.1.6 ENTRENAMIENTO DE LA RNA PODA EXHAUSTIVA.....	97
4.1.7 IMPLEMENTACION DE LOS MODELOS DE PRONÓSTICO PARA LA TOMA DE DECISIONES.....	99
4.1.8 CUADRO COMPARATIVO DE LOS MODELOS DE PRONÓSTICO .....	106
<b><u>4.2 OPTIMIZACIÓN DEL INVENTARIO DE LOS MEDICAMENTOS DE LA CLINICA RICARDO PALMA</u></b> .....	<b>107</b>
4.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN.....	107
4.2.2 ELABORACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	107
4.2.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN .....	110
4.2.4 ANÁLISIS E INTERP. DE LOS RESULT. DE SIMULACIÓN .	116
<b><u>4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS</u></b> .....	<b>118</b>
 <b><u>CAPÍTULO V</u></b>	
<b><u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u></b> .....	<b>121</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	121
5.2 RECOMENDACIONES .....	123
 <b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	<b>125</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>131</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>135</b>

## **DESCRIPTORES TEMÁTICOS**

### **1. ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS**

Es la planificación y control de los inventarios, para cumplir las prioridades competitivas de la organización. La administración eficaz de los inventarios es esencial para realizar el pleno potencial de toda cadena de valor. El inventario se crea cuando el volumen de materiales, partes o bienes terminados que se recibe es mayor que el que se distribuye; el inventario se agota cuando la distribución es mayor que la recepción de materiales, entonces, existen factores que influyen para que se mantenga los inventarios bajos, de igual manera para mantenerlos altos.

### **2. ANÁLISIS ABC DE LOS INVENTARIOS**

es el proceso que consiste en dividir los artículos en tres clases, de acuerdo con el valor de su consumo, de modo que los gerentes puedan concentrar su atención en los que tengan el valor monetario más alto. Este método es el equivalente de crear un gráfico de Pareto, excepto que se aplica a los inventarios en vez de a los errores en los procesos. Para empezar el análisis, se multiplica la tasa de demanda anual de un artículo por el valor monetario (costo) de una unidad para determinar el valor de consumo. Después de clasificar los artículos con base en el valor de consumo y crear el gráfico de Pareto, el analista observa si se presentan cambios “naturales” en la pendiente.

### **3. LOTE ECONÓMICO DE ADQUISICIÓN**

Los gerentes trabajan bajo presiones contradictorias para mantener inventarios suficientemente bajos para evitar costos excesivos por mantenimiento de inventario, pero suficientemente alto para reducir los costos por hacer pedidos y los costos de preparación. Un buen punto de partida para equilibrar esas presiones antagónicas y determinar el mejor nivel del inventario de ciclo para un artículo consiste en calcular el lote económico de adquisición o la cantidad económica de pedido (EOQ, del inglés economic order quantity); es el tamaño de lote que permite minimizar los costos totales anuales por mantenimiento de inventario de ciclo y hacer pedidos.

### **4. POLÍTICAS DE INVENTARIOS**

Deben tener como objetivo elevar al máximo el rendimiento sobre la inversión, satisfaciendo las necesidades del mercado. Deben ser fijadas para cada uno de los diferentes conceptos, como: materias primas y materiales auxiliares de fabricación, producción en proceso, artículos terminados, artículos de compra-venta, etc., porque cada una de estas inversiones de activo presentan condiciones peculiares para su administración, específicas para su compra, consumo, procesamiento, para su custodia, para su venta, etc. Las principales políticas son: Reducir al máximo la inversión de inventarios en días de inversión sin afectar la demanda del mercado (ventas) y al proceso productivo. Obtener el máximo financiamiento (sin costo) a través de proveedores, para la adquisición de inventarios.

Fijar el nivel aceptable de surtido de productos en los pedidos de los clientes.

Mantener las existencias de inventarios en artículos "A" mediante una administración personalizada.

Vigilar la exposición de los inventarios ante la inflación y la devaluación de la moneda.



## 5. REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Una RNA es un conjunto de nodos ordenados adaptables los cuales, a través de un proceso de aprendizaje mediante ejemplos prototipo, almacenan conocimiento de tipo experimental y lo hacen disponible para su uso. Es un ensamble de elementos procesadores simples y adaptables, cuya funcionalidad está burdamente basada en una neurona. El elemento fundamental que dará el comienzo o partida será la neurona artificial; y por último, una red neuronal, juntamente con las interfaces de entrada y salida, mas los módulos convencionales adicionales necesarios darán un sistema general de todo el proceso.

## 6. APRENDIZAJE DE LAS RNA

Es el proceso por el que una RNA actualiza los pesos (y, en algunos casos, la arquitectura) con el propósito de que la red pueda llevar a cabo de forma efectiva una tarea determinada. Hay tres conceptos fundamentales en el aprendizaje:

**Paradigma de aprendizaje:** información de la que dispone la red, **regla de aprendizaje:** principios que gobiernan el aprendizaje y **algoritmo de aprendizaje:** procedimiento numérico de ajuste de los pesos.

Existen dos paradigmas fundamentales de aprendizaje: supervisado y no supervisado.

## 7. REDES NEURONALES RECURRENTES

Las redes neuronales recurrentes son aquellas que tienen uno o más lazos de retroalimentación. La retroalimentación puede ser local, es decir que la neurona se retroalimenta a sí misma, o global, cuando la neurona retroalimenta neuronas de la misma capa o de capas anteriores. Una red recurrente responde temporalmente a una señal de entrada externa. Más aún, la retroalimentación habilita a las redes neuronales recurrentes a tener una representación en espacio de estado, lo cual las hace convenientes para diversas aplicaciones.

## **RESUMEN**

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un modelo analítico de abastecimiento de medicamentos basado en redes neuronales artificiales que optimiza el inventario de los medicamentos del sector privado de salud.

El tipo de investigación es básica, transaccional y descriptiva. Es básica porque se utilizan los modelos y técnicas de redes neuronales artificiales para realizar proyecciones y así optimizar el inventario de los insumos y medicamentos. Es descriptiva y correlacional porque se realizará una descripción de la información obtenida y es transaccional porque se obtiene información una única vez para diseñar e implementar un modelo de abastecimiento que logre reducir la incertidumbre y optimizar los inventarios de medicamentos e insumos.

La unidad de análisis fue el volumen de venta semanal de los medicamentos. La población estuvo conformada por el volumen de venta semanal de los años 2006 al 2010.

Los resultados afirman que el modelo de red neuronal artificial recurrente logra tener mayor precisión en el pronóstico frente a los modelos estadísticos de series de tiempo y regresión lineal. También se concluye que el modelo de optimización de inventario permite planificar las compras de medicamentos de tal forma que se pueda reducir el costo total, esto es debido a que el sistema calcula la cantidad de medicamentos y el punto de reposición a ordenar con un mínimo margen de error.

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de investigación se ha estructurado en cuatro capítulos que se describe a continuación.

En el capítulo uno se presenta el planteamiento del problema que está conformado por descripción del problema, antecedentes de la investigación, formulación del problema, justificación y objetivos de la investigación.

En el capítulo dos se desarrolla el fundamento teórico de la investigación, organizado en tres secciones: sistema de inventarios, modelos estadísticos para el pronóstico y fundamentos de redes neuronales artificiales.

En el capítulo tres se presenta la metodología de investigación considerando: tipo y diseño de investigación. El diseño de investigación está compuesto por siete fases y son: Análisis del proceso de abastecimiento, construcción del modelo de redes neuronales, construcción de los modelos estadísticos, comparación de los resultados, desarrollo de un marco de trabajo, rediseño del proceso e implantación del marco de trabajo.

En el capítulo cuatro se presenta el análisis e interpretación de los resultados organizados en dos partes: pronóstico de la variable de ventas y optimización del inventario de medicamentos.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.1.1 PROCESO DE PLANIFICACIÓN**

Este proceso se ha visto impulsado en gran parte por el perfeccionamiento y madurez de los aplicativos de planificación, porque, al estar integrado a la cadena de suministro, ha creado mejoras importantes en la reducción de costos y aumento de los niveles de servicio.

Sin embargo, Salvador S. (2008) expresa que las herramientas orientadas a la automatización de procesos, como por ejemplo: SAP-APO, Manugistics, i2, Oracle, no disponen de funcionalidades que permitan determinar los parámetros que optimicen los planes de suministro e inventarios. Estos parámetros están establecidos por el planificador sin realizar, en la mayoría de los casos, un análisis de datos y menos con el uso de modelos matemáticos adecuados que le

permitan obtener los valores que determinen un nivel de servicio, tiempo de entrega y costos optimizados.

En consecuencia, se abre pues el campo para el desarrollo de la capacidad analítica que permita responder a las preguntas tales como:

- A. ¿Cuál es la fiabilidad de previsión máxima que puedo esperar, teniendo en cuenta las características de mis productos y mercados?
- B. ¿Cómo conseguirla?
- C. ¿Qué frecuencia de reaprovisionamiento, tamaño de lotes de producción y nivel de inventario optimizarían mis costos de suministro?
- D. ¿Cómo consigo obtener un método de seguimiento periódico ágil, para lograr la optimización de mis productos en cuanto a calidad de previsiones, coberturas de inventarios y tamaño de lotes, para el nivel de servicio objetivo?

El uso óptimo de los recursos, la creciente demanda de una mayor variedad de medicamentos obliga a las entidades de salud a realizar programas de producción más estrictos y flexibles para poder maximizar el uso de los costosos equipos de servicios, mano de obra, inversiones en insumos, de forma que se cubra la necesidades de los requerimientos de cada área, así como de los pacientes, minimizando los costos. Para realizar eficientes programas de pedidos que atiendan la demanda sin incurrir en excesivos costos de capital, es deseable un adecuado manejo de la información de los movimientos

de los medicamentos así como los inventarios y sus ventas externas con el fin de realizar pronósticos con buen nivel de confianza para todos los departamentos o áreas de una entidad de salud.

En efecto, la elección e implementación de un método adecuado de pronóstico del comportamiento para el uso de los medicamentos en las entidades privadas de salud, es un problema latente. Un error significativo en el pronóstico de ventas o compras, podría dejarla sin los medicamentos necesarios para sus servicios, cuyo efecto podría llegar a poner en riesgo la atención y salud del paciente, o podría generarle un inventario demasiado grande. En ambos casos, el pronóstico erróneo disminuye las utilidades en una entidad privada de salud. Las consecuencias anteriormente descritas se ven amplificadas y representan un problema para la Clínica Ricardo Palma en las que, según el Dr. Jack Blanc Fleisman, jefe de Farmacia y la QF. María Aldana Benites, quienes son responsables del planeamiento de pedido de medicamentos e insumos para las diferentes áreas de esta entidad, expresan que se debe realizar semanalmente un pronóstico de pedidos para más de seis centenares de medicamentos o insumos, y que por el momento se hace de una manera muy rudimentaria que provoca serios problemas en dicha institución.

### **1.1.3 ENFOQUE ANALÍTICO**

Debe asegurarse que los parámetros de planificación se mantengan al día en un mundo que constantemente cambia, productos farmacéuticos con ciclos de vida más cortos e inestables y cuya demanda sigue patrones cambiantes.



Las áreas de aplicación inmediata son: la mejora de las previsiones de la demanda y la optimización de inventarios.

#### **1.1.3.1 Mejora de la previsiones de la demanda**

Los principales procesos susceptibles de adaptar un enfoque analítico son:

- A. La optimización de la previsión base: Analizando los efectos de eventos especiales al pasado (promociones, fallos de servicio, lanzamientos, acciones de la competencia, etc.) y las estadísticas basadas en datos históricos y así permitir elegir el mejor método de previsión, algoritmos y parámetros más apropiados.
- B. La creación de la previsión "enriquecida": Descubriendo las variables explicativas del comportamiento promocional, segmentando los productos y mercados y analizando la jerarquía de la demanda para incluir efectos cruzados.
- C. El análisis de la calidad de la previsión: Eligiendo los métodos de medición del error de la previsión más apropiados, que tengan en cuenta la importancia relativa de los diferentes productos farmacéuticos para optimizar recursos.

#### **1.1.3.2 Optimización de Inventarios**

Evalúa y determina las políticas de éstos en función de los objetivos perseguidos para minimizar costos y/o maximizar servicios.

Estas políticas incluyen: inventarios de seguridad, lotes de producción y distribución, origen de productos y tiempos de entrega (lead times), para cada uno de los puntos de almacenamiento.

Para ello se pueden utilizar modelos sencillos que consideran cada almacén de forma aislada o modelos más sofisticados que consideran la red total, conocidos como multiescalón.

Los procesos y herramientas utilizados para la optimización de inventarios son conocidos como analíticos o de optimización, en contraposición a los de automatización, más enfocados en reducir el esfuerzo de la generación del plan de suministro y a trabajar por excepción.

#### **1.1.4 ¿CÓMO PONERLO EN MARCHA?**

Lo primero es comprender cuáles son las necesidades en función de la complejidad a la que se enfrenta la entidad de salud, las mismas que están relacionadas con las siguientes variables:

- A. Complejidad de la red logística: número de niveles o “escalones” de la red, redes nacionales o multinacionales, longitud de las redes y variabilidad de tiempos de entrega (lead times), etc.
- B. Tipología de productos: volumen de productos, productos perecederos, volumen de innovación, costo, etc.
- C. Arquitectura de sistemas y calidad de información disponible.

Cuanto mayor es la complejidad, mayor serán los beneficios potenciales de aplicar el rigor analítico a la planificación de la cadena de suministro, y más sofisticada será la capacidad necesaria. El diseño de esta capacidad se construye en torno a los siguientes ejes habituales de organización, procesos y sistemas:

En cuanto a Organización habrá una elección entre:

- A. Organización central que reúna a personas con elevados conocimientos estadísticos y que dará servicio de análisis a otros departamentos como Marketing, Planificación Financiera, Ventas, etc. Esta estructura facilita el desarrollo de las personas con un perfil muy específico, haciendo posible el facilitar un plan de carrera más atractivo.
- B. Organizaciones localizadas en cada departamento o función. En este caso, deberá estar alineada con la organización de planificación y su división de responsabilidad central con la responsabilidad local.

#### **1.1.5 NIVEL DE PROCESOS Y PUNTOS CRÍTICOS**

Se integrará los procesos de análisis con los procesos existentes de planificación y toma de decisiones, definiendo el tipo de información, la frecuencia de análisis y la revisión, de tal manera que la integración se convierta en algo natural dentro de los ciclos de planificación.

Según el área de sistemas, hay tres puntos críticos:

- A. La elección del aplicativo, que, puede variar entre un modelo en Excel, potentes paquetes estadísticos o aplicativos analíticos específicos para la optimización de la cadena de suministro, o desarrollar alguno de acuerdo a las necesidad y realidad de la entidad de salud.
- B. La seguridad de la calidad y disponibilidad de la información necesaria.
- C. La integración con las aplicaciones de planificación con los sistemas operacionales.

### **1.1.6 PRONÓSTICO DE COMPRAS**

Es una técnica que permite calcular las proyecciones del comportamiento futuro de una compra de una manera rápida y confiable, utilizando como fuentes de datos, las transacciones de inventarios o la facturación de ventas realizadas. También permite estimar la demanda hacia el futuro, basándose en información histórica generada por el movimiento de productos del módulo de Control de Inventarios o por las ventas del módulo de Facturación. Las técnicas generalmente aceptadas para la elaboración de pronósticos se dividen en cinco categorías: juicio ejecutivo, encuestas, análisis de series de tiempo, análisis de regresión y pruebas de mercado. La elección del método o métodos dependerá de los costos involucrados, del propósito del pronóstico, de la confiabilidad y consistencia de los datos históricos, del tiempo disponible para hacer el pronóstico, del tipo de insumo o medicamento, de las características del mercado, de la disponibilidad de la información necesaria y de la pericia de los encargados de hacer el pronóstico. Lo usual es que las empresas combinen varias técnicas de pronóstico.

### **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Lo que se pretende en el presente trabajo de investigación es diseñar e implementar un modelo de gestión de abastecimiento con un enfoque de análisis, en particular con redes neuronales artificiales recurrentes y técnicas estadísticas, con el objetivo de determinar la técnica que se ajusta con un menor error al comportamiento de los movimientos de los

medicamentos, de tal forma que ayuden a reducir los costos totales resultantes de la gestión de inventarios en las diferentes áreas o almacenes de la Clínica Ricardo Palma, y justifiquen así su mayor complejidad de aplicación.

Por lo expuesto, se formulará la siguiente interrogante:

### **1.2.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Cómo, un sistema de inventario para abastecimiento de medicamentos, es optimizado utilizando redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud?

### **1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cómo los costos de adquisición para abastecimiento de medicamentos, son optimizados utilizando redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud?
- ¿Cómo los costos de almacenamiento para abastecimiento de medicamentos, son optimizados usando redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud?
- ¿Cómo los costos de escasez para abastecimiento de medicamentos, son optimizados utilizando redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud?

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar e implementar un sistema de inventario para abastecimiento de medicamentos optimizado con redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los costos de adquisición para abastecimiento de medicamentos optimizado con redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud.
- Analizar los costos de almacenamiento para abastecimiento de medicamentos optimizado con redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud.
- Analizar los costos de escasez para abastecimiento de medicamentos optimizado con redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud.

## **1.4 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS**

### **1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL**

La implementación del sistema de inventario para abastecimiento de medicamentos en una entidad privada de salud logrará su optimización, aplicando redes neuronales artificiales recurrentes.

### **1.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- Los costos de adquisición para abastecimiento de medicamentos en una entidad privada de salud lograrán su optimización, aplicando redes neuronales artificiales recurrentes.
- Los costos de almacenamiento para abastecimiento de medicamentos en una entidad privada de salud lograrán su optimización, aplicando redes neuronales artificiales recurrentes.

- Los costos de escasez para abastecimiento de medicamentos en una entidad privada de salud lograrán su optimización, aplicando redes neuronales artificiales recurrentes.

### **1.5 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La elección e implementación de un método adecuado de pronósticos siempre ha sido un tema de gran importancia para las empresas y en particular para las entidades privadas de salud. Se utilizan los pronósticos en el área de compras, marketing, ventas, etc. Un error significativo en el pronóstico de pedidos y/o compra podría dejar a una clínica sin los medicamentos necesarios para realizar sus servicios, o podría generarle un inventario demasiado grande. En ambos casos, el pronóstico erróneo generará costos elevados y disminuirá sus utilidades. Las consecuencias anteriormente descritas se ven amplificadas y representan un problema grave para las entidades privadas del sector salud, en particular para la Clínica Ricardo Palma.

El pronóstico de ventas o de compras repercute inevitablemente en la optimización de inventarios. El estudio de la gestión y optimización de inventarios es uno de los campos más desarrollados en la investigación de operaciones. A pesar de que el tema de inventarios estocásticos no es un tema nuevo y que tuvo sus inicios en 1958 cuando fue propuesto el primer modelo por Arroz, Karlin y Scar, a través de los años se ha demostrado la importancia de la gestión de inventarios con la evolución de los métodos para optimizar los costos; esta evolución ha ocurrido de acuerdo a las necesidades de las empresas.

Un ejemplo de la gran importancia que representa la gestión de inventarios dentro de las empresas, es el inmenso costo que representó en la década de los setenta a los Estados Unidos, ya que la inversión promedio anual en inventarios fue de 305 billones de dólares, es decir un 18% de Producto Bruto Interno del país. De acuerdo con Balluu (1984) los costos de esta magnitud sugieren que el inventario es un activo que debe ser cuidadosamente manejado, por lo cual, es importante que existan metodologías confiables para tratar los inventarios y dar soluciones óptimas a modelos de inventarios estocásticos o al azar.

Lo anterior nos muestra la situación de la gestión de inventarios en grandes magnitudes pero si nos enfocamos a la situación de una sola empresa, la importancia del manejo de inventarios radica en varios puntos, a continuación se analizarán tres puntos: el primero será la propia definición de los inventarios como "bienes tangibles que se tienen para la venta en el curso ordinario del negocio y ser consumidos en la producción de bienes o servicios para su posterior comercialización" (Cordera Martín, 1990). Durante la gestión de inventarios, las entidades privadas de salud se deben asegurar que no lleguen a una insuficiencia de medicamentos, ya que esto puede llevar a pérdidas debido a la inconformidad del paciente y los empleados, que también se puede traducir en que, la clínica no tenga los medicamentos en el momento que lo soliciten. Se podría decir que sin una buena gestión de inventarios, simplemente no hay buen servicio y con un inventario en exceso, baja liquidez.



El segundo punto en el que radica la importancia de los inventarios para la empresa es la magnitud de los costos que implican dentro de esta, pues representan entre el 15% y el 40% del costo total de logística de la empresa, pero existen casos en los que pueden llegar a elevarse de manera importante, como en el de Canadá en un promedio de 90% del capital, que labora en una típica compañía de Estados Unidos, es invertido en inventarios.

Como tercer punto, el dinero que ahorre la empresa por una buena gestión de inventarios se podría invertir en otra área de la clínica que realmente lo necesite. Lo anterior fue lo que sucedió con la importante compañía en computación Dell, la cual incorporó una reducción importante de precios en la mayor parte de sus productos, esto gracias a la política de inventario que tiene con la que el costo de manejo de su inventario es muy bajo a comparación con sus competidores, lo que le da una flexibilidad en cuanto a los posibles precios que puede ofrecer al público.

Por lo expuesto, se deduce que una entidad privada de salud necesita un sistema de inventario para abastecimiento de medicamentos optimizado con redes neuronales artificiales recurrentes, de tal forma que, el margen de error sea mínimo y las ventajas potenciales que se logrará son: certeza en las órdenes de compra, menor costo total y eliminación de la problemática de contratación y gestión de recursos humanos con habilidades y conocimientos difíciles de encontrar en el mercado laboral.

## **1.6 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL**

La investigación se realizó en la Clínica Ricardo Palma como una entidad Privada de Salud, de la ciudad de Lima, Perú. Se trabajó con una muestra intencional de 10 medicamentos que tienen mayor rotación constante durante los últimos 5 años (2006 - 2010) y de allí se eligió un medicamento para la prueba.

### **1.6.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL**

La propuesta presentada en este proyecto de investigación, se aplicará para un periodo de dos años fiscales (2010 y 2011), o cuando estime conveniente la gerencia de la Clínica Ricardo Palma.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1 MARCO REFERENCIAL**

##### **2.1.1 SISTEMA DE INVENTARIOS**

###### **2.1.1.1 Administración de Inventarios**

Es la planificación y control de los inventarios, para cumplir las prioridades competitivas de la organización, es un motivo importante de preocupación para todos los gerentes de todo tipo de empresa. La administración eficaz de los inventarios es esencial para realizar el pleno potencial de toda cadena de valor.

Para las empresas que operan con márgenes de utilidad relativamente bajos, la mala administración de los inventarios puede perjudicar gravemente sus negocios. El desafío no radica en reducir los inventarios a su mínima expresión para abatir los costos, ni tener inventarios en exceso para satisfacer todas las demandas, sino en

mantener la cantidad adecuada para que la empresa alcance sus prioridades competitivas de la forma más eficiente posibles. Este tipo de eficiencia sólo puede darse si la cantidad correcta de inventario fluye a través de la cadena de valor, que abarca a los proveedores, la empresa, los almacenes o centros de distribución y los clientes.

El inventario se crea cuando el volumen de materiales, partes o bienes terminados que se recibe es mayor que el que se distribuye; el inventario se agota cuando la distribución es mayor que la recepción de materiales, entonces, existen factores que influyen para que se mantenga los inventarios bajos, de igual manera para mantenerlos altos.

#### **2.1.1.1.1 Presiones para mantener inventarios bajos**

La labor del gerente de inventario consiste en equilibrar las ventajas y desventajas tanto de los inventarios altos como bajos y encontrar el justo medio entre los dos niveles. La principal razón para tener inventarios bajos es que el inventario representa una inversión monetaria temporal. Como tal, la empresa incurre en un costo de oportunidad (costo de capital), originado por el dinero que está inmovilizado en el inventario y que podría usarse para otros propósitos. El costo por mantenimiento de inventario (o costo de manejo) es la suma del costo del capital más los costos variables que se pagan por tener artículos a la mano como los costos de almacenamiento y manejo y los impuestos, seguros y mermas.

Generalmente, las compañías expresan el costo por mantenimiento de inventario de un artículo por período, como un porcentaje de su

valor. El costo anual de mantener una unidad en inventario fluctúa normalmente entre 15 y 35% de su valor. Supongamos que el costo por mantenimiento de inventario de una empresa es de 20%. Si el valor promedio del inventario total equivale al 20% de las ventas, el costo promedio anual por mantenimiento de inventario será de 4%  $[0.20 (0.20)]$  del total de las ventas. Este costo es considerable en términos de los márgenes de utilidad bruta, la cual a menudo es inferior a 10%. Así los componentes del costo por mantenimiento de inventario crean presiones para mantener los inventarios bajos, estos son:

#### **A. Costo de Capital**

El costo de capital es el costo de oportunidad de invertir en un activo en relación con el rendimiento esperado de los activos que tienen riesgo similar. El inventario es un activo; en consecuencia se debe usar una medida del costo que refleje adecuadamente el método de la empresa para financiar sus activos. La mayoría de las empresas usan el costo promedio ponderado de capital (WACC, del inglés, wighted average cost of capital), que es el promedio del rendimiento requerido del capital en acciones de la empresa y la tasa de interés sobre su deuda, ponderado por la proporción de capital y deuda en su portafolio. Por lo general, el costo de capital es el componente más grande del costo por mantenimiento de inventario, ya que llega a ser hasta de 15%, dependiendo del portafolio de capitalización particular de la empresa. Típicamente, las compañías actualizan

... el WACC anualmente porque se utiliza para tomar muchas decisiones financieras.

### **B. Costo de Almacenamiento y manejo**

El inventario ocupa espacio y tiene que ser acarreado para entrar o salir del almacén. Los costos de almacenamiento y manejo se generan cuando una empresa alquila espacio, ya sea a corto o largo plazo. También se incurre en un costo cuando la compañía podría usar productivamente el espacio que dedica al almacenamiento para otros propósitos.

### **C. Impuestos, seguros y mermas**

Se pagan más impuestos cuando los inventarios son altos al final del año, y el costo de asegurar los inventarios aumenta también. Las mermas se presentan en 3 formas. La primera, el robo o hurto de inventario por clientes o empleados, que en algunas empresas representa un porcentaje significativo de las ventas. La segunda forma de merma, llamada obsolescencia, se presenta cuando el inventario no puede usarse o venderse a su valor total, a causa de cambios de modelo, modificaciones de ingeniería o descensos inesperados de la demanda. La obsolescencia representa un gasto fuerte en el comercio de ropa al detalle, en el cual se ofrecen con frecuencia descuentos drásticos sobre muchas prendas estacionales al final de la temporada. Por último, el deterioro a causa de la descomposición física o daños en la mercancía da por resultado

una pérdida de valor. Por ejemplo, los alimentos, bebidas y medicamentos pierden valor e incluso puede ser necesario desecharlos cuando su fecha de caducidad ha pasado. Cuando la tasa de deterioro es alta, la acumulación de grandes inventarios suele no ser aconsejable.

$$\text{Costo de Venta} = \text{Inventario Inicial} + \text{Compras} - \text{Inventario Final}$$

#### **2.2.1.1.2 Presiones para mantener inventarios altos**

Las presiones relacionadas con el mantenimiento de inventario son:

##### **A. Servicio al Cliente**

La creación de inventarios puede acelerar las entregas y mejorar la puntualidad en el reparto de mercancías. Los niveles altos de inventario reducen las posibilidades de que se produzcan desabastos y pedidos aplazados, que son dos importantes motivos de preocupación de los vendedores al detalle y mayoristas. Un desabasto se presenta cuando un artículo que normalmente se tiene en inventario no está disponible para satisfacer la demanda en el momento en que ésta se presenta, lo cual se traduce en la pérdida de una venta. Un pedido aplazado es el pedido de un cliente que no es posible atender en la fecha prometida o solicitada, pero que se surte algún tiempo después. Es posible que los clientes estén dispuestos a esperar hasta que pueda atenderse su pedido, pero la próxima vez preferirán buscar a otro proveedor. En algunas ocasiones, los

clientes reciben descuentos como compensación por las molestias que implica dicha espera.

### **B. Costo por hacer pedidos**

Cada vez que una empresa coloca un nuevo pedido, incurre en un costo por hacer pedidos, esto es, el costo de preparar una orden de compra para un proveedor, o una orden de producción en el caso de una fábrica o taller. Cuando se trata de un mismo artículo, el costo por hacer pedidos es el mismo, independientemente del tamaño del pedido: el encargado de compras debe destinar el tiempo necesario a la tarea de decidir la cantidad que solicitará en el pedido y, tal vez, para seleccionar un proveedor y negociar las condiciones de la operación. También se requiere tiempo para preparar la documentación, realizar el seguimiento y recibir la mercancía solicitada. Cuando se trata de una orden de producción para un producto manufacturado, frecuentemente es necesario que dicha orden vaya acompañada de un proyecto general e instrucciones sobre la ruta a seguir. Sin embargo, internet agiliza el proceso de colocar pedidos y reduce los costos respectivos.

### **C. Costo de Preparación**

El costo que implica reajustar una máquina para que fabrique un componente o artículo diferente del que ha fabricado anteriormente se conoce como costo de preparación. Este, incluye la mano de obra y el tiempo requeridos para efectuar las



modificaciones, la limpieza y, a veces, la instalación de nuevas herramientas o equipos. Los costos del material desperdiciado o de las operaciones de rectificación son notablemente más altos al principio de las partidas de producción. El costo de preparación también es independiente del tamaño del pedido, lo cual crea ciertas presiones para fabricar u ordenar una provisión grande de los artículos y mantenerlos en inventario, en lugar de pedir lotes pequeños.

#### **D. Utilización de mano de obra y equipos**

Mediante la creación de más inventario, la gerencia puede incrementar la productividad de la mano de obra y la utilización de las instalaciones en tres formas. Primera, las órdenes de producción más grandes y menos frecuentes reducen el número de preparaciones improductivas, las cuales no aportan valor alguno al producto o servicio. Segunda, al mantener un inventario, se reducen las posibilidades de tener que efectuar reprogramaciones costosas de las órdenes de producción porque los componentes necesarios para elaborar el producto no están disponibles en inventario. Tercera, la existencia de un inventario mejora la utilización de los recursos porque estabiliza la tasa de producción cuando la demanda es cíclica o estacional, la empresa usa el inventario acumulado durante los períodos de poco movimiento para atender la demanda adicional de las temporadas pico, y eso minimiza la necesidad de organizar

turnos de trabajo suplementarios, efectuar más contrataciones y despidos, pagar tiempo extra y adquirir equipo adicional.

#### **E. Costo de Transporte**

Algunas veces el costo de transporte saliente puede reducirse aumentando los niveles de inventario. Tener inventario disponible permite realizar más embarques con cargas completas y minimiza la necesidad de acelerar los embarques utilizando otros medios de transporte más costosos. La colocación hacia delante del inventario también puede reducir el costo del transporte saliente, aun cuando el efecto de centralización de inventarios disminuye y se requiere más inventario. El costo del transporte entrante también puede reducirse creando un inventario mayor. A veces se hacen pedidos de varios tipos de artículos al mismo proveedor. Si esos pedidos se combinan y se hacen al mismo tiempo, es posible obtener tarifas de descuento, lo cual abate los costos de transporte y materias primas.

#### **F. Pagos a proveedores**

Frecuentemente, una compañía puede reducir el total de los pagos que efectúa a sus proveedores si es capaz de soportar niveles de inventario más altos. Suponga que una empresa se ha enterado de que uno de sus proveedores clave está a punto de elevar sus precios. A dicha empresa le resultaría más económico pedir una cantidad mayor que de costumbre (lo cual

sería equivalente a aplazar el incremento de precio), a pesar de que su inventario se incrementara temporalmente. Asimismo, una compañía puede aprovechar los descuentos por cantidad. Un descuento por cantidad, en el cual el precio unitario disminuye cuando el pedido es suficientemente grande, es en realidad un incentivo para ordenar cantidades mayores de mercancía.

### **2.1.1.2 Tipos de Inventarios**

Otro ángulo para estudiar los inventarios es clasificarlos según la forma en que se crearon. En este contexto existen cuatro tipos de inventarios:

- de ciclo
- de seguridad
- de previsión, y
- de tránsito.

Estos no pueden identificarse por sus rasgos físicos; es decir que, al mirar una pila de artículos, el administrador del inventario no distingue cuáles pertenecen a un inventario de ciclo y cuáles a un inventario de tránsito. Sin embargo, en términos conceptuales, cada uno de estos cuatro tipos tiene una gestación enteramente diferente.

#### **2.1.1.2.1 Inventario de ciclo**

La porción del inventario total que varía en forma directamente proporcional al tamaño del lote se conoce como inventario de ciclo. La frecuencia con que deben hacerse los pedidos y la cantidad de

los mismos recibe el nombre de dimensionamiento del lote. En estos casos aplican dos principios:

El tamaño del lote,  $Q$ , varía en forma directamente proporcional al tiempo transcurrido (o ciclo) entre los períodos. Si se hace un pedido cada cinco semanas, el tamaño promedio del lote deberá ser igual a la demanda correspondiente a cinco semanas.

Cuanto más tiempo transcurra entre dos períodos sucesivos de un artículo determinado, tanto mayor tendrá que ser el inventario de ciclo.

Al principio del intervalo, el inventario de ciclo se encuentra en su punto máximo o sea,  $Q$ . Al final del intervalo, inmediatamente antes de la llegada de un nuevo lote, el inventario de ciclo baja a su nivel mínimo, es decir, a 0. El inventario promedio de ciclo es el promedio de esos dos valores extremos:

$$\text{Inventario promedio de ciclo} = \frac{Q+0}{2} = \frac{Q}{2}$$

Esta fórmula es exacta solamente cuando la tasa de demanda es constante y uniforme. Sin embargo incluso cuando las tasas de demanda no son constantes, proporciona una estimación razonablemente satisfactoria. Otros factores, además de la tasa de demanda (por ejemplo, las pérdidas por desperdicio de material), también pueden ocasionar errores en las estimaciones cuando se emplea esta fórmula sencilla.

#### **2.1.1.2.2 Inventario de seguridad**

Para evitar problemas en el servicio al cliente y ahorrarse los costos ocultos de no contar con los componentes necesarios, las compañías mantienen un acopio de seguridad. Ese inventario de seguridad es un excedente de inventario que protege contra la incertidumbre de la demanda, el tiempo de espera y los cambios en el abastecimiento. Los inventarios de seguridad son convenientes cuando los proveedores no entregan la cantidad deseada, en la fecha convenida y con calidad aceptable, o cuando en la manufactura de los artículos se generan cantidades considerables de material de desperdicio o se requieren muchas rectificaciones. El inventario de seguridad garantiza que las operaciones no se interrumpirán cuando se presenten esos problemas, lo cual permitirá que las operaciones subsiguientes se lleven a cabo normalmente.

Para crear un inventario de seguridad, las empresas hacen un pedido para que sea entregado en una fecha anterior a aquella en la cual se necesita habitualmente dicho artículo. Por lo tanto, el pedido de reabastecimiento llega antes de tiempo, lo cual proporciona un “colchón” contra la incertidumbre.

#### **2.1.1.2.3 Inventario de previsión**

El inventario que utilizan las empresas para absorber las irregularidades que se presentan a menudo en las tasas de demanda y oferta se conoce como inventario de previsión. Los

patrones de demanda estacional predecibles se prestan para el uso de inventario de previsión. Las irregularidades en la demanda provocan que un fabricante acumule un inventario de previsión durante los períodos de baja demanda, a fin de no tener que incrementar demasiado sus niveles de producción cuando la demanda alcance sus puntos máximos. El inventario de previsión puede ser útil cuando los proveedores se ven amenazados por una huelga o tienen limitaciones graves de capacidad.

#### **2.1.1.2.4 Inventario de tránsito**

En el sistema de flujo de materiales, el inventario que se mueve de un punto a otro recibe el nombre de inventario de tránsito. Los materiales se mueven de los proveedores a la planta, de una operación a la siguiente dentro de la fábrica, de la planta a un centro de distribución o cliente, y del centro de distribución a un comerciante detallista. El inventario en tránsito está constituido por los pedidos que se han colocado, pero que todavía no se han recibido, por ejemplo NUMMI, la empresa conjunta de General Motors y Toyota en California, usa partes producidas en el Medio Oeste de Estados Unidos. Los embarques llegan diariamente a la planta, pero el tiempo de espera de transporte requería un inventario en tránsito de partes a bordo de carros de ferrocarril recorriendo el trayecto desde el Medio Oeste. El inventario en tránsito entre dos puntos, ya sea para transporte o producción, puede medirse como la demanda promedio durante el tiempo de espera,  $D_L$ , que es la demanda promedio del artículo por período

(d) multiplicada por el número de períodos comprendidos dentro del tiempo de espera del artículo ( $L$ ), para moverse entre los dos puntos, o sea:

$$\text{Inventario de tránsito} = D_L = dL$$

Observe que el tamaño del lote no afecta directamente el nivel promedio del inventario en tránsito. Al incrementarse  $Q$ , el tamaño de cada pedido se incrementa, de modo que si un pedido que ya fue colocado aún no se ha recibido, habrá más inventario en tránsito en ese tiempo de espera. Sin embargo, ese incremento se anula por una disminución proporcional en el número de pedidos colocados por año. No obstante, el tamaño del lote puede afectar indirectamente el inventario en tránsito si al incrementar  $Q$  también aumenta el tiempo de espera. En este caso,  $D_L$ , y por tanto, el inventario en tránsito, se incrementarán.

### **2.1.1.3 Tácticas para reducir inventarios**

Los gerentes siempre están ansiosos por encontrar formas rentables de reducir el inventario. Más adelante se examinarán varias maneras de determinar el tamaño óptimo de un lote. En esta sección se hablará de algo más fundamental: las tácticas básicas (a las que llamaremos palancas) para reducir inventarios. Una palanca primaria es aquella que debe activarse cuando se desea reducir un inventario. Una palanca secundaria es aquella que reduce el costo de penalización que implica aplicar la palanca primaria y; por principio de cuentas, la necesidad de tener el inventario.

### **2.1.1.3.1 Inventario de ciclo**

La palanca primaria para reducir el inventario de ciclo consiste simplemente en reducir el tamaño de lote. Sin embargo, el hecho de efectuar tal reducción en  $Q$ , sin realizar ningún otro cambio, puede ser devastador. Por ejemplo, los costos de preparación pueden dispararse. Si estos cambios ocurren, se pueden utilizar dos palancas secundarias:

Racionalizar los métodos para colocar pedidos y preparar las máquinas a fin de reducir los costos por hacer pedidos y los de preparación, y permitir que  $Q$  sea menor.

Incrementar la repetibilidad para suprimir la necesidad de realizar cambios o alteraciones. La repetibilidad es el grado hasta el cual se puede realizar el mismo trabajo otra vez. La repetibilidad puede incrementarse mediante una alta demanda de producto, el uso de la especialización, la asignación de recursos exclusivos a un producto, el uso de una misma parte en muchos productos diferentes, la automatización flexible, la aplicación de un concepto de un trabajador, múltiples máquinas, o bien, la tecnología de grupo. Un mayor grado de repetibilidad puede justificar el uso de nuevos métodos de preparación, reducir los costos de transporte y lograr que los proveedores otorguen descuentos por cantidad.



### **2.1.1.3.2 Inventario de seguridad**

La palanca primaria para reducir el inventario de seguridad consiste en hacer los pedidos en una fecha más próxima a aquella en la cual deberán recibirse. Sin embargo, es posible que este servicio dé lugar a un servicio inaceptable para el cliente, a menos que la incertidumbre de la demanda, la oferta y la entrega pueda minimizarse. En estas condiciones se puede utilizar cuatro palancas secundarias:

Mejorar los pronósticos de demanda para que haya menos sorpresas en el comportamiento de los clientes. Tal vez, incluso sea posible alentar a éstos a que pidan mercancía antes de que la necesiten.

Abreviar los tiempos de entrega de los artículos comprados o fabricados a fin de reducir la incertidumbre de la demanda. Por ejemplo, siempre que sea posible, habrá que seleccionar proveedores locales que ofrezcan tiempos de entrega cortos.

Reducir la incertidumbre de la oferta. Los proveedores pueden ser más fiables si los planes de producción se comparten con ellos. Las sorpresas a causa de rectificaciones o por desperdicios inesperados pueden ser menos frecuentes si se logra mejorar los procesos de manufactura. El mantenimiento preventivo minimiza los tiempos de inactividad inesperados a causa de fallas del equipo.

Depender más de amortiguadores de equipo y mano de obra, como los “colchones” de capacidad y la capacitación interdisciplinaria de los trabajadores. Estos amortiguadores son importantes para las empresas del sector de servicios, ya que, por lo general, les es imposible mantener inventarios de sus servicios.

#### **2.1.1.3.3 Inventario de previsión**

La palanca primaria para reducir un inventario de previsión consiste simplemente en igualar la tasa de demanda con la tasa de producción. Las palancas secundarias se emplean para emparejar la demanda de los clientes en alguna de las siguientes formas:

Agregar nuevos productos con diferentes ciclos de demanda, de modo que un punto máximo en la demanda de un producto compense el punto bajo estacional de otro.

Organizar campañas de promoción de ventas fuera de temporada.

Ofrecer planes de precios de temporada.

#### **2.1.1.3.4 Inventario de tránsito**

Un gerente de operaciones tiene control directo sobre el tiempo de espera, pero no sobre la tasa de demanda. Debido a que el inventario en tránsito es una función de la demanda durante el tiempo de espera, la palanca primaria consiste en reducir el tiempo de espera. Dos palancas secundarias pueden ayudar a los gerentes en la reducción de los tiempos de entrega:

Buscar proveedores que tengan menor capacidad de respuesta y seleccionar nuevos transportistas para que se hagan cargo de los embarques entre las localidades en que se almacenen los inventarios, o mejorar el manejo de materiales dentro de la planta. La adquisición de un sistema de computadoras podría eliminar los retrasos de la información entre el centro de distribución y el comercio detallista.

Disminuir el valor de Q, por lo menos en los casos en que el tiempo de espera depende del tamaño del lote. Los trabajos pequeños generalmente requieren menos tiempo para llevarse a cabo.

#### **2.1.1.4 Identificación de los elementos críticos del inventario con el análisis ABC**

Una organización típica mantiene miles de artículos en inventario, pero sólo un pequeño porcentaje de ellos merecen la más cuidadosa atención y el mayor grado de control de la gerencia. El análisis ABC es el proceso que consiste en dividir los artículos en tres clases, de acuerdo con el valor de su consumo, de modo que los gerentes puedan concentrar su atención en los que tengan el valor monetario más alto. Este método es el equivalente de crear un gráfico de Pareto, excepto que se aplica a los inventarios en vez de a los errores en los procesos.

Como se observa en la figura 1, los artículos clase A generalmente representan sólo cerca del 20% del total de artículos, pero les corresponde el 80% del valor de consumo. Los artículos clase B representan otro 30% del total, pero les corresponde únicamente el

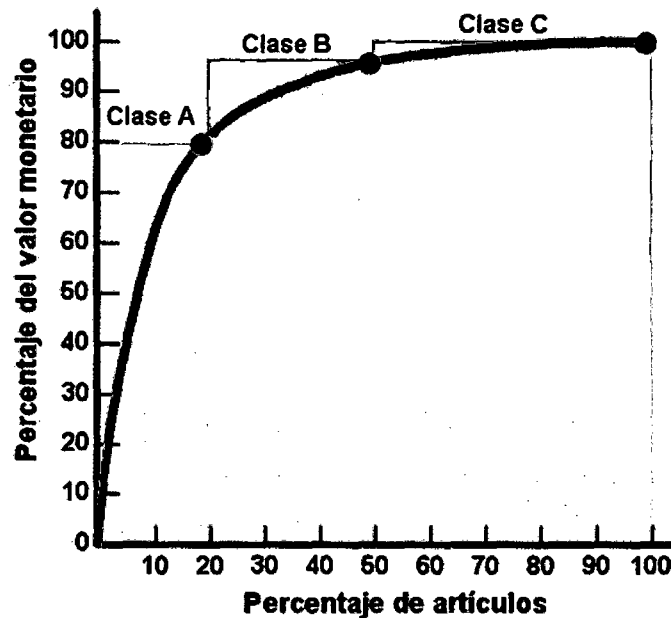
15% del valor de consumo. Por último, el 50% de los artículos pertenecen a la clase C y representan apenas 5% del valor de consumo. El objetivo del análisis ABC es identificar los niveles de inventario de los artículos clase A para que la gerencia los controle cuidadosamente usando las palancas que acaban de describirse.

Para empezar el análisis, se multiplica la tasa de demanda anual de un artículo por el valor monetario (costo) de una unidad para determinar el valor de consumo. Después de clasificar los artículos con base en el valor de consumo y crear el gráfico de Pareto, el analista observa si se presentan cambios “naturales” en la pendiente. Las líneas divisorias que aparecen entre las clases en la figura son inexactas. Los artículos clase A podrían representar más o menos de 20% de todos los artículos, pero normalmente les corresponde la parte mayoritaria del valor de consumo.

Un gerente se asegura de que los artículos clase A sean revisados con frecuencia para reducir el tamaño promedio del lote y mantener actualizados los registros de inventario. En contraste, los artículos clase B requieren un nivel intermedio de control. En el caso de los artículos clase C, es apropiado un control mucho menos estricto. El desabasto de un artículo clase C puede ser tan crucial como el de un artículo clase A, pero el costo por mantenimiento de inventario de los artículos clase C tiende a ser bajo. Estas características indican que se puede tolerar niveles altos de inventario y que un inventario de seguridad más abundante; mayores tamaños de lote y tal vez hasta

un sistema visual, del cual se hablará más adelante, pueden ser suficientes para los artículos clase C.

**FIGURA No 1: Identificación de los elementos críticos**



**FUENTE: Administración de Operaciones (Krajewsky)**

### **2.1.1.5 Lote Económico de Adquisición**

Recuerde que los gerentes trabajan bajo presiones contradictorias para mantener inventarios suficientemente bajos para evitar costos excesivos por mantenimiento de inventario, pero suficientemente alto para reducir los costos por hacer pedidos y los costos de preparación. Un buen punto de partida para equilibrar esas presiones antagónicas y determinar el mejor nivel del inventario de ciclo para un artículo consiste en calcular el lote económico de adquisición o la cantidad económica de pedido (EOQ, del inglés economic order quantity); es decir, el tamaño de lote que permite minimizar los costos totales anuales por mantenimiento de inventario

de ciclo y hacer pedidos. El método para determinar la EOQ se basa en las siguientes suposiciones:

La tasa de demanda del artículo es constante (por ejemplo, siempre es de 10 unidades diarias) y se conoce con certeza.

No existen restricciones para el tamaño de cada lote (por ejemplo, limitaciones de capacidad del camión o para el manejo de materiales).

Los dos únicos costos relevantes son el de mantenimiento de inventario y el costo fijo por lote, tanto de hacer pedidos como de preparación.

Las decisiones referentes a un artículo pueden tomarse independientemente de las decisiones correspondientes a los demás. En otras palabras, no se obtiene ventaja alguna al combinar varios pedidos que vayan dirigidos al mismo proveedor.

El tiempo de espera es constante (por ejemplo, siempre es de 14 días) y se conoce con certeza. La cantidad recibida exactamente la que se pidió y las remesas llegan completas y no en partes.

La cantidad económica de pedido será óptima cuando se satisfacen las cinco suposiciones. En realidad, pocas situaciones son así de simples. Sin embargo, la EOQ constituye a menudo una aproximación razonable del tamaño de lote apropiado, aun cuando una o varias de las suposiciones no sean del todo aplicables. A

continuación se presentan algunos lineamientos sobre cuándo usar o modificar la EOQ.

**No usar la EOQ:**

Si usa la estrategia de “fabricación por pedido” y el cliente especifica que el pedido completo debe entregarse en un solo embarque.

Si el tamaño del pedido está restringido por limitaciones de capacidad, como el tamaño de los hornos de la empresa, la cantidad de equipo de prueba, o el número de camiones de reparto.

**Modificar la EOQ:**

Si se otorgan descuentos considerables por cantidad cuando se ordenan lotes grandes.

Si el reabastecimiento del inventario no es instantáneo, lo que puede ocurrir si los artículos los tienen que usarse o venderse en cuanto se terminan sin esperar a que todo el lote esté completo.

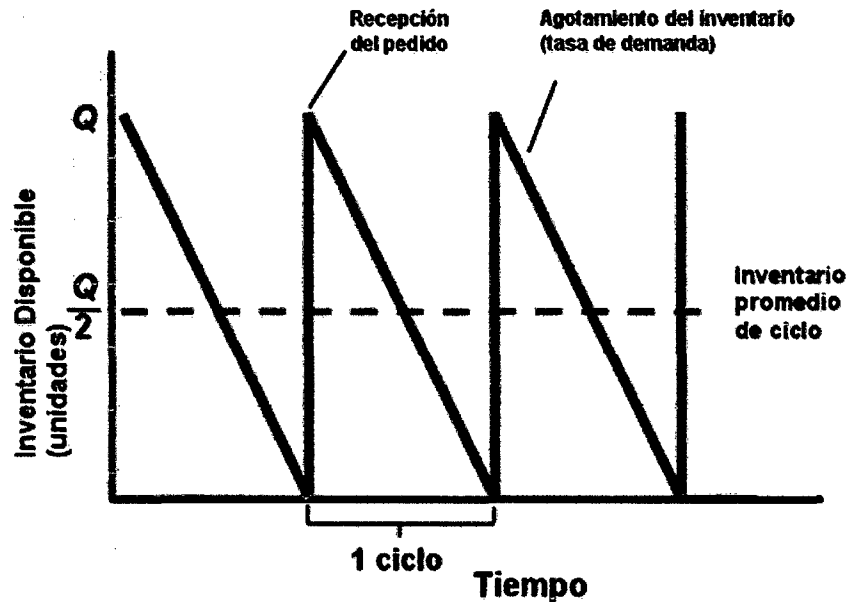
**Usar la EOQ:**

Si sigue una estrategia de “fabricación para mantener en inventario” y el artículo tiene demanda relativamente estable.

Si se conoce los costos por mantenimiento de inventario, preparación o por hacer pedidos, y estos son relativamente estables.

La EOQ nunca ha tenido la intención de ser una herramienta de optimización. No obstante, sí se necesita determinar un tamaño de lote razonable, puede ser útil en muchas situaciones.

**FIGURA No 2: La EOQ**



**FUENTE:** Administración de Operaciones (Krajewsky)

### **CÁLCULO DE LA EOQ**

Para empezar, se formula el costo total correspondiente a cualquier tamaño de lote  $Q$ . A continuación, se obtiene la EOQ, que no es sino el  $Q$  con el cual se minimiza el costo total anual del inventario de ciclo. Finalmente, se describe la forma de convertir la EOQ en una medida complementaria, como el tiempo transcurrido entre pedidos.

Cuando las suposiciones de la EOQ se han satisfecho, el inventario de ciclo se comporta como muestra la figura. Un ciclo comienza con  $Q$  unidades en inventario, lo cual sucede en el momento en que se recibe un nuevo pedido.

Durante el ciclo, se utiliza el inventario disponible a una tasa constante, se puede pedir un nuevo lote calculado que el inventario



se reduzca a 0 precisamente cuando se reciba ese nuevo lote. Puesto que el inventario varía uniformemente entre Q y 0, el inventario de ciclo promedio será igual a la mitad del tamaño del lote Q.

El costo anual por mantenimiento de esta cantidad de inventario, que se incrementa linealmente con Q, como muestra la figura, es el siguiente:

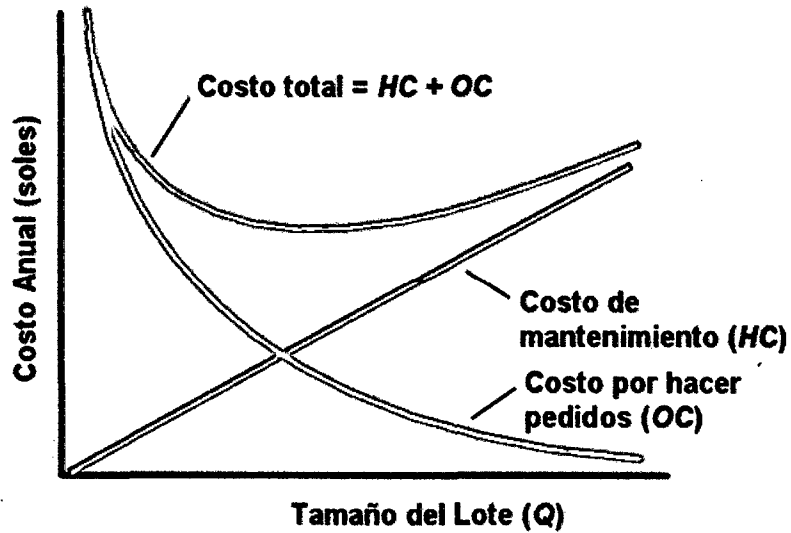
**Costo anual por mantenimiento de inventario = (Inventario de ciclo promedio)(Costo por mantenimiento unitario)**

El costo anual por hacer pedidos es:

$$\text{Costo anual por hacer pedidos} = \left( \frac{\text{Número de pedidos}}{\text{año}} \right) \left( \text{Costo por hacer pedido o de preparación} \right)$$

El número promedio de pedidos por año es igual a la demanda anual dividida entre Q. Por ejemplo, si es necesario pedir 1200 unidades cada año y el tamaño promedio de lote es de 100 unidades se harán 12 pedidos durante el año. El costo anual por hacer pedidos o de preparación disminuye en forma no lineal al aumentar Q, como se muestra en la figura, porque entonces se hacen menos pedidos.

**FIGURA No 3: El costo total anual de inventario de ciclo**



**FUENTE:** Administración de Operaciones (Krajewsky)

El costo total anual de inventario de ciclo, como se muestra en el gráfico de la figura, es la suma de los dos componentes del costo:

**Costo total = Costo anual por mantenimiento de inventario + Costo anual por hacer pedidos o de preparación**

$$\text{Costo total} = \frac{Q}{2} (H) + \frac{D}{Q} (S)$$

Donde:

C = costo total anual del inventario de ciclo

Q = tamaño de lote, en unidades

H = costo de mantener una unidad en inventario durante un año; a menudo se expresa como un porcentaje del valor

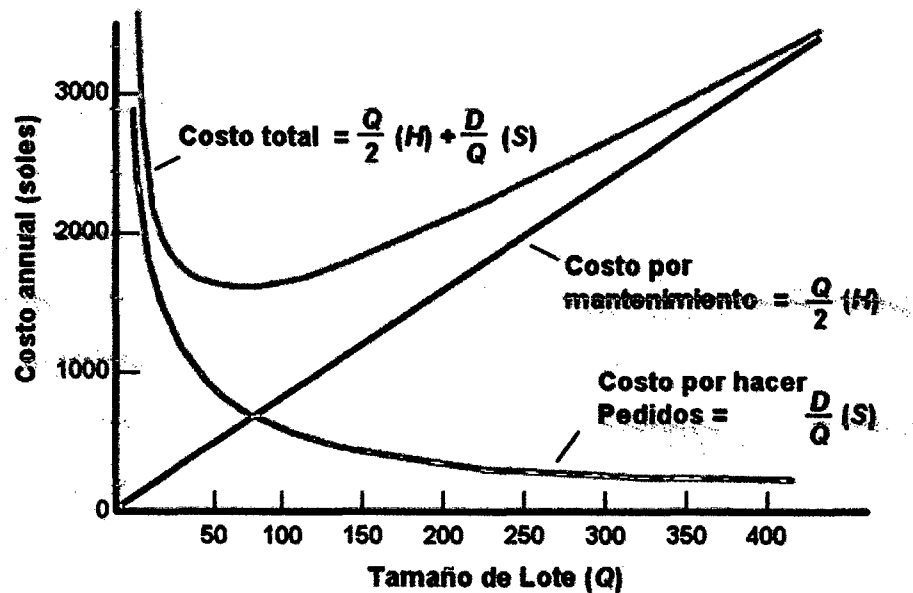
D = demanda anual, en unidades por año

S = costo por hacer pedidos o preparar un lote, dólares por lote

La figura muestra el impacto cuando se usan varios valores de Q, se trazan los gráficos de los costos por mantenimiento de inventarios y

hacer pedidos, pero la suma de ambos (la curva del costo total del inventario de ciclo) es la característica importante, la gráfica muestra que el mejor tamaño del lote, o EOQ, está en el punto más bajo de la curva del costo total anual. Como es lógico una reducción en la política actual sobre el tamaño del lote puede producir ahorros significativos.

**FIGURA No 4:** Costos por mantenimiento de inventarios y hacer pedidos



**FUENTE:** Administración de Operaciones (Krajewsky)

Un enfoque más eficiente es utilizar la siguiente fórmula:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

Las políticas de inventarios se basan a veces en el tiempo transcurrido entre dos pedidos de abastecimiento y no en el número de unidades incluidas en el tamaño del lote, el tiempo entre pedidos (leave time o TBO o time between orders) para una tamaño de lote en particular en el tiempo promedio que transcurre entre la recepción

(o la colocación) entre dos pedidos de reabastecimiento de Q unidades. Expresado como una fracción de año, el TBO es sencillamente Q dividido entre la demanda anual. Si se usa la EOQ y se expresa el tiempo en término de meses, el TBO es:

$$TBO_{EOQ} = \frac{EOQ}{D \left( \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} \right)}$$

Con la política anterior se ahorra en costos por hacer pedido, pero se incurre en un costo mucho mayor de mantenimiento del inventario de ciclo, aunque es fácil entender qué opción es la mejor con base en los costos totales por hacer pedidos y mantenimiento de inventario, otros factores pueden influir en la decisión final. Por ejemplo, si el proveedor rebaja el precio unitario en pedidos grandes, quizá sería mejor ordenar la cantidad mayor.

#### **2.1.1.6 Sistemas de Control de Inventarios**

La EOQ y otros métodos para calcular el tamaño del lote responden esta importante pregunta: ¿qué cantidad se debe pedir? Otra pregunta importante que requiere respuesta es ¿cuándo debe hacerse el pedido? Un sistema de control de inventario responde ambas preguntas. Cuando se selecciona un sistema de control de inventario para una aplicación particular, el carácter de las demandas impuestas sobre los artículos del inventario es un factor crucial. Una diferencia importante entre los tipos de inventarios es si el artículo en cuestión está sujeto a una demanda dependiente o independiente. Los detallistas como JCPenney, y los distribuidores

tienen que manejar artículos de demanda independiente, es decir, aquéllos cuya demanda se ve afectada por las condiciones del mercado y no está relacionada con las decisiones de inventario referentes a ningún otro artículo que se tenga almacenado. El inventario de demanda independiente incluye:

### **Mercancía para Venta al Mayoreo y al Menudeo**

Inventario de apoyo a servicios, como sellos y etiquetas de correo en el caso de oficinas postales, artículos de oficina si se trata de bufetes de abogados, y suministros de laboratorio en las universidades dedicadas a la investigación.

### **Inventarios para la distribución de productos y partes de repuesto**

Suministros para mantenimiento, reparación y operación (MRO); es decir, elementos que no forman parte del producto o servicio final, como uniformes de empleados, combustibles, pinturas y partes de repuestos para la reparación de máquinas.

La administración de un inventario de demanda independiente suele ser complicada porque la demanda está sujeta a la influencia de factores externos. Por ejemplo, la dueña de una librería no puede estar segura de cuántos ejemplares de la novela que es el último éxito editorial comprarán los clientes durante el mes entrante. En consecuencia, tal vez decida mantener en inventario algunos ejemplares adicionales como reserva de seguridad. Es preciso hacer

el pronóstico de la demanda de carácter independiente, como la de los diversos títulos de libros.

Acá se centra en los sistemas de control de inventario para artículos con demanda independiente, es decir, el tipo de demanda que enfrenta tanto la propietaria de la librería como otros comerciantes detallistas, proveedores de servicios y distribuidores. Aun cuando es difícil pronosticar la demanda de un cliente cualquiera, la baja demanda de algunos clientes se compensa a menudo con la alta demanda de otros. Así, la demanda total de cualquier artículo con demanda independiente puede seguir un patrón relativamente uniforme, con algunas fluctuaciones aleatorias. Los artículos de demanda dependiente son los que se requieren como componentes o insumos de un producto o servicio. La demanda dependiente muestra un patrón muy distinto del que corresponde a la demanda independiente y debe administrarse con técnicas diferentes.

#### **2.1.1.7 Sistema de Previsión Continua**

En un sistema de previsión continua (Q), conocido a veces como sistema de punto de reorden (ROP, del inglés reorder point system) o sistema de cantidad de pedido fija, se lleva el control del inventario remanente de un artículo cada vez que se hace un retiro para determinar si ha llegado el momento de hacer un nuevo pedido. En la práctica, estas revisiones se realizan con frecuencia (por ejemplo, todos los días) y muchas veces de modo continuo (después de cada retiro). El advenimiento de las computadoras y las cajas

registradoras electrónicas enlazadas con los registros de inventario ha facilitado las revisiones continuas. En cada revisión se toma una decisión acerca de la posición de inventario del artículo. Si se considera que es demasiado baja, el sistema prepara automáticamente un nuevo pedido. La posición de inventario (**IP**, del inglés inventory position) mide la capacidad del artículo para satisfacer la demanda futura. Esto incluye las recepciones programadas (**SR**, del inglés scheduled receipts), que consisten en los pedidos que ya se hicieron pero que aún no se han recibido, más el inventario disponible (**OH**, del inglés on – hand inventory) menos los pedidos aplazados (**BO**, del inglés backorders). A veces, las recepciones programadas se conocen como pedidos abiertos. Dichos en forma más específica:

**Posición de inventario = Inventario disponible + Recepciones programadas – Pedidos aplazados**

$$IP = OH + SR - BO$$

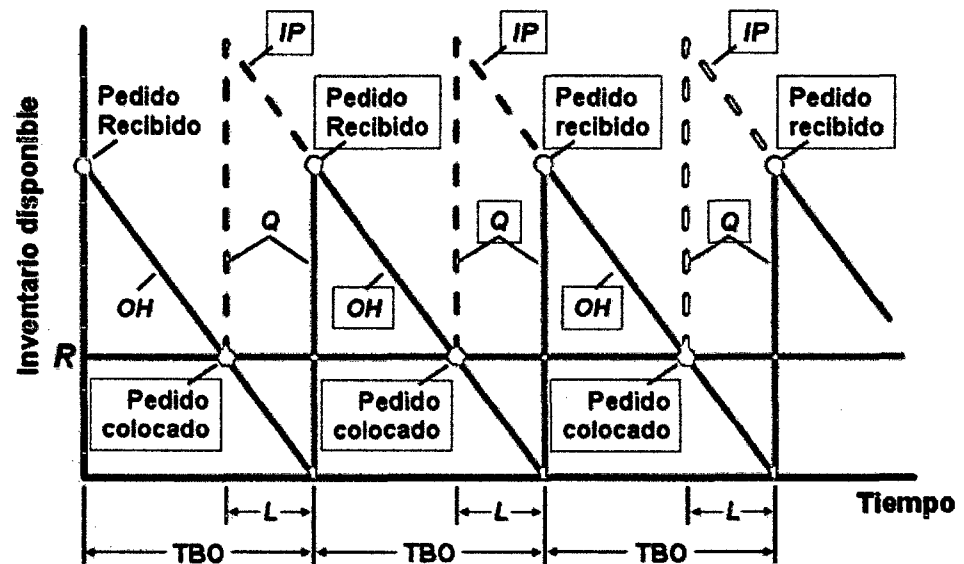
Cuando la posición de inventario llega a un nivel mínimo predeterminado, llamado punto de reorden (**R**), se pide una cantidad fija **Q** del artículo en cuestión. En un sistema de previsión continua, aunque la cantidad de pedido **Q** es fija, el tiempo que transcurre entre los pedidos suele variar. Por lo tanto, **Q** puede basarse en la **EOQ**, en una cantidad de cambio de precio (el tamaño de lote mínimo para poder obtener un descuento por cantidad), en el tamaño del contenedor (como un camión lleno), o en cualquier otra cantidad seleccionada por la gerencia.

La figura ilustra cómo funciona el sistema cuando la demanda y el tiempo de espera son constantes. La línea cuya pendiente es descendente representa el inventario disponible, el cual se va agotando a ritmo constante. Cuando llega al punto de reorden  $R$  (la línea horizontal), se coloca un nuevo pedido por  $Q$  unidades. El inventario disponible continúa disminuyendo durante todo el tiempo de espera,  $L$ , hasta que al fin se recibe el pedido. En ese momento, que marca el final del tiempo de espera, el inventario disponible aumenta en  $Q$  unidades. El nuevo pedido llega precisamente cuando el inventario se reduce a 0. El tiempo entre pedidos (TBO) es el mismo para cada ciclo.

La posición de inventario,  $IP$ , ilustrada en la figura corresponde al inventario disponible, excepto durante el tiempo de espera. Inmediatamente después de hacer un nuevo pedido, al principio del tiempo de espera,  $IP$  se incrementa en  $Q$ , como lo muestra la línea discontinua. La  $IP$  supera al  $OH$  por este mismo margen durante todo el tiempo de espera. Al final del tiempo de espera, cuando la recepción programada se transforma en inventario disponible, vuelve a darse el caso de que  $IP = OH$ . El punto clave consiste en comparar la  $IP$ , y no el  $OH$ , con  $R$  al momento de decidir si es conveniente hacer un nuevo pedido. Un error muy común consiste en pasar por alto las recepciones programadas los pedidos aplazados.



**FIGURA No 5: Inventario disponible**



**FUENTE:** Administración de Operaciones (Krajewsky)

### **2.1.1.8 Políticas de Inventarios**

Las políticas de inventarios deben tener como objetivo elevar al máximo el rendimiento sobre la inversión, satisfaciendo las necesidades del mercado.

La adquisición de inventarios conlleva un costo de mantenimiento del inventario, un costo por compra y otros costos que serán tratados en las secciones siguientes.

Las políticas de inventarios deben ser fijadas para cada uno de los diferentes conceptos, como: materias primas y materiales auxiliares de fabricación, producción en proceso, artículos terminados, artículos de compra-venta, etc., porque cada una de estas inversiones de activo presentan condiciones peculiares para su

administración, específicas para su compra, consumo, procesamiento, para su custodia, para su venta, etcétera.

La administración de los inventarios tiene que fijar las políticas, siendo las principales:

Reducir al máximo la inversión de inventarios en días de inversión sin afectar la demanda del mercado (ventas) y al proceso productivo. Para el anterior es necesario fijar los niveles de inversión para cada concepto de inventarios y tipo de producto, material, etc., con la flexibilidad de cambio que requiera la demanda del mercado. La empresa financia la inversión de los inventarios y el dinero tiene un costo de oportunidad. Por ejemplo, si la inversión promedio en inventarios es al año de \$100 000 y el costo de oportunidad del dinero es de 20% anual, el costo de financiamiento sería de \$20 000 al año además de los costos inherentes de almacenamiento.

Por lo tanto la empresa debe tratar de reducir la inversión de los inventarios para maximizar los rendimientos.

Obtener el máximo financiamiento (sin costo) a través de proveedores, para la adquisición de inventarios. El financiamiento no sólo incluye el monto del crédito sino también el plazo de pago. Sería ideal que las ventas y consumos de los inventarios coincidieran con el pago a proveedores, por que de esta manera no se asignarían recursos del capital de la empresa para inventarios.

En algunas ocasiones se pueden establecer contratos de consignación, lo que representa de otra forma lo señalado anteriormente.

Cuando el crédito de proveedores es mayor que el tiempo en que los inventarios se venden, se produce una utilidad financiera que no se refleja como tal en la información financiera. La utilidad se genera por que se tienen recursos a través del financiamiento de proveedores sin costo de oportunidad.

Fijar el nivel aceptable de surtido de productos en los pedidos de los clientes. Para afrontar la demanda sin problemas de existencias, se requiere elevar el nivel de inventarios satisfaciendo la demanda y sirviendo ciento por ciento al mercado, pero resulta extremadamente costoso tener inventarios estáticos paralizando un capital que tiene un costo de oportunidad elevado.

Se debe determinar el nivel apropiado de los inventarios sin distraer fondos ni afectar en forma importante el servicio de los clientes.

Cuando se tiene únicamente un producto para comercializar el nivel aceptable de faltantes deberá ser cero, siempre se debe tener existencias. A medida que aumentan los productos, tipos, colores, tamaños, etc., deben fijarse parámetros de aceptación para no mantener inventarios muy altos y así poder cubrir la demanda variable del mercado con pocos faltantes.

En los productos de alto consumo deben vigilarse las existencias y pronósticos de venta en forma permanente, para que siempre se tengan existencias.

Mantener las existencias de inventarios en artículos "A" mediante una administración personalizada.

Vigilar la exposición de los inventarios ante la inflación y la devaluación de la moneda. Los inventarios son activos no monetarios que no están expuestos a la inflación y devaluación de la moneda. Este concepto del activo circulante tiene generalmente una influencia muy importante en el resultado por retención de activos no monetarios y contrarresta las pérdidas por exposición de los activos monetarios.

La productividad se mejora con una producción o compra con el mínimo de almacenaje, sin retraso y a una gestión de calidad integrada en materia prima, procesos y productos terminados, además de productos de compra-venta.

#### **2.1.1.9. Modelos especiales de Inventario**

Se tiene diferentes propuestas para gestionar los inventarios, se presentan los principales:

##### **A. Reabastecimiento no instantáneo**

Si un artículo se produce dentro de la empresa, en lugar de comprarse fuera las unidades terminadas pueden utilizarse o

venderse en cuanto se terminan, sin esperar hasta completar todo un lote.

## **B. Descuentos por Cantidad**

Los descuentos por cantidad, que son incentivos de precio para que el cliente compre mayores cantidades, crean presión para mantener un inventario abundante.

## **C. Nivel de Servicio e Inventario de seguridad**

La demanda independiente o no programada de un producto suele ser de tipo probabilista. Las demandas independientes deterministas más bien son en la práctica un recurso de la doctrina para completar clasificaciones o para simplificar la formulación de los modelos. Esta circunstancia aleatoria en la generación de la demanda puede causar rupturas de los inventarios, con sus costos asociados y sus mermas indudables de la calidad del servicio.

Es necesario en consecuencia, disponer de un inventario adicional en nuestros almacenes sobre lo estrictamente necesario que haya establecido nuestro modelo de Reaprovisionamiento. Dicho inventario de seguridad, dependerá de las desviaciones que vaya a presentar el consumo durante el período que media entre el lanzamiento de un pedido y la recepción de la mercancía, es decir, durante el plazo de entrega (Lead Time) o Período Crítico.

Por lo tanto, la determinación de los inventarios de seguridad estará ligada a la percepción que tengamos de esas desviaciones

y al grado de fiabilidad, o "nivel de servicio" que estemos dispuestos a ofrecer a nuestros clientes y/o pacientes. Si tenemos la percepción estadística de las desviaciones bajo la forma de la desviación estándar de la demanda, el inventario de seguridad será el número de desviaciones estándar de reserva que nos interese mantener. A su vez, ese número de desviaciones estándar de reserva nos definirá el nivel de servicio que estamos ofreciendo.

En la práctica, la secuencia debe ser la contraria:

Fijar el "nivel de servicio" que estamos dispuestos a ofrecer a nuestros clientes, expresado como porcentaje de servicios sin rupturas de inventarios (por ejemplo, podemos fijar que en el 97,72% de los suministros no existan rupturas de inventarios).

Determinar, sobre la base de las leyes estadísticas, el número de desviaciones estándar de reserva que debemos mantener, o "factor de servicio", para garantizar ese nivel de servicio (en el ejemplo anterior y para una distribución normal, se requieren 2 desviaciones estándar para asegurar ese nivel de servicio).

Calcular el inventario de seguridad multiplicando la desviación estándar de la demanda por el factor de servicio (en el ejemplo que se mostró cuya media mensual era 113.25 unidades y la desviación estándar de 13.0125 unidades, el inventario de seguridad para un tiempo de entrega (lead time) de un mes sería de 26 unidades).

Niveles de servicio y factores de servicio:

**TABLA No 1: Niveles de servicio y factores de servicio**

Nivel de Servicio (%)	Factor de Servicio
75,00	0.7
85,00	1
90,00	1.3
95,00	1.7
98,00	2.1
99,00	2.3
99,99	3.1

**FUENTE: Administración de Operaciones (Krajewsky)**

Para el caso en que la demanda se explique mediante la ley de Poisson, la relación entre factor de servicio se recoge de la tabla anterior.

Es necesario tener en cuenta en cualquiera de los casos que si el período de análisis de la demanda (que era mensual en el ejemplo anterior) no coincide con el tiempo de entrega (lead time), es necesario aplicar determinadas correcciones estadísticas.

#### **D. Tamaño óptimo de pedidos**

La siguiente pregunta que se suele plantear el gestor a la hora de plantear el reaprovisionamiento es: ¿Cuánto pedir?

Esta es la principal pregunta a la que los analistas han tratado de dar respuesta desde que se puso de manifiesto la importancia de la gestión científica del inventario. La respuesta más conocida a esta cuestión es la famosa "Formula del modelo de Wilson" para

la determinación del lote económico de compras (LEC) o, en inglés, Economic Order Quantity (EOQ).

El modelo de Wilson se formuló para el caso de una situación muy simple y restrictiva, lo que no ha sido óbice para generalizar su aplicación, muchas veces sin el requerido rigor científico, a otras situaciones más próximas a la realidad.

Estrictamente el modelo de Wilson se formula para la categoría de modelos de aprovisionamiento continuo, con demanda determinista y constante, en los siguientes supuestos respectivos

#### **E. Reaprovisionamiento continuo: El punto de pedido**

Pudiéndose calcular con relativa simplicidad el tamaño óptimo de pedido, con la ayuda de la fórmula de Wilson, la siguiente pregunta que cabría formular sería: ¿Cuánto pedir?

En los modelos de reaprovisionamiento continuo los inventarios se controlan continuamente y el pedido se cursa en el momento en que los inventarios decrecen hasta una cierta magnitud o "punto de pedido" (en inglés "order point"). La cantidad a pedir entonces sería el lote económico de compras. (LEC o EOQ).

Si se respetan escrupulosamente las hipótesis en las que se basa el modelo de Wilson (en concreto, lo que establece que el plazo o período de reposición, tiempo de entrega o "lead time", es nulo), el punto de pedido aparecería cuando el nivel de inventarios fuera igual al inventario de seguridad. En un caso más general, con el período de reposición no nulo, el punto de pedido aparecería



cuando el nivel de inventarios fuera igual a la suma del inventario de seguridad mas la demanda que previsiblemente habría que atender durante el período de reposición. Es decir:

**Punto de Pedido = Demanda durante el tiempo de entrega (lead time) + Inventario de Seguridad.**

#### **F. Reaprovisionamiento periódico**

En el caso de los modelos de reaprovisionamiento periódico la respuesta a la pregunta ¿cuánto pedir? Es aparentemente sencillo: se lanza una orden de pedido cada cierto tiempo previamente establecido (una vez por semana, o una vez por mes, por ejemplo), denominado período de reaprovisión. La cantidad a pedir en ese momento (en ingles "order quantity") será la que restablece un cierto nivel máximo de existencias, o "nivel objetivo".

Este modelo de reaprovisionamiento tiende a utilizarse cuando existen demandas reducidas de muchos artículos y resulta conveniente unificar las peticiones de varios de ellos en un solo pedido para reducir los costos de lanzamiento o para obtener descuentos por volumen.

El nivel objetivo de existencias sería, en la hipótesis de período de reposición nulo, aquel que garantiza los suministros durante el período de revisión. Es decir, la demanda prevista en dicho período más un inventario de seguridad asociado a dicho período si la demanda fuera (caso real) de un tipo probabilista. La cantidad a pedir en cada uno de los momentos preestablecidos

sería la diferencia entre los inventarios existentes y el inventario objetivo.

Si añadimos ahora el supuesto de que el período de reposición no es nulo, el nivel objetivo antes calculado habría que sumarle la demanda prevista durante el plazo de reposición, ya que si solamente solicitamos en el momento de la revisión la diferencia entre los inventarios existentes y el inventario objetivo antes definido, en el momento de la reposición del pedido, algunos días (o semanas) después, no llegaríamos a alcanzar dicho objetivo.

En resumen tendríamos que:

**Nivel Objetivo = Demanda durante el tiempo de espera (lead time) + Demanda durante el período de revisión + Inventario de seguridad**

El período de revisión suele ser fijado por razones de índole práctico, relacionadas con las pautas temporales de gestión de la empresa, y por eso son tan frecuentes, los períodos de revisión semanales, quincenales, mensuales, trimestrales, etc. Sin embargo la fijación del período de revisión cabe relacionarla, buscando el óptimo, con el concepto de lote económico de compra (LEQ o EOQ).

De acuerdo con este criterio, el período de revisión debería coincidir o aproximarse en lo posible al intervalo medio entre dos pedidos que corresponde al lote económico de compra.

Puede suceder que el período de revisión coincida con una unidad de tiempo exacta (día, semana, mes, trimestre), si no fuera

así, habrá que adecuar la revisión según el buen sentido común del responsable.

Muchas veces el pedido a realizar es diferente al lote económico de compra. Ello significa que los costos del inventario, cuando se utiliza el modelo de reaprovisionamiento periódico suelen ser superiores a los costos del modelo de aprovisionamiento continuo (conclusión evidente) y sólo entonces aplicaremos el modelo de reaprovisionamiento periódico cuando sea muy difícil o caro realizar el seguimiento continuo de los inventarios o surjan economías de escala al hacer pedidos simultáneos a la vez.

## **2.1.2 MODELOS ESTADÍSTICOS DE PRONÓSTICO**

Las más utilizadas son: Juicio ejecutivo, Encuesta de pronóstico de los clientes, Encuesta de Pronóstico de la Fuerza de Ventas, Método Delphi, Análisis de series de tiempo, Análisis de regresión, Prueba de mercado.

### **A. Juicio Ejecutivo**

Se basa en la intuición de uno o más ejecutivos experimentados con relación a productos de demanda estable. Su inconveniente es que se basa solamente en el pasado y está influenciado por los hechos recientes.

### **B. Encuesta de pronóstico de los clientes**

Útil para empresas que tengan pocos clientes. Se les pregunta qué tipo y cantidades de productos se proponen comprar durante un

determinado período. Los clientes industriales tienden a dar estimados más precisos. Estas encuestas reflejan las intenciones de compra, pero no las compras reales.

### **C. Encuesta de pronóstico de la fuerza de ventas**

Los vendedores estiman las ventas esperadas en sus territorios para un determinado período. La sumatoria de los estimados individuales conforma el pronóstico de la empresa o de la división. El inconveniente es la tendencia de los vendedores a hacer estimativos muy conservadores que les facilite la obtención futura de comisiones y bonos.

### **D. Método Delphi**

Se contratan expertos que hacen pronósticos iniciales que la empresa promedia y les devuelve para refinar los estimados individuales. El procedimiento puede repetirse varias veces hasta cuando los expertos - trabajando por separado - lleguen a un consenso sobre los pronósticos.

### **E. Análisis de Series de Tiempo**

Se utilizan los datos históricos de ventas de la empresa para descubrir tendencias de tipo estacional, cíclico y aleatorio o errático. Es un método efectivo para productos de demanda razonablemente estable. Por medio de los promedios móviles determinamos primero si hay presente un factor estacional. Con un sistema de regresión lineal simple se determina la línea de tendencia de los datos para establecer si hay presente un factor cíclico. El factor aleatorio estará

presente si se puede atribuir un comportamiento errático a las ventas debido a acontecimientos aleatorios no recurrentes.

## **G. Análisis de Regresión**

Se trata de encontrar una relación entre las ventas históricas (variable dependiente) y una o más variables independientes, como población, ingreso per-cápita o producto interno bruto (PIB). Este método puede ser útil.

## **2.1.3 FUNDAMENTOS DE REDES NEURONALES**

### **2.1.3.1 Redes Neuronales Artificiales**

#### **A. Conceptos de la Red Neuronal Artificial – RNA**

Una RNA es un conjunto de nodos ordenados adaptables los cuales, a través de un proceso de aprendizaje mediante ejemplos prototipo, almacenan conocimiento de tipo experimental y lo hacen disponible para su uso. [An Introduction to Neural Computing. Igor Aleksander and Helen Morton, 1990]

Una RNA es un ensamble de elementos procesadores simples y adaptables, cuya funcionalidad está burdamente basada en una neurona. La habilidad de procesamiento de la red está almacenada en la intensidad de las conexiones entre elementos, obtenidos por un proceso de adaptación a un conjunto de patrones de entrenamiento.

## B. Estructura de una Red Neuronal Artificial

Los elementos básicos de un sistema neuronal biológico son las neuronas ya que estas están agrupadas en conjuntos conformados por millones de ellas organizadas en capas, constituyendo un sistema con funcionalidad propia. En la realización de un sistema neuronal puede establecerse una estructura jerarquizada similar. El elemento fundamental que dará el comienzo o partida será la neurona artificial; y por último, una red neuronal, juntamente con las interfaces de entrada y salida, mas los módulos convencionales adicionales necesarios darán un sistema general de todo el proceso.

Existen tres conceptos fundamentales en la teoría de las redes neuronales que se desea emular en las redes neuronales artificiales, estos son: paralelismo de cálculo, memoria distribuida y adaptabilidad al entorno.

El **procesamiento paralelo**, es muy importante para el proceso y se puede deducir en un sencillo ejemplo, donde una computadora convencional tipo PC, que trabaja secuencialmente instrucción a instrucción, emplearía varios minutos en realizar sobre una imagen compuesta, digamos de 256x256 píxeles, una sencilla tarea de tratamiento en bajo nivel (acentuar contrastes, extraer contornos, etc.), mucho más simple que la que llevaba a cabo el sistema visual para reconocer una imagen, operando en paralelo, puesto que cada uno podría operar en paralelo sobre diferentes

sectores de la imagen, el cerebro humano tarda aproximadamente el mismo tiempo en procesar pero con la diferencia que la imagen esta compuesta por millones de píxeles (los que representan los conos y bastones de la retina), extraer sus rasgos característicos, analizarlas, e interpretarla. Ningún sistema creador por el hombre es capaz de realizar algo semejante. El secreto esta en éste último donde miles de millones de neuronas que intervienen en el proceso de visión están operando en paralelo sobre la totalidad de la imagen.

La **memoria distribuida**, mientras que en una computadora la información ocupa posiciones de memoria bien establecidas, en los sistemas neuronales se encuentra distribuida por las sinapsis de la red, de modo que si una sinapsis resulta dañada, no perderemos más que una parte muy pequeña de la información. Además, los sistemas neuronales biológicos son redundantes, de modo que muchas neuronas y sinapsis pueden realizar un papel similar; en definitiva el sistema resulta tolerante a fallos (por ejemplo, cada día mueren miles de neuronas en nuestro cerebro y sin embargo tienen que pasar muchos años para que se resientan nuestras capacidades).

El último concepto fundamental es el de **adaptabilidad** las redes neuronales artificiales se adaptan fácilmente al entorno modificando sus sinapsis y aprenden de la experiencia, pudiendo generalizar conceptos a partir de casos particulares.

### C. Modelo General de una Neurona Artificial

Se denomina procesador elemental o neurona artificial a un dispositivo simple de cálculo que, a partir de un vector de entrada procedente del exterior o de otras neuronas, proporciona una única respuesta o salida. Sus elementos son los siguientes:

- Conjunto de **entradas**,  $x_j(t)$ .
- **Pesos sinápticos** de la neurona  $i$ ,  $w_{ij}$  que presentan la intensidad de interacción entre cada neurona presináptica  $j$  y la neurona postsináptica  $i$ .
- **Regla de propagación**  $\sigma(w_{ij}, x_j(t))$ , que proporciona el valor del potencial postsináptico  $h_i(t) = \sigma(w_{ij}, x_j(t))$ , de la neurona  $i$ , en función de sus pesos y entradas.
- **Función de Activación**  $f_i(a_i(t-1), h_i(t))$ , que proporciona el estado de activación actual  $a_i(t) = f_i(a_i(t-1), h_i(t))$ , de la neurona  $i$ , en función de su estado anterior  $a_i(t-1)$  y de su potencial postsináptico actual.
- **Función de salida**  $F_i(a_i(t))$ , que proporciona la salida actual  $y_i(t) = F_i(a_i(t))$ , de la neurona  $i$ , en función de su estado de activación.

De este modo, la operación de la neurona  $i$  puede expresarse como

$$y_i(t) = F_i(f_i[a_i(t-1), \sigma_i(w_{ij}, x_j(t))])$$



Este modelo de neurona artificial es la inspiración de la neurona biológica, en el sentido de integrar una serie de entradas y proporcionar cierta respuesta, que se propaga por el axón.

#### D. Entradas y Salidas

Las variables de entrada y salida pueden ser binarias (digitales) o continuas (analógicas) dependiendo del modelo de aplicación. Dependiendo del tipo de salida, las neuronas suelen recibir nombres específicos como las siguientes:

**Neurona de tipo McCulloch-Pitts:** Cuyas salidas sólo pueden tomar valores de 0 ó 1.

**Neurona de tipo Ising:** Cuya salidas únicamente pueden tomar valores de -1 ó +1

**Neurona de tipo Potts:** Cuya salidas se encuentran dentro de un intervalo definido [0, +1] o [-1, +1].

#### E. Regla de propagación

La regla de propagación permite obtener, a partir de las entradas y los pesos el valor del potencial postsináptico  $h_i$  de una neurona.

$$h_i(t) = \sigma(w_{ij} \cdot x_j(t))$$

La función más habitual es de tipo lineal, y se basa en la suma ponderada de las entradas con los pesos sinápticos

$$h_i(t) = \sum_j w_{ij} x_j$$

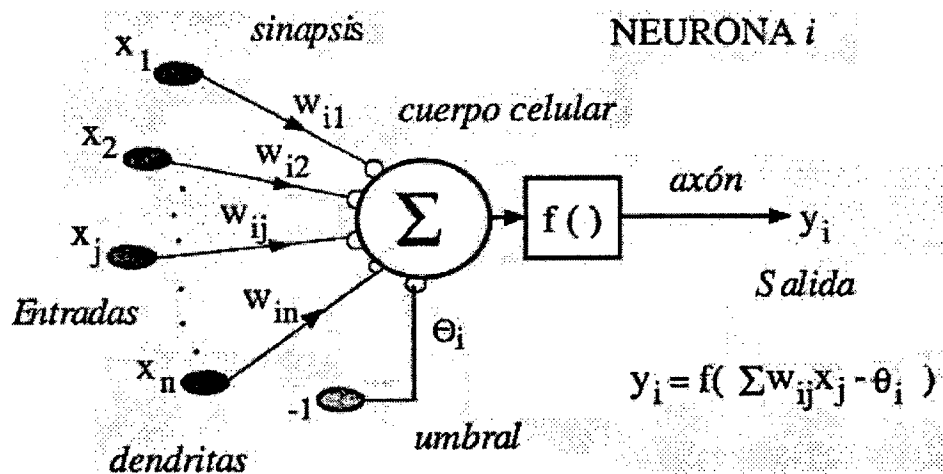
Que formalmente también puede expresarse como el producto escalar de los vectores de entrada y salida.

## F. El Peso Sináptico

Los pesos sinápticos  $w_{ij}$ . Al igual que en una neurona biológica establece sinapsis entre las dendritas de una neurona y el axón de otra, en una neurona artificial a las entradas que vienen de otras neuronas se les asigna un peso, un factor de importancia. Este peso, que es un número, se modifica durante el entrenamiento de la red neuronal, y es aquí por tanto donde se almacena la información que hará que la red sirva para un propósito u otro.

En la figura 6 se muestra el modelo de una Red Neuronal Artificial.

**FIGURA No 6:** Modelo de una Red Neuronal Artificial



**FUENTE:** Redes Neuronales Artificiales (José R. Hilera)

Donde:

Vector  $X$  ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) de entradas y produce una salida única  $Y_i$

Pesos y fusiones sinápticas  $W_{ij}; \theta$

Función:

$$\sum_j w_{ij}x_j - \theta_i$$

Salida:

$$y_i = f\left(\sum_j [w_{ij}x_j - \theta_i]\right)$$

Entonces:

$$\sum_j w_{ij} * x_j - \theta_i$$

Las señales de entrada y salida pueden ser señales binarias (0,1 – neuronas de McCulloch y Pitts), bipolares (-1,1), números enteros o continuos, variables borrosas, etc.

La regla de propagación suele ser una suma ponderada del producto escalar del vector de entrada y el vector de pesos:

$$h_i(t) = \sum w_{ij}x_j$$

También se usa a menudo la distancia euclidiana entre ambos vectores:

$$h_i(t) = \sum (x_j w_i)^2$$

Existen otros tipos de reglas menos conocidas como la distancia de Voronoi, de Mahalanobis, etc.

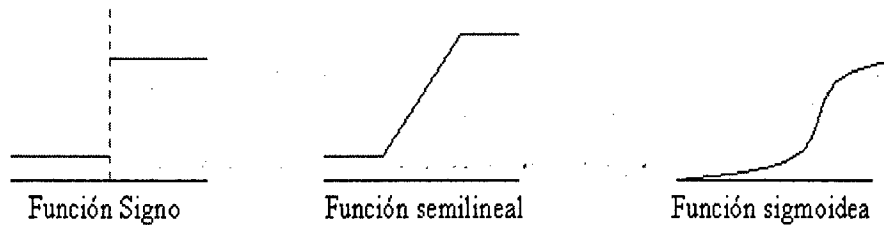
### **G. Función de Activación o Función de transferencia**

La función de activación no suele tener en cuenta el estado anterior de la neurona, sino sólo el potencial  $h_i(t)$ . Suele ser una

función determinista y, casi siempre, continua y monótona creciente. Las más comunes son la función signo (+1) si  $h_i(t) > 0$ , (-1) en caso contrario, la función semilineal y las funciones sigmoideas. En la figura 7 se muestra las principales de funciones de transferencia.

### Funciones de Activación

**FIGURA No 7: Principales Funciones de Transferencia**



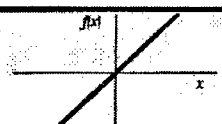
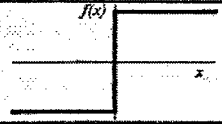
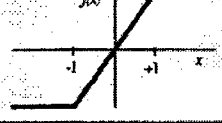
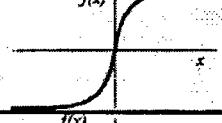
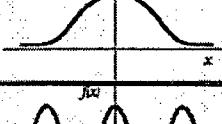
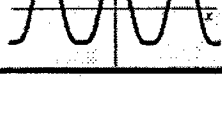
**FUENTE: Redes Neuronales Artificiales (José R. Hilera)**

En ocasiones los algoritmos de aprendizaje requieren que la función de activación cumpla la condición de ser derivable.

Las más empleadas en este sentido son las funciones de tipo sigmoideo. Otra función clásica es la gaussiana, que se utiliza junto con reglas de propagación que involucran el cálculo de cuadrados de distancias (por ejemplo, la euclídea) entre los vectores de entrada y pesos.

Por último en ocasiones se emplean funciones sinusoidales como aquellos casos en los que se requiere expresar explícitamente una periodicidad temporal.

**TABLA No 2. Funciones de activación habituales donde se han omitido algunas constantes**

	Función	Rango	Gráfica
<b>Identidad</b>	$y = x$	$[-\infty, +\infty]$	
<b>Escalón</b>	$y = \text{sign}(x)$ $y = H(x)$	$\{-1, +1\}$ $\{0, +1\}$	
<b>Lineal a tramos</b>	$y = \begin{cases} -1, & \text{si } x < -l \\ x, & \text{si } -l \leq x \leq +l \\ +1, & \text{si } x > +l \end{cases}$	$[-1, +1]$	
<b>Sigmoidea</b>	$y = \frac{1}{1+e^{-x}}$ $y = \text{tgh}(x)$	$[0, +1]$ $[-1, +1]$	
<b>Gaussiana</b>	$y = Ae^{-Bx^2}$	$[0, +1]$	
<b>Sinusoidal</b>	$y = A \text{sen}(\omega x + \varphi)$	$[-1, +1]$	

**FUENTE:** Redes Neuronales Artificiales (José R. Hilera)

### 2.1.3.2 Arquitectura de las RNA

La arquitectura de una RNA es la estructura o patrón de conexiones de la red. Es conveniente recordar que las conexiones sinápticas son direccionales, es decir, la información sólo se transmite en un sentido.

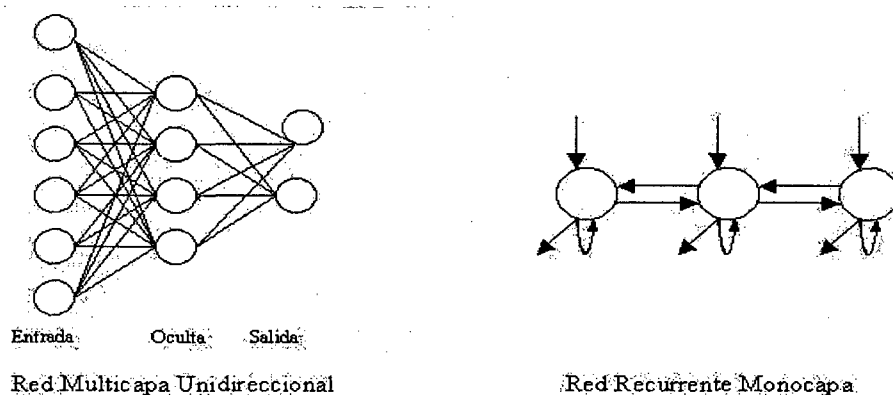
En general, las neuronas suelen agruparse en unidades estructurales llamadas *capas*. Dentro de una capa, las neuronas suelen ser del mismo tipo. Se pueden distinguir tres tipos de capas:

- De entrada: reciben datos o señales procedentes del entorno.

- De salida: proporcionan la respuesta de la red a los estímulos de la entrada.
- Ocultas: no reciben ni suministran información al entorno (procesamiento interno de la red).

Generalmente las conexiones se realizan entre neuronas de distintas capas, pero puede haber conexiones intracapa o *laterales* y conexiones de *realimentación* que siguen un sentido contrario al de entrada-salida. En la figura 8 se presenta la arquitectura de una RNA.

**FIGURA No 8: Arquitectura de una RNA**



**FUENTE: Redes Neuronales Artificiales (Pedro Isasi Viñuela)**

### 2.1.3.3 Aprendizaje de las RNA

Es el proceso por el que una RNA actualiza los pesos (y, en algunos casos, la arquitectura) con el propósito de que la red pueda llevar a cabo de forma efectiva una tarea determinada. Hay tres conceptos fundamentales en el aprendizaje:

**Paradigma de aprendizaje:** información de la que dispone la red.

**Regla de aprendizaje:** principios que gobiernan el aprendizaje.

**Algoritmo de aprendizaje:** procedimiento numérico de ajuste de los pesos.

Existen dos paradigmas fundamentales de aprendizaje:

**Supervisado:** la red trata de minimizar un error entre la salida que calcula y la salida deseada (conocida), de modo que la salida calculada termine siendo la deseada.

**No supervisado o autoorganizado:** la red conoce un conjunto de patrones sin conocer la respuesta deseada. Debe extraer rasgos o agrupar patrones similares.

En cuanto a los algoritmos de aprendizaje, tenemos cuatro tipos:

**Minimización del error:** reducción del gradiente, retropropagación, etc. La modificación de pesos está orientada a que el error cometido sea mínimo.

**Boltzmann:** Para redes estocásticas, donde se contemplan parámetros aleatorios.

**Hebb:** Cuando el disparo de una célula activa otra, el peso de la conexión entre ambas tiende a reforzarse (Ley de Hebb).

**Competitivo:** Sólo aprenden las neuronas que se acercan más a la salida deseada.

Los algoritmos, y en general el proceso de aprendizaje, son complejos y suelen llevar bastante tiempo por la forma de cálculo

que realizan. Su ventaja es que una vez aprendido, la red puede congelar sus pesos y funcionar en modo *recuerdo* o *ejecución*.

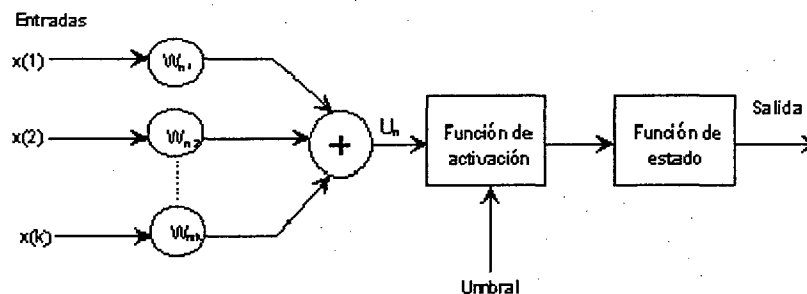
Teniendo en cuenta la teoría podemos distinguir tres niveles de arquitectura:

- Microestructura. Hace referencia a los elementos más pequeños de las redes neuronales: las neuronas.
- Mesoestructura. Resultado de la combinación de las neuronas. Serían las redes neuronales propiamente dichas.
- Macroestructura. Combinación de redes, se podría denominar a este nivel "comité de expertos". Existen diferentes tipos de combinación: paralelo, jerárquica, etc. dependiendo de la aplicación que se quiera implementar.

#### 2.1.3.4 Microestructura

Es el elemento básico de la red: la neurona, que puede tener diferentes formas dependiendo de la aplicación. En la figura 9 se presenta un esquema básico:

**FIGURA No 9: Esquema de una neurona**



**FUENTE:** Redes Neuronales Artificiales (Pedro Isasi Viñuela)



En general una neurona tendrá los siguientes elementos:

- Entradas. Son los datos a utilizar por la neurona. Pueden ser las variables de entrada, si la neurona está en la capa de entrada del sistema, o las salidas de otras neuronas. Si alguna de las entradas a la neurona es una salida de dicha neurona estaríamos hablando de una neurona recurrente o con memoria.
- Conexiones. Denominados pesos en teoría de redes neuronales. Son los factores multiplicativos de las entradas. Existe un peso adicional denominado umbral que tiene como entrada 1. El significado de este peso es englobar el umbral que aparece en la figura 9. Este umbral define el valor para el cual la neurona se activa, es decir:

$$\text{Neurona} \begin{cases} \text{activa si } w_1 \cdot x_1 \dots + w_n \cdot x_n > \text{umbral} \\ \text{inactiva si } w_1 \cdot x_1 \dots + w_n \cdot x_n < \text{umbral} \end{cases}$$

Si tomamos el peso  $w_0$  como umbral entonces la anterior expresión queda como:

$$\text{Neurona} \begin{cases} \text{activa si } w_0 + w_1 \cdot x_1 \dots + w_n \cdot x_n > 0 \\ \text{inactiva si } w_0 + w_1 \cdot x_1 \dots + w_n \cdot x_n < 0 \end{cases}$$

El proceso de aprendizaje de una red radica en la modificación de estos pesos de acuerdo con un algoritmo determinado.

Si combinamos la estructura de una neurona con una de las funciones de activación más usada, la sigmoide, aparece una relación matemática habitualmente utilizada como prueba

diagnóstica: la regresión logística. En efecto, este método matemático consiste en modelar la probabilidad de un determinado evento de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P(\vec{x}) = \frac{1}{1 + e^{-(w_0 + w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + \dots + w_n \cdot x_n)}}; \quad \vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Donde  $x_n$  son las diferentes variables independientes de las que depende nuestro problema.

Los parámetros a determinar son los parámetros  $w_n$  que son equivalentes a los pesos de una neurona. Así pues, cuando se utiliza el método de regresión logística se está usando una red constituida por una sola neurona, evidentemente este modelo tan sencillo se puede mejorar. Al estudiar este modelo, representado por una neurona, se pueden sacar importantes conclusiones. En efecto, el caso más sencillo es clasificar dos grupos (A y B) usando la probabilidad definida por el modelo de regresión logística. En este modelo se define un umbral de tal forma que si el valor de  $P(x)$  es superior a ese umbral pertenece a la clase A y si no a la B. Esta condición se transforma en que el exponente sea mayor que cierta cantidad, es decir:

$$\begin{cases} x \text{ pertenece a la clase A si } w_0 + w_1 \cdot x_1 + \dots + w_n \cdot x_n > K \\ x \text{ pertenece a la clase B si } w_0 + w_1 \cdot x_1 + \dots + w_n \cdot x_n < K \end{cases}$$

Veamos qué significa esto con un caso simple: supongamos que nuestro problema sólo depende de dos variables, entonces el caso definido anteriormente queda como:

$$\begin{cases} \mathbf{x} \text{ pertenece a la clase A si } w_0 + w_1 \cdot x_1 + \dots + w_n \cdot x_n > K \\ \mathbf{x} \text{ pertenece a la clase B si } w_0 + w_1 \cdot x_1 + \dots + w_n \cdot x_n < K \end{cases}$$

La frontera entre las dos clases vendrá definida por los ejemplos que cumplen la siguiente condición:

$$w_0 + w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 = K$$

La ecuación anterior es la ecuación de una recta. Por tanto, el modelo de regresión logística sólo permite clasificar correctamente elementos que sean linealmente separables; se trata de un modelo muy limitado. Se puede aumentar su potencia mediante transformaciones no lineales de las entradas pero se requiere un conocimiento a priori del problema que no siempre se tiene. La manera de mejorar este modelo es combinar estos elementos de proceso en estructuras más grandes: las redes neuronales, pasamos pues a otro nivel: la mesoestructura.

### **2.1.3.5 Redes Neuronales Recurrentes**

Es sabido que las redes neuronales estáticas o pre-alimentadas son capaces de aproximar cualquier función continua (Cotter, 1990). Sin embargo, las redes neuronales recurrentes poseen un rico repertorio de arquitecturas, lo cual las habilita para realizar diversas aplicaciones, que no son posibles con las redes neuronales estáticas; algunas de estas aplicaciones son: predicción no lineal, modelado, control, representaciones en espacio de estado, etc.

Las redes neuronales recurrentes son aquellas que tienen uno o más lazos de retroalimentación. La retroalimentación puede ser

local, es decir que la neurona se retroalimenta a sí misma, o global, cuando la neurona retroalimenta neuronas de la misma capa o de capas anteriores. Una red recurrente responde temporalmente a una señal de entrada externa. Más aún, la retroalimentación habilita a las redes neuronales recurrentes a tener una representación en espacio de estado, lo cual las hace convenientes para diversas aplicaciones.

### **A. Arquitectura de redes neuronales recurrentes**

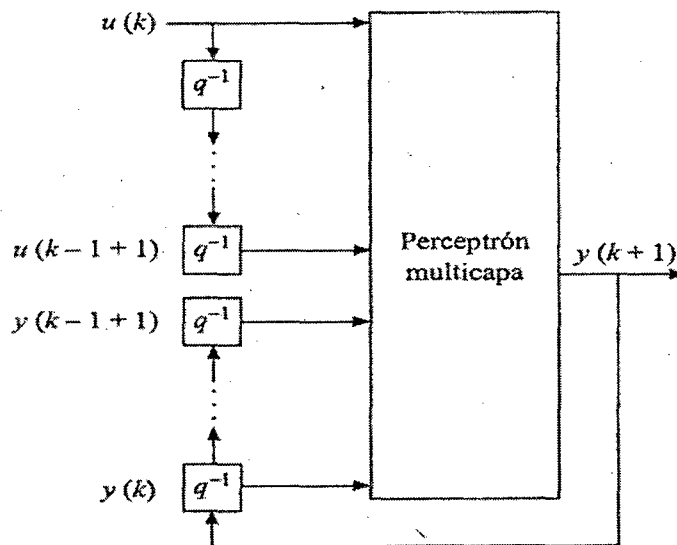
Se describirán cuatro arquitecturas neuronales, todas ellas con retroalimentación global. Las características que poseen en común son:

- Incorporan un perceptrón multicapa o parte de él.
- Explotan las capacidades de la transformación no lineal del perceptrón multicapa.

### **B. Redes neuronales recurrentes entrada-salida**

La Figura 10 muestra la arquitectura de una red neuronal recurrente genérica, que surge de manera natural de un perceptrón multicapa. El modelo tiene sólo una entrada que es aplicada a la entrada de la red, junto con los de sus retardos; así mismo se retroalimentan a la entrada de la red, los retardos de la salida  $y(k+1)$ .

**FIGURA No 10: Modelo de Entrada – Salida.**



**FUENTE: Redes Neuronales Artificiales (Pedro Isasi Viñuela)**

De tal forma que el comportamiento dinámico de la red de la Figura 10 queda determinado por:

$$y(k+1) = F(y(k), \dots, y(k-l+1), u(k), \dots, u(k-l+1)) \quad (4)$$

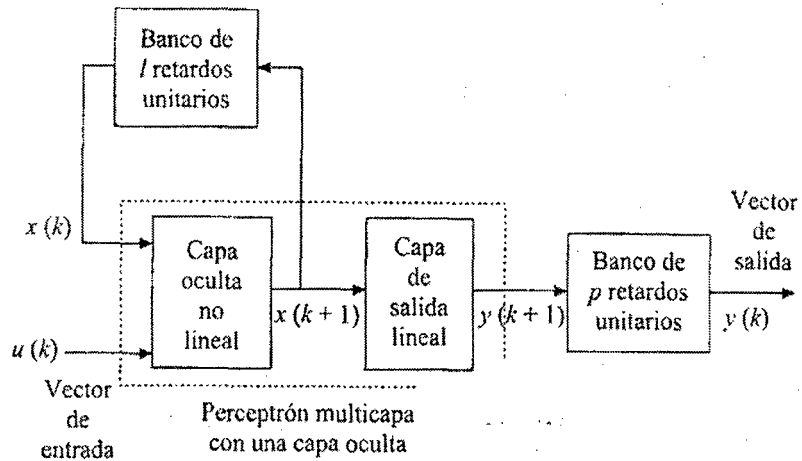
Donde  $F$  es una función no lineal.

### C. Modelo en espacio y estado

La Figura 11 muestra un diagrama de bloques de otra red neural recurrente genérica, llamada modelo en espacio de estado. Las neuronas ocultas definen el estado de la red. La Salida de la capa oculta es retroalimentada a la capa de entrada a través de un banco de retardos unitarios. La capa de entrada consiste en la concatenación de los nodos de retroalimentación y los nodos fuente. La red es conectada al medio exterior a través de los nodos fuente. El número de retardos unitarios utilizados en la retroalimentación determina el orden del modelo. Sea  $u(k)$

pertenece a  $R^m$  el vector de entrada, y  $x(k)$  pertenece a  $R^q$  la salida de la capa oculta en la iteración  $k$ .

**FIGURA No 11: Modelo de Espacio de estado**



**FUENTE: Redes Neuronales Artificiales (Pedro Isasi Viñuela)**

Entonces el comportamiento dinámico del modelo de la figura 11 queda determinado por  $y$  que pertenece a  $R^q$ :

$$x(k+1) = f(x(k), u(k)) \quad (5)$$

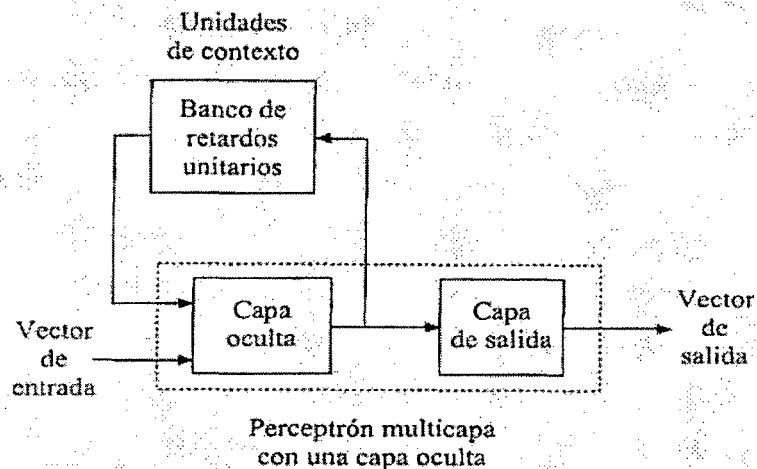
$$y = Cx(k) \quad (6)$$

donde  $f(.,.)$  es una función no lineal que caracteriza a la capa oculta;  $C$  es la matriz de pesos simpáticos que caracterizan a la capa de salida. La capa oculta es no lineal, pero la capa de salida es lineal.

La red neuronal recurrente de la Figura 11 incluye algunas arquitecturas recurrentes como casos especiales. Considérese, por ejemplo, la red neuronal recurrente simple mostrada en la Figura 12. La red de Elman tiene una arquitectura similar a la de

la Figura 11 excepto por el hecho de que la capa de salida puede ser no lineal y el banco de retardos unitarios a la salida se omite. La red de Elman (Elman, 1990) contiene conexiones recurrentes de las neuronas ocultas a la capa de unidades contextuales consistente en retardos unitarios. Estas unidades contextuales almacenan las salidas de las neuronas ocultas, lo que les permite desarrollar las tareas de aprendizaje a través del tiempo. Las neuronas ocultas también alimentan a las neuronas de salida. Debido a la naturaleza de la retroalimentación alrededor de las neuronas ocultas, estas neuronas pueden continuar reciclando información a través de la red durante muchos pasos en el tiempo y así obtener representaciones abstractas del tiempo.

**FIGURA No 12: Red Neural Recurrente Simple.**



**FUENTE: Redes Neuronales Artificiales (Pedro Isasi Viñuela)**

#### **D. Perceptrón multicapa recurrente**

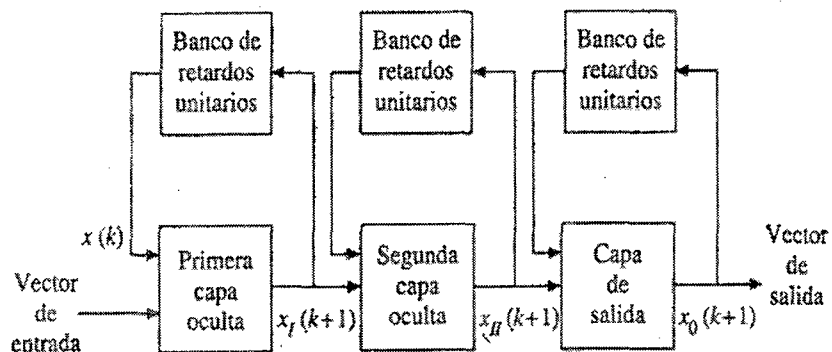
Esta red tiene una o más capas ocultas; básicamente por las mismas razones que el perceptrón multicapa estático, siempre son más efectivas con una sola capa oculta. Cada capa de

computación de un RMLP (por su nombre en inglés Recurrent Multilayer Perceptrón) tiene retroalimentación alrededor de la misma, como se muestra en la Figura 13, para el caso de un RMLP con dos capas ocultas.

Sea el vector  $x_i(k)$  que denota la salida de la primera capa oculta;  $x_{ij}(k)$  denota la salida de la segunda capa oculta, y así sucesivamente;  $x_o(k)$  denota la salida de la capa de salida. Entonces el comportamiento dinámico del RMLP en respuesta al vector de entrada  $u(k)$  queda determinado por:

$$\begin{aligned} x_i(k+1) &= Q_i(x_i(k), u(x)) \\ x_{ij}(k+1) &= Q_{ij}(x_{ij}(k), x_i(k+1)) \\ x_o(k+1) &= Q_o(x_o(k), x_n(k+1)) \end{aligned} \quad (7)$$

**Figura No 13: Perceptrón multicapa recurrente.**



**FUENTE: Redes Neuronales Artificiales (Pedro Isasi Viñuela)**

Donde  $Q_i(\dots)$ ,  $Q_{ii}(\dots)$ , ...,  $Q_o(\dots)$  representan las funciones de activación respectivas y denota el número de capas ocultas de la red.

### E. Red de segundo orden

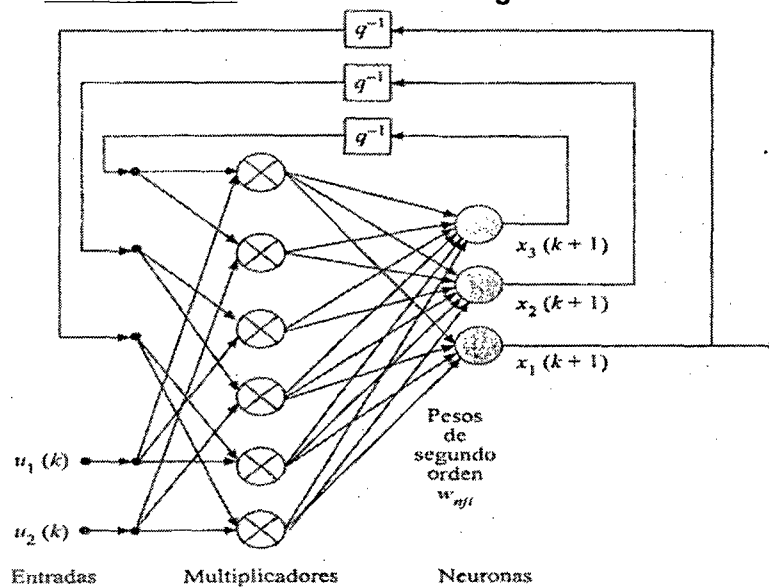
En el modelo en espacio de estado, se utilizó la palabra *orden* para referirse al número de neuronas ocultas cuyas salidas son



retroalimentadas a la capa de entrada. En otro contexto, la palabra orden algunas veces es utilizada para referirse a la forma en que se define el potencial de activación de una neurona.

Una característica única de la red neuronal de segundo orden en la Figura 14 es que el producto  $x_i(k)u_j(k)$  representa el par {estado, entrada} y que un peso positivo  $w_{nij}$  representa la presencia de una transición de estado {estado, entrada}  $\rightarrow$  {siguiente estado}, mientras que un peso negativo representa la ausencia de la transición.

**FIGURA No 14: Red Neuronal de segundo orden**



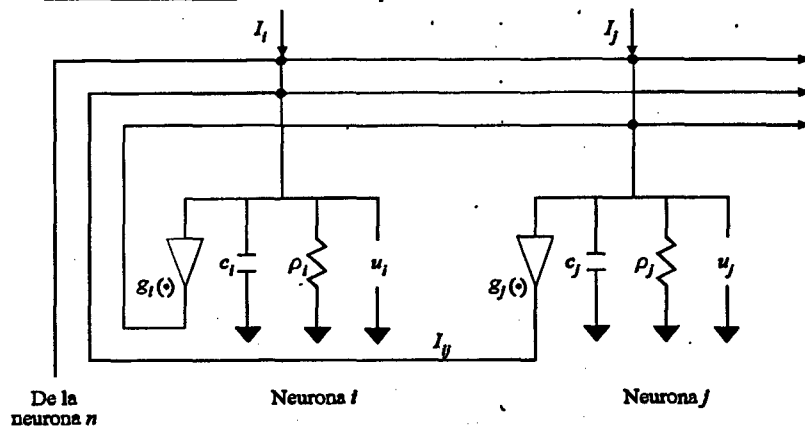
**FUENTE:** Redes Neuronales Artificiales (Pedro Isasi Viñuela)

## F. Red de Hopfield

La red de Hopfield consiste en un conjunto de neuronas y su correspondiente conjunto de retardos unitarios, que forman un sistema de lazos múltiples de retroalimentación (Haykin, 1999). El número de lazos de retroalimentación es igual al número de neuronas. Básicamente, la salida de cada neurona es

retroalimentada a través de un elemento de retardo unitario, a otras neuronas en la red. En otras palabras, no existe autorretroalimentación. Considérese el modelo mostrado en la Figura 15.

**FIGURA No 15: Red de Hopfield**

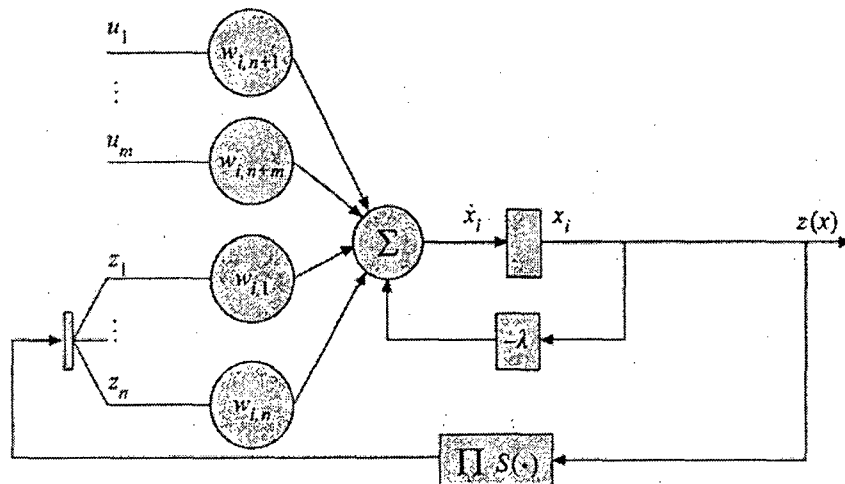


**FUENTE: Redes Neuronales Artificiales (Pedro Isasi Viñuela)**

### G. Redes neuronales recurrentes de alto orden

Una RHONN, por su nombre en inglés Recurrent High Order Neural Networks) como se muestra en la figura 16 es posible obtener interacciones de alto orden superando aun a una red neuronal de segundo orden,

**FIGURA No 16: Esquema de una RHONN continua.**



**FUENTE: Redes Neuronales Artificiales (Pedro Isasi Viñuela)**

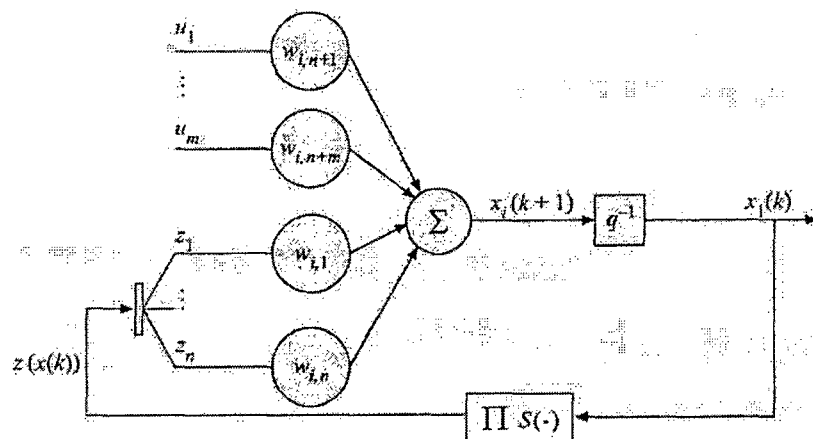
Las RHONN tienen las siguientes características (Ricalde, 2005)

- Permiten el modelado eficiente de sistemas dinámicos complejos;
- Son buenos candidatos para identificación y control;
- Son de fácil implementación;
- Su estructura es relativamente sencilla;
- Son capaces de ajustar sus parámetros en línea.

#### H. Redes neuronales recurrentes de alto orden discretas

Las redes neuronales recurrentes de alto orden discretas presentan las mismas características que las continuas y son ideales para su uso en modelado, identificación y control de sistemas dinámicos discretos complejos debido a su facilidad de implementación y a su estructura de relativa sencillez.

**FIGURA No 17:** Esquema de una RHONN discreta



**FUENTE:** Redes Neuronales Artificiales (Pedro Isasi Viñuela)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es básica, transaccional y descriptiva.

Es básica porque se utilizan los modelos y técnicas de redes neuronales artificiales para realizar proyecciones y así optimizar el inventario de los insumos y medicamentos.

Es descriptiva y correlacional porque se realiza una descripción de la información obtenida del objeto de estudio para reforzar las hipótesis planteadas respecto de los modelos de proyección.

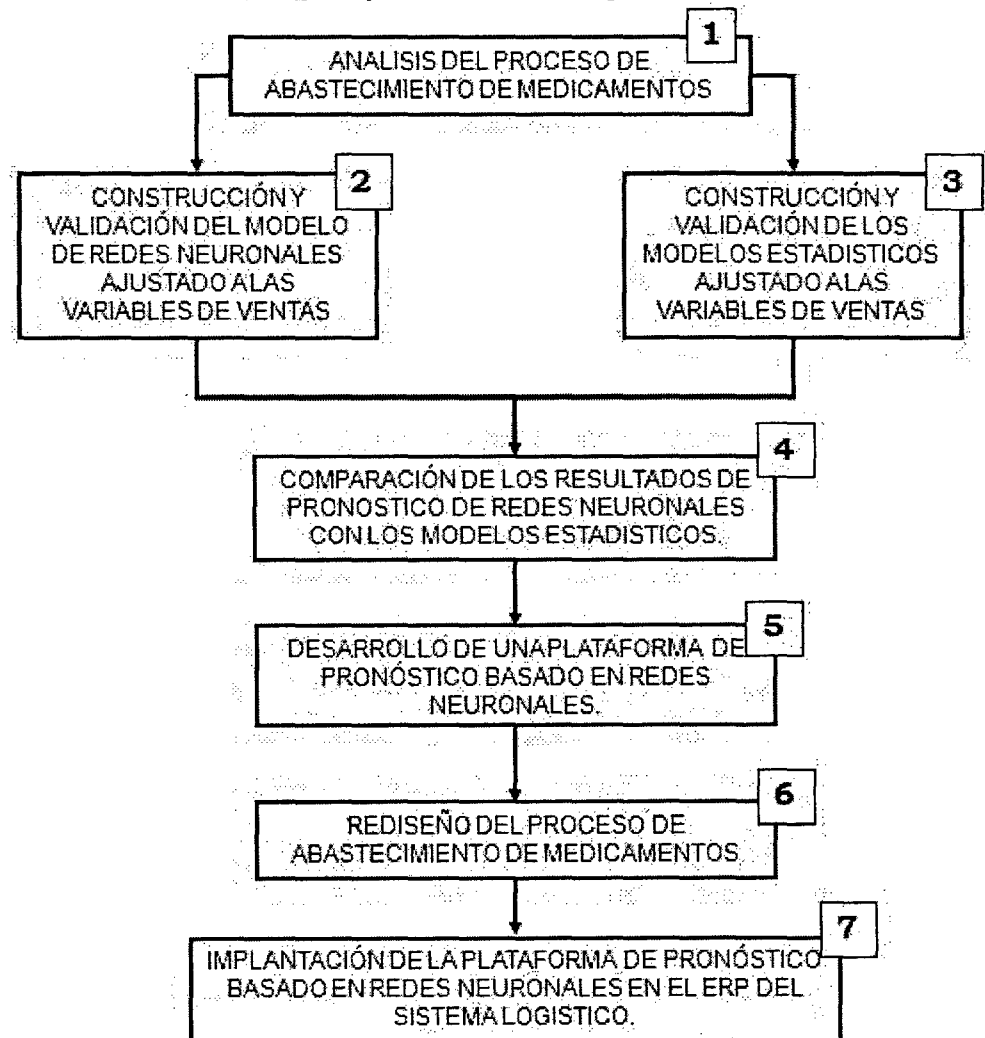
Es transaccional porque que se obtiene información por única vez para diseñar e implementar un modelo de abastecimiento que logre reducir la incertidumbre y optimizar los inventarios de medicamentos e insumos.

### 3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación de acuerdo a Hernandez Sampieri es pre experimental, puesto que se hace experimentos para validar el modelo de gestión de abastecimiento basado en redes neuronales artificiales recurrentes para que optimicen los inventarios de las diferentes áreas de la Clínica Ricardo Palma.

Por otra parte, de acuerdo a Peter Checkland, es una investigación en acción, pues al implementar el modelo se cambiará el proceso de gestión de requerimientos y el investigador, así como los usuarios, se vuelven en agentes de cambio a lo largo del proceso de implementación.

**FIGURA No 18: Esquema de la investigación**



**FUENTE:** Elaboración del autor

### **3.2.1 ANÁLISIS DEL PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE MEDICAMENTOS**

Es esta etapa se realiza un diagnóstico del proceso de abastecimiento de los medicamentos que se hace a las diferentes áreas de la clínica y como se define los requerimiento que servirán para elaborar la orden de compra. Puesto que se tiene más de 3,000 medicamentos, se seleccionará solo el 20% de los medicamentos que generan el 80% de monto total de compras, usando Pareto.

### **3.2.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE REDES NEURONALES AJUSTADO A LAS VARIABLES DE VENTAS**

Tiene las siguientes etapas:

Diseño de la arquitectura del modelo de red neuronal recurrente: aquí se define el número de entradas y capas que tendrá la red neuronal de tal forma que tenga el mínimo error en su pronóstico.

Entrenamiento de la red neuronal recurrente: aquí la red neuronal aprende de acuerdo al comportamiento de las ventas pasadas para luego hacer una proyección futura.

Testeo de la red neuronal: aquí se realiza las pruebas respectivas para validar dicha red de tal forma que los pronósticos tengan un mínimo error respecto a lo real.

### **3.3.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS ESTADÍSTICOS AJUSTADO A LAS VARIABLES DE VENTAS**

En esta etapa se seleccionará los dos métodos de series de tiempo que tienen menor error de pronóstico, para el cual se utilizará el

software de Cristal Ball. También se utilizará el modelo de regresión lineal para analizar las diferentes técnicas de pronóstico.

### **3.2.4 COMPARAR LOS RESULTADOS DE PRONÓSTICO DE REDES NEURONALES CON MODELOS ESTADÍSTICOS**

En esta etapa se elabora un cuadro resumen de las diferentes técnicas para observar cuál es el modelo que tiene el menor error en su pronóstico.

### **3.2.5 DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE PRONÓSTICO BASADO EN REDES NEURONALES**

De acuerdo a los resultados del cuadro resumen, se desarrollará una plataforma de trabajo que permita realizar los pronósticos con los datos histórica de inventarios y seleccione el modelo que se ajuste más a los datos históricos y tenga un mínimo error en su pronóstico. Esta plataforma estará disponible para los responsables de abastecimiento de tal forma que ellos puedan tomar las decisiones acertadas.

### **3.2.6 REDISEÑO DEL PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE MEDICAMENTOS**

Para que el modelo de gestión de abastecimiento basado en redes neuronales funcione, se rediseñará el proceso, pues ahora los responsables de decidir cuanto comprar, deben tomar en cuenta la información brindada por la plataforma de trabajo y así tomar las decisiones asertivas.

### **3.2.7 IMPLANTACIÓN DE LA PLATAFORMA DE PRONÓSTICO BASADO EN REDES NEURONALES**

Finalmente, esta plataforma será incorporada en el ERP de la Clínica Ricardo Palma para ser utilizado diariamente. El mismo tiene la propiedad de actualizar los patrones de gestión de requerimientos y auto aprender cada período en el tiempo ya que estará conectado en línea con el sistema local (datamart) de inventario.



## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS**

#### **4.1 PRONÓSTICO DE LA VARIABLE DE VENTAS**

##### **4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE DE PRONÓSTICO**

A continuación se describen las variables que se ha considerado para realizar el pronóstico de ventas con diferentes modelos.

##### **4.1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES**

**Variables independientes:** se ha considerado tres variables independientes que son:

**Año:** para esta variable se ha considerado desde enero del 2006 hasta septiembre del 2010.

**Semana:** el registro de ventas es ordenado semanalmente, por lo que se lo consideró como unidad de análisis.

**Estacionalidad:** se considero para esta variable las cuatro estaciones del año.

**Variable dependiente:** la variable a ser analizada en función al interés de la gerencia es:

**Ventas:** variable que se refiere al volumen de venta semanal de los medicamentos designados por la gerencia de la clínica en cuestión.

#### 4.1.2.1 Descripción de la data histórica de la variable de estudio

En la tabla 3 se describe históricamente la data de las variables anteriormente mencionadas y con las que se está trabajando. En esta data histórica solo se ha considerado VENTIDE INH, uno de los diez medicamentos seleccionados.

**TABLA No 3: Data histórica de las variables de pronóstico**

Año	Semana	Ventas en unidades	Nombre del Medicamento
2006	1	106	VENTIDE INH
2006	2	73	VENTIDE INH
2006	3	62	VENTIDE INH
2006	4	68	VENTIDE INH
2006	5	71	VENTIDE INH
2006	...	...	...
2007	1	129	VENTIDE INH
2007	2	73	VENTIDE INH
2007	3	87	VENTIDE INH
2007	4	73	VENTIDE INH
2007	5	89	VENTIDE INH
2007	...	...	...
2008	1	95	VENTIDE INH
2008	2	131	VENTIDE INH
2008	3	112	VENTIDE INH
2008	4	105	VENTIDE INH
2008	5	74	VENTIDE INH
2008	...	...	...
2009	1	95	VENTIDE INH
2009	2	122	VENTIDE INH
2009	3	98	VENTIDE INH
2009	4	83	VENTIDE INH
2009	5	73	VENTIDE INH
2009	...	...	...

2010	1	131	VENTIDE INH
2010	2	101	VENTIDE INH
2010	3	81	VENTIDE INH
2010	4	81	VENTIDE INH
2010	5	107	VENTIDE INH
2010	...	...	...

**FUENTE:** Data Histórica de la Clínica Ricardo Palma

**TABLA No 4: Análisis estadístico de la data histórica**

	Estadístico	Error típico de la media (MSE)
Venta Media	108.781	1.724
Varianza	773.083	
Desviación típica (MAD)	27.804	
Mínimo	27	
Máximo	217	
Rango	190	
Recuento	260	

**FUENTE:** Resultado del proceso estadístico con SPSS Clementine

De la tabla 4 se puede observar que el promedio de las ventas unitarias de este medicamento por semana es 108.781, es decir, aproximadamente se venden 109 unidades de dicho medicamento por semana. Asimismo, se desvían del promedio en 28 unidades vendidas, con un margen de error de 1.724 unidades.

#### 4.1.3 PRONÓSTICO CON SERIES DE TIEMPO

El resultado de los diferentes métodos de series de tiempo para el pronóstico de las ventas semanales del medicamento VENTIDE INH, se presenta en la tabla 4.

**TABLA No 5. Tabla de comparación de los métodos de series de tiempo**

Methods Table for VENTIDE INHALADOR

Created: 12/01/2011 at 06:44:22 a.m.

Series		Ventas (Und)								
Table Items										
Methods	Rank	RMSE	MAD	MAPE	Durbin-Watson	Theil's U	Alpha	Beta	Gamma	
Holt-Winters' Additive	2	25.2	19.074	18.021	1.867	0.681	0.207	0.001	0.474	
Holt-Winters' Multiplicative	4	27.325	20.443	19.459	1.679	0.723	0.132	0.001	0.494	
Seasonal Additive	1	25.188	19.063	18.002	1.867	0.681	0.207		0.474	
Seasonal Multiplicative	3	27.276	20.444	19.44	1.67	0.721	0.125		0.491	

**FUENTE:** Resultado del proceso estadístico con Crystal Ball

Se observa que el método estacional aditivo (Seasonal Additive) tiene la menor Desviación Absoluta Media (MAD) y el menor Error Cuadrático Medio, frente a los demás métodos, por lo cual se deduce que este método es el que tiene menor error en el pronóstico de ventas.

La Desviación Absoluta Media de 19.063, indica cuánto varían las ventas pronosticadas con relación al promedio de ventas y el Error Cuadrático Medio, de 1.867, refleja el error que presenta el modelo frente a la data histórica.

En la tabla 6 se presenta el pronóstico de ventas para las 52 semanas del 2011 con un intervalo de confianza del 95% a nivel superior y un 5% a nivel inferior. Además, se presenta también el residuo para luego comparar con los otros modelos de pronóstico.

**TABLA No 6: Pronóstico de venta de 52 semanas y su intervalo de confianza**

Tiempo	Data Histórica	Inferior: 5%	Pronóstico (unidades)	Superior: 95%	Residuo (unidades)
1	106				106
2	73				73

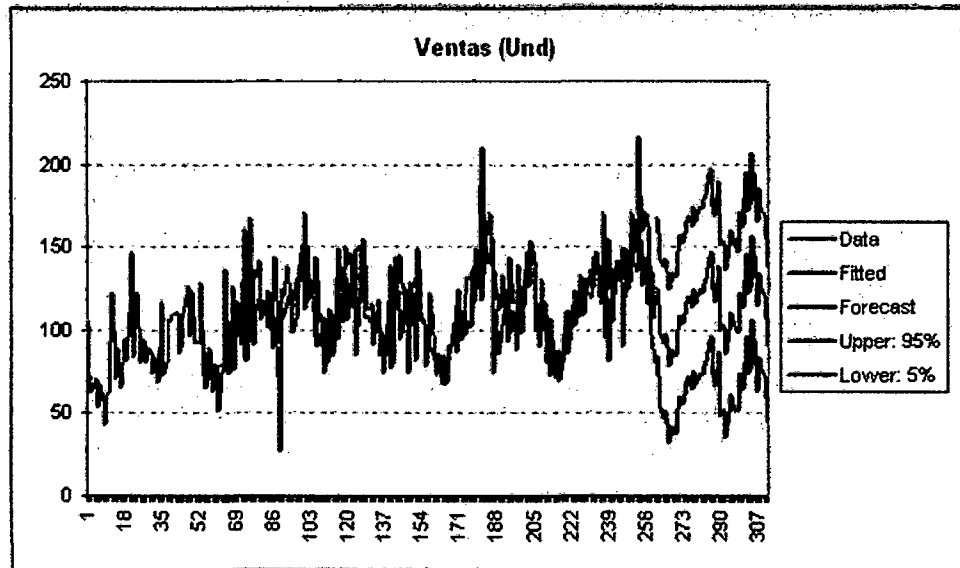
3	62				62
4	68				68
5	71				71
...	...		...		...
251	146		141		5
252	166		135		31
253	217		164		53
254	154		181		-27
255	127		160		-33
256	144		170		-26
257	116		163		-47
258	140		128		12
259	98		135		-37
260	80		108		-28
261		84	126	167	
262		73	116	158	
263		52	198	142	
264		47	93	138	
265		51	97	143	
266		44	90	135	
...		...	...	...	
307		64	115	166	
308		84	134	185	
309		76	125	174	
310		73	121	170	
311		60	108	155	
312		45	92	138	

**FUENTE:** Data Histórica de la Clínica Ricardo Palma y pronosticado con Crystal Ball

De la tabla 6 se puede apreciar las celdas con de color verde claro son las que contienen el pronóstico del 2011. En la columna Superior: 95 e Inferior: 5, columnas que se refieren a cuánto pueden variar las ventas en relación al pronóstico. En la columna Residuo, podemos ver el error del pronóstico en término de unidades vendidas con respecto a la data histórica.

**FIGURA No 19:** Gráfica comparativa de la data real en contraste a la data ajustada con su pronóstico

Charts for VENTIDE INHALADOR  
Created: 12/01/2011 at 06:44:18 a.m.



**FUENTE:** Resultado del proceso estadístico con Crystal Ball

En la figura 19 se observa que la data ajustada presenta cierta similitud con la data real, con algunas excepciones; no obstante los intervalos superior e inferior presentan un intervalo de confianza muy amplio. La línea de color verde representa la data histórica, la azul la data ajustada y pronosticada, y las líneas rojas el intervalo de confianza.

#### 4.1.4 PRONÓSTICO CON REGRESIÓN LINEAL

Otro modelo estadístico conocido para el pronóstico es la regresión lineal. En este caso utilizaremos este método para hallar el pronóstico de la venta de medicamentos y probar que es un modelo óptimo.

**TABLA No 7: Data histórica de 2006 hasta 2010 del medicamento VENTIDE INH**

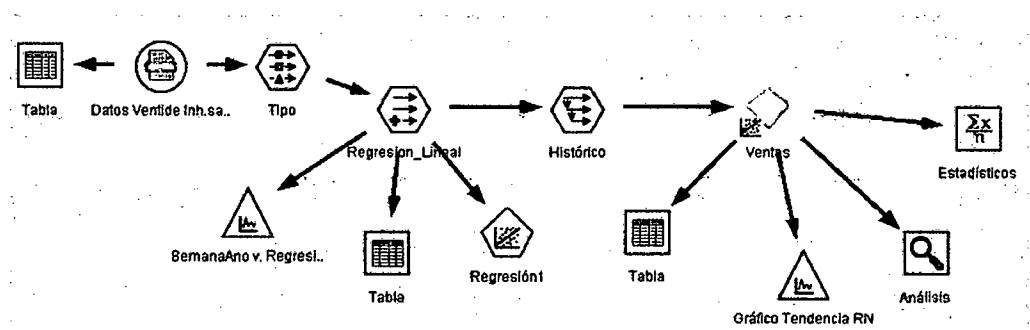
<b>N</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>AÑO</b>	<b>SEMANAS</b>	<b>VENTAS REALES (Unidades)</b>	<b>REGRESIÓN LINEAL (Unidades)</b>
1	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	1	106	95
2	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	2	73	66
3	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	3	62	56
4	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	4	68	61
5	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	5	71	64
6	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	6	54	49
7	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	7	68	61
8	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	8	58	52
9	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	9	43	39
10	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	10	60	54
...	...	...	...	...	...
190	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	34	92	83
191	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	35	103	92
192	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	36	109	98
193	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	37	125	113
194	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	38	109	99
195	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	39	99	89
196	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	40	112	101
...	...	...	...	...	...
254	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2010	46	154	138
255	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2010	47	127	114
256	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2010	48	144	130
257	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2010	49	116	104
258	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2010	50	140	126
259	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2010	51	98	88
260	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2010	52	80	72

**FUENTE:** Data Histórica de la Clínica Ricardo Palma

Por lo tanto concluimos que este método es significativo ya que podemos observar que, en la primera semana del año 2006 se vendieron 106 productos VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197), y este método nos afirma que pudimos vender 95 productos, lo que hace que el margen de error sea de 0.05% y que a su vez sea uno de los que poco, se acerca a la variable real, pero no es estable.

En la Figura 20, observamos la estructura del método de Regresión Lineal donde obtenemos la data del medicamento VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS, se establece el tipo de dato para cada variable, se deriva los tipos usando la fórmula de la regresión lineal, este a su vez, genera el soporte (compilado) para recibir data histórica para que arroje los resultados requeridos.

**FIGURA No 20: Estructura del modelo de Regresión Lineal**



**FUENTE:** Resultado del proceso estadístico con SPSS Clementine

En este modelo se consideró una variable independientes (semanas) y una dependiente (ventas). A continuación, en la tabla 8, el análisis de este modelo en función a la data histórica de ventas:



**TABLA No 8: Análisis del modelo de regresión lineal**

	Regresión Lineal	Error típico de la media (MSE)
Venta Media	97.888	1.551
Varianza	625.829	
Desviación típica (MAD)	25.017	
Mínimo	25	
Máximo	196	
Rango	171	
Recuento	260	

**FUENTE:** Resultado del proceso estadístico con SPSS

Como se presenta en la tabla 8, se observa que el promedio de las ventas unitarias de este medicamento por semana es 97.888, es decir, aproximadamente se venden 98 unidades de dicho medicamento por semana. Asimismo, se desvían del promedio en 25 unidades vendidas, con un margen de error de 1.551 unidades.

#### **4.1.5 PRONÓSTICO CON UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL**

##### **4.1.5.1 Arquitectura de una Red Neuronal Artificial en el SPSS**

La arquitectura que se ajusta al comportamiento de la variable de ventas es la Poda Exhaustiva implementada en el SPSS Clementine que se presenta en la figura 21. Este método está relacionado con el método Poda. Se inicia con una red de gran tamaño y poda las unidades más débiles de las capas ocultas y de entrada según se va completando el entrenamiento.

Poda exhaustiva, selecciona los parámetros de entrenamiento de red para garantizar una búsqueda exhaustiva de los posibles modelos para seleccionar el más adecuado. Aunque por lo general este método es el más lento, muchas veces genera los mejores resultados.

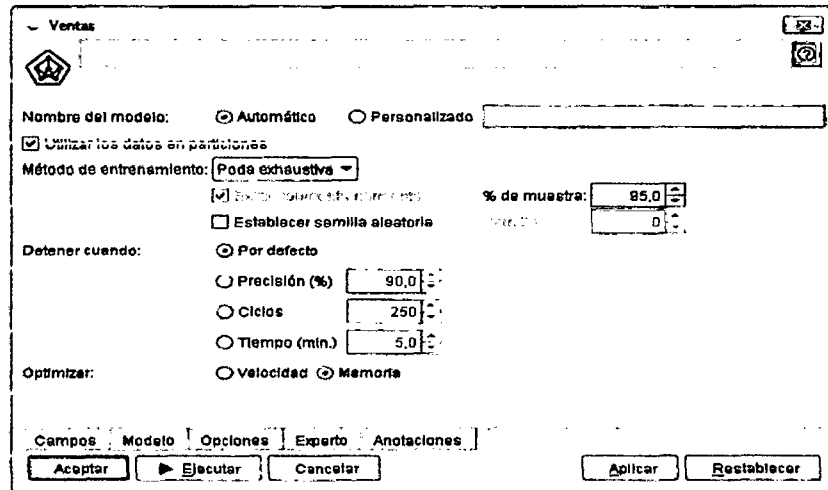
**TABLA No 9: Pronóstico de Ventas en una RNA Poda Exhaustiva**

N	PRODUCTO	AÑO	SEMANAS	VENTAS REALES (Unidades)	RNA PODA EXH (Unidades)
1	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	1	106	100
2	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	2	73	69
3	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	3	62	59
4	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	4	68	65
5	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	5	71	67
6	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	6	54	51
7	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	7	68	65
8	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	8	58	55
9	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	9	43	40
10	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2006	10	60	57
...	...	...	...	...	...
195	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	39	99	94
196	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	40	112	107
197	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	41	88	83
198	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	42	140	133
199	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	43	114	108
200	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	44	118	113
201	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	45	136	129
202	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	46	147	140
203	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	47	127	121
204	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2009	48	129	123
...	...	...	...	...	...
257	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2010	49	116	111
258	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2010	50	140	133
259	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2010	51	98	93
260	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS (A01197)	2010	52	80	76

**FUENTE:** Data Histórica de la Clínica Ricardo Palma

Para comprobar dichos resultados se pronosticó todo el año 2011 del producto VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS y dio una tendencia ascendente y positiva asemejándose a la data real.

**FIGURA No 21: Configuración de una RNA Poda Exhaustiva**



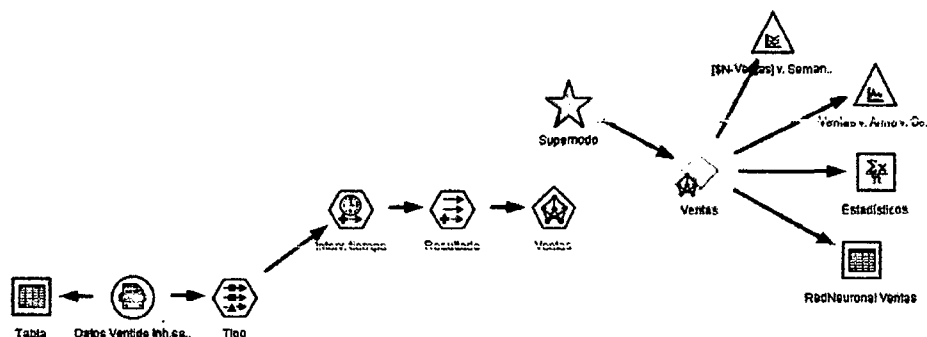
**FUENTE: SPSS Clementine**

Donde:

- Método de entrenamiento: Poda Exhaustiva
- Capa entrada: se tiene 4 variables (% de muestra 95.0).
- Capa Oculta: función de transferencia Tangente Hiperbólico
- Capa de Salida: se tiene 3 variables de entrada y una de salida

Para obtener la red neuronal artificial Poda exhaustiva óptima que se ajuste al comportamiento de la variable ventas, se trabajó con el software SPSS Clementine 10, en la figura 22 se presenta estructura de la RNA configurada en SPSS Clementine.

**FIGURA No 22: Estructura de una RNA configurada en el SPSS**



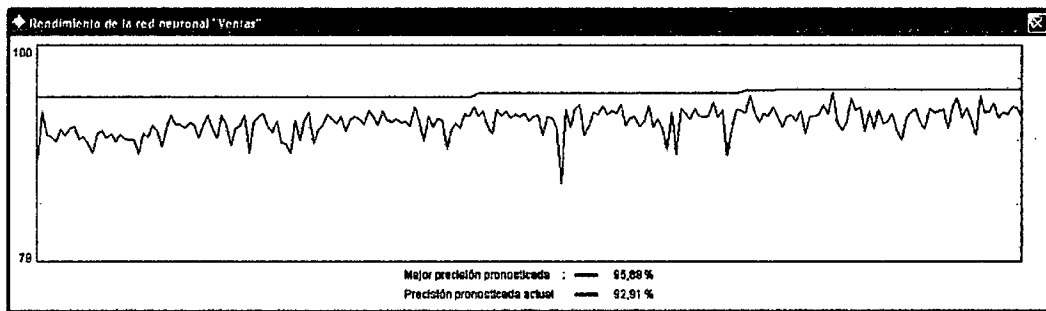
**FUENTE: SPSS Clementine**

#### 4.1.6 ENTRENAMIENTO DE LA RNA PODA EXHAUSTIVA

Para entrenar a la red es necesario inicializar los valores que por defecto establece el software de apoyo SPSS Clementine, para este caso la inicialización de los valores es aleatoria.

El factor de aprendizaje (alfa) será de 0.95 que es el más recomendado por la RNA Poda Exhaustiva.

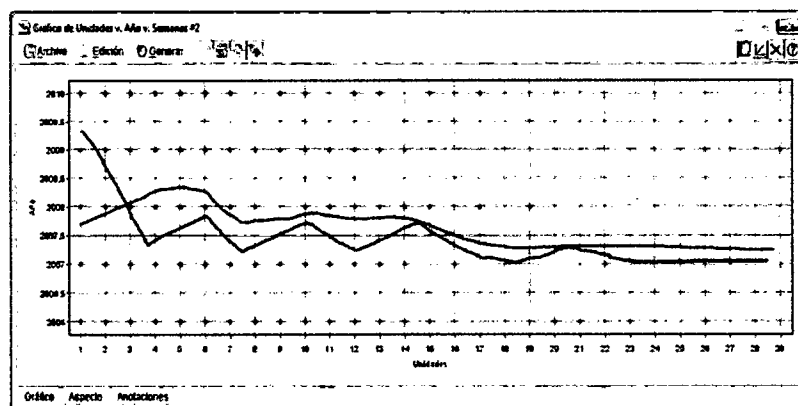
**FIGURA No 23: Proceso de aprendizaje de la RNA Poda Exhaustiva**



**FUENTE: SPSS Clementine**

En la figura 23 se observa la tendencia que busca acercarse al valor real a medida que va entrenando la red.

**FIGURA No 24: Comparación del ajuste de la RNA Poda Exhaustiva con data real**



**FUENTE: SPSS Clementine**

En la figura anterior se observa que existe poca diferencia entre la data deseada (data real) y la RNA Poda Exhaustiva, como consecuencia del error cuadrático medio empieza a decrecer. En efecto, de acuerdo a los resultados presentados se deduce que la red presenta el grado de validez para realizar los pronósticos de ventas.

**TABLA No 10: Estadísticos de rendimiento del modelo RNA poda exhaustivo**

		Redes Neuronales	Error típico de la media (MSE)
Venta	Media	107.815	<b>0.989</b>
	Varianza	254.533	
	Desviación típica (MAD)	<b>15.954</b>	
	Mínimo	69	
	Máximo	151	
	Rango	81	
	Recuento	260	

**FUENTE: SPSS Clementine**

De la tabla 10 se observa que la Desviación Absoluta Media (MAD) es de 15.954 unidades del cual se deduce que el promedio de las desviaciones del error es aceptable, y que el Error Cuadrático Medio (MSE) es de 0.989 unidades, por lo tanto se concluye que la RNA ha logrado un aprendizaje óptimo.

## **4.1.7 IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS DE PRONÓSTICO PARA LA TOMA DE DECISIONES**

### **4.1.7.1 Modelo estadístico de Series de Tiempo**

Para tomar decisiones respecto a qué modelo de pronóstico se debe implementar se diseñó una ficha técnica para cada herramienta analítica usada; los cuales reúnen la información relevante para la toma de decisiones.

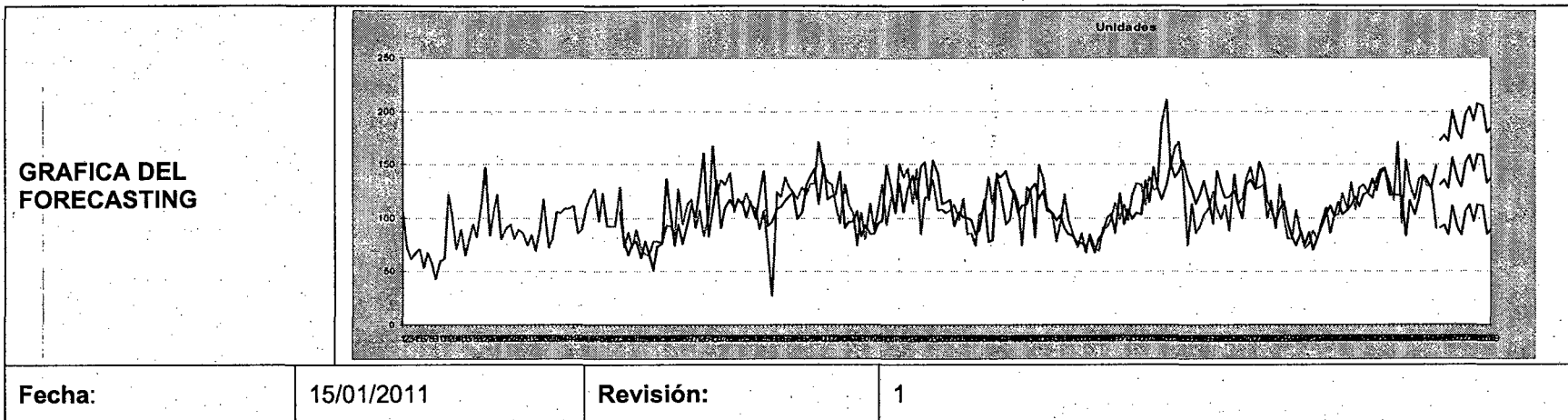
En la ficha técnica se incluye el modelo de pronóstico con mayor eficacia, con información relevante con relación a la variable de estudio, para este caso el comportamiento de las ventas. También se hace la documentación del análisis del pronóstico de la variable de estudio así como su gráfico correspondiente.

#### **4.1.7.1.1 Ficha técnica de la variable objetivo: VOLUMEN DE VENTA**

Se presenta la ficha técnica con el análisis de los resultados del método de serie de tiempo más eficaz. A continuación se presenta la ficha técnica (tabla 11):

**TABLA No 11: Ficha técnica del mejor modelo que se ajusta a la variable de estudio**

<b>Código</b>	A01197					
<b>Nombre Medicamento</b>	VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS					
<b>Técnica de pronóstico</b>	Series de Tiempo	<b>Periodo de Análisis</b>		Semanal		
<b>Objetivo</b>	Pronosticar las ventas semanales del medicamento A01197 para 52 semanas hasta diciembre del 2011.					
<b>Método con mayor eficacia</b>	Estacional aditivo					
<b>Indicador</b>	<b>HORIZONTE DE TIEMPO</b>			<b>PARAMETROS DE DESEMPEÑO</b>		
	<b>Comienzo</b>	<b>Fin</b>	<b>Nro. de Per</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAD</b>	<b>CONFIANZA</b>
	Ene, 2006	Dic, 2010	260	25.188	19.063	95%
<b>ANÁLISIS</b>	Tendencia		El comportamiento de las ventas se observa una tendencia secular pues es constante en el tiempo.			
	Estacionalidad		El comportamiento de las ventas presenta estacionalidad.			
	Predicción		El promedio de ventas para las 52 semanas del 2011, es de 7 unidades de este tipo de medicamento.			
<b>MÉTODOS DE PRONÓSTICO USADOS</b>	<b>Métodos estacionales</b>					
	Estacional Aditivo			Holt-Winters' Aditivo		
	Estacional Multiplicativo			Holt-Winters' Multiplicativo		
<b>RESÚMEN DE LA TÉCNICA</b>	El método de Estacional Aditivo (Seasonal Additive) tiene la menor desviación media (MAD) y el menor error cuadrático medio (RMSE) frente a los demás métodos, del cual se deduce que este método es el que tiene menos error en el pronóstico de ventas					
<b>RECOMENDACIONES</b>	De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que el método de series de tiempo presenta un margen de error no aceptable. Sin embargo las ventas reales de las 52 semanas en las cuales se ha hecho el pronóstico, se encuentran dentro del intervalo de confianza que ha sido calculado por el modelo estadístico a un 95% el nivel.					



De acuerdo a los resultados que se observa en la ficha técnica del método de series de tiempo, este método, en particular, no sería el apropiado para ser tomado como base para la toma de decisiones a nivel gerencial.



#### **4.1.7.2 Modelo de Redes Neuronales Artificiales con Poda Exhaustiva**

Para tomar decisiones respecto a qué modelo de pronóstico ha de implementar o si el modelo de pronóstico fue óptimo, se ha diseñado una ficha técnica para este modelo de pronóstico que reúne la información relevante para la toma de decisiones.

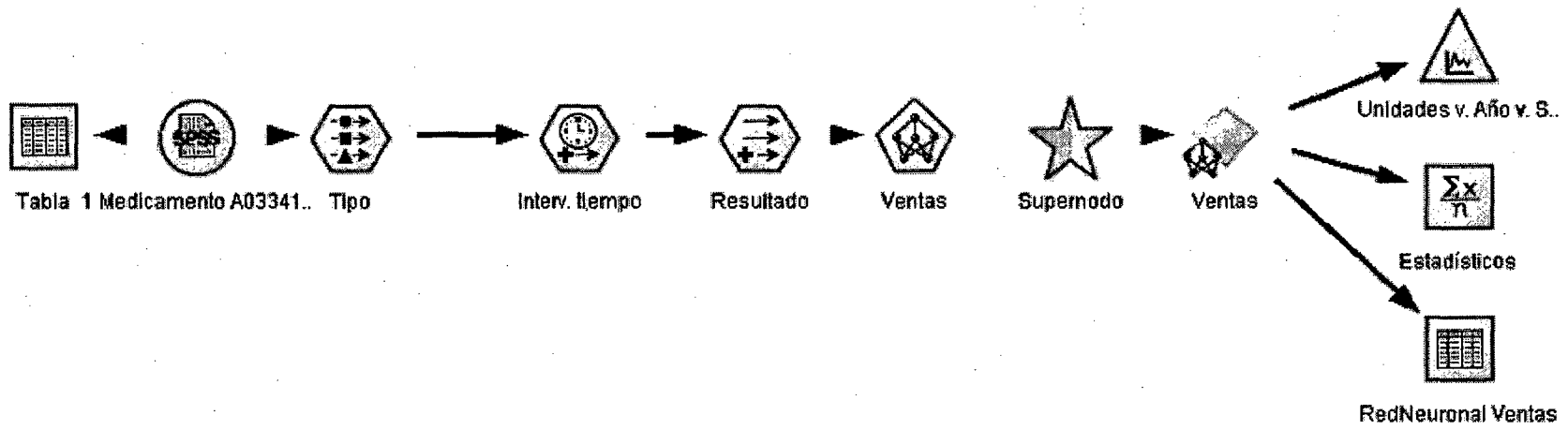
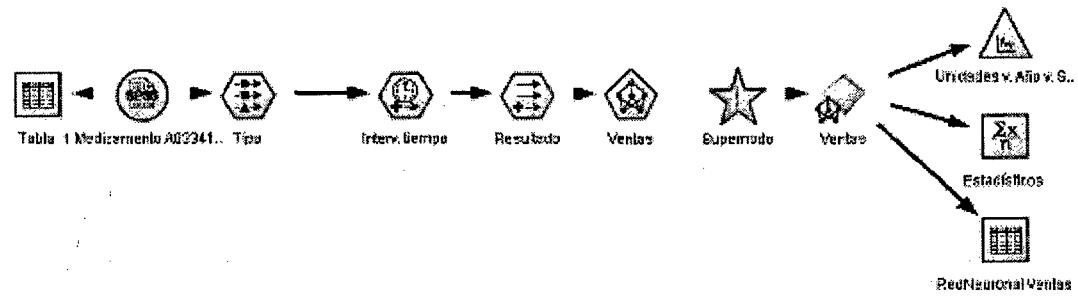
En la ficha del modelo de pronóstico se presenta la información de la variable de estudio, para este caso el comportamiento de ventas. Además también contiene el modelo detallado del aprendizaje de la RNA.

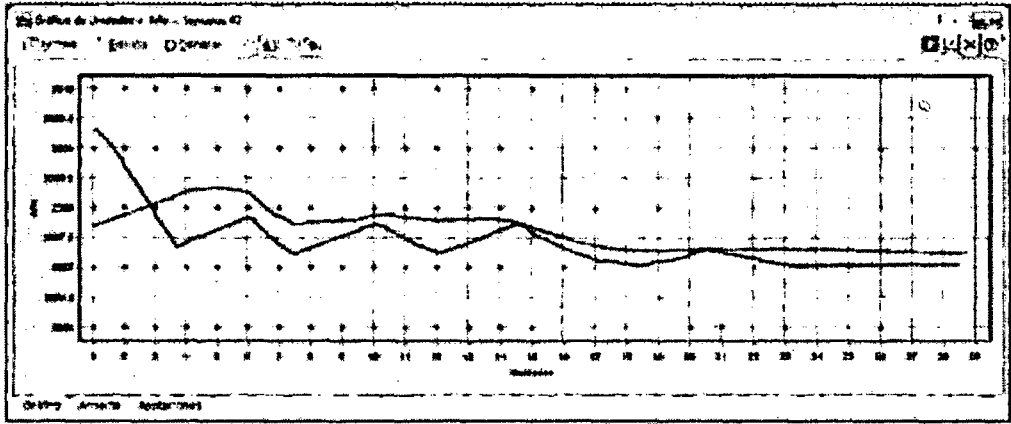
### 4.1.7.3 Ficha de información general del modelo de RNA Poda Exhaustiva

**TABLA No 12: Ficha técnica RNA**

<b>MODELO DE PRONOSTICO</b>	<b>TIPO DE ESCENARIO</b>
RNA PODA EXHAUSTIVA	PROBABLE / ALTERNATIVO
<b>TIPO DE ACTITUD</b>	<b>DESCRIPCION</b>
PRE-ACTIVA / PRO-ACTIVA	El escenario que permite construir es modelo de pronostico basado en RNA Poda Exhaustiva, es de tipo Probable el cual nos permite tener una actitud pro-activa
<b>TECNICA DE PRONOSTICO</b>	RNA Poda Exhaustiva
<b>PERIODO DE ANALISIS</b>	Semanal
<b>PUNTOS DE CONTROL</b>	Fin de Año
<b>OBJETIVOS</b>	Pronóstico, Tendencias y Ciclos
<b>RESUMEN DE LA TECNICA</b>	
Luego de las pruebas realizadas con diferentes tipos de entrenamientos de RNA, la Poda Exhaustiva se ha visto como la más certera y precisa porque entrena hasta que los valores sean similares,	

**METODO DE PRONOSTICO**



MODELO DE PRONOSTICO	TIPO DE ESCENARIO
RNA PODA EXHAUSTIVA	PROBABLE / ALTERNATIVO
TIPO DE ACTITUD	DESCRIPCION
PRE-ACTIVA / PRO-ACTIVA	El escenario que permite construir es modelo de pronostico basado en RNA Poda Exhaustiva, es de tipo Probable el cual nos permite tener una actitud pro-activa
TECNICA DE PRONOSTICO	RNA Poda Exhaustiva
PERIODO DE ANALISIS	Semanal
PUNTOS DE CONTROL	Fin de Año
OBJETIVOS	Pronóstico, Tendencias y Ciclos
RESUMEN DE LA TECNICA	
Luego de las pruebas realizadas con diferentes tipos de entrenamientos de RNA, la Poda Exhaustiva se ha visto como la más certera y precisa porque entrena hasta que los valores sean similares,	
METODO DE PRONOSTICO	
	

FUENTE: SPSS Clementine

#### 4.1.8 CUADRO COMPARATIVO DE LOS MODELOS DE PRONÓSTICO

Dada la naturaleza de esta investigación y como parte del proceso de obtención de la data base para la optimización, se hizo la prueba con cada modelo y por medio de la comparación de ciertos valores estadísticos entre ellos, se ha determinado lo siguiente:

Con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  % de error y tomando como criterios de decisión:

Los estadísticos a comparar serán los siguientes:

- a. MAD = Desviación absoluta media
- b. MSE = Error cuadrático medio

El modelo que presente un menor MAD y MSE se puede deducir que es el mejor método para el pronóstico de dicho medicamento.

**TABLA No 13: Comparación de estadísticos en cada método**

	Desviación Absoluta		Error Cuadrático Medio	
	Media			
Regresión Lineal	MAD =	25.017	MSE =	1.551
Series de tiempo	MAD =	19.063	MSE =	1.867
RNA poda exhaustiva	MAD =	15.954	MSE =	0.989

**FUENTE: SPSS Clementine**

Por lo tanto, ya que la Desviación Absoluta Media y el Error Cuadrático Medio del modelo RNA poda exhaustiva es menor que la Regresión Lineal y Series de Tiempo, se puede afirmar que el modelo RNA presenta un mayor nivel de desempeño, por ende un pronóstico más acertado, el mismo que servirá para la simulación con Redes Neuronales.

## **4.2 OPTIMIZACIÓN DEL INVENTARIO DE LOS MEDICAMENTOS DE LA CLINICA RICARDO PALMA**

### **4.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN**

En esta segunda parte se realiza el modelo de simulación considerando las variables que previamente se estudiaron en la sección anterior y que van a contribuir a buscar una solución para así optimizar el modelo.

En los apartados anteriores se ha indicado las variables que intervienen en un sistema de inventario, para tal fin se va a construir un modelo de simulación para luego simular con la herramienta de Crystal Ball.

### **4.2.2 ELABORACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

El primer paso para construir el modelo consiste en la definición de **tipos de variables** que intervienen en el modelo de lote económico con optimización basado en redes neuronales. A continuación se listan las variables incluidas en el modelo.

- a. **Cantidad a pedir.** La cantidad de artículo a pedir por cada orden de pedido.
- b. **Punto de reorden.** Conocido como stock de seguridad, es un número que está muy dependiente de la variabilidad del consumo.
- c. **Inventario inicial.** Es el inventario físico al inicio de operaciones, en nuestro caso es a inicio del 2010.
- d. **Tiempo de entrega.** Es el tiempo que se demora el pedido en llegar desde el momento que se solicita hasta la recepción del mismo.

- e. **Costos por orden.** ¿Cuál es el costo que representa a la empresa el hecho de colocar una Orden de Compra?, esto es el costo del área de Compras (Estos son salarios del gerente, jefes, analistas; uso de equipos, de teléfonos, internet, viajes, cursos, papel, etc.).
- f. **Costo de almacenamiento.** Se define como el costo de mantener una unidad o artículo durante un tiempo determinado. Los artículos que se almacenan, además están sujetos a costos de pérdidas por robo, obsolescencia y deterioro.
- g. **Costo por venta perdida.** Cuando una empresa por cualquier circunstancia no puede cumplir un pedido, por lo general ocurren dos comportamientos, que dan lugar a dos tipos de costos:
1. **Costo de ruptura.** Está representado por la falta de un artículo durante un tiempo determinado. La característica principal es que a pesar del incumplimiento, el cliente prefiere esperar.
  2. **Costo faltante.** Está representado por la falta de un artículo durante un tiempo determinado. En este caso la demanda no es cautiva, se pierde la venta y se pierde el cliente.
- h. **Costo total anual.** Es la variable objetivo que se va a minimizar, el siguiente modelo de costo que se deben expresar en la cantidad económica de ¿Cuánto pedir? Y el tiempo entre los pedidos ¿Cuándo pedir?:

$$\text{Costo Total} = \text{Costo Pedido} + \text{Costo Almacenamiento} + \text{Costo Ventas Perdidas}$$

La unidad de tiempo está en semanas, para el caso de estudio tomaremos la 52 semanas del año.

**i. Inventario virtual.** Es la cantidad de inventario del artículo físico más la cantidad en pedido, es la cantidad que se espera recibir.

**j. Inventario actual o físico.** Está determinado por la cantidad de inventario actual después de la demanda.

**k. Orden para recibir.** Es una condicional donde es verdadero si se ha recibido la orden de pedido, en caso contrario es falso.

**l. Unidad recibida.** Es la cantidad recibida de un artículo en un pedido.

**m. Demanda.** Es la cantidad en función a las variaciones de las ventas de un período anterior para ser pronosticadas para el siguiente período.

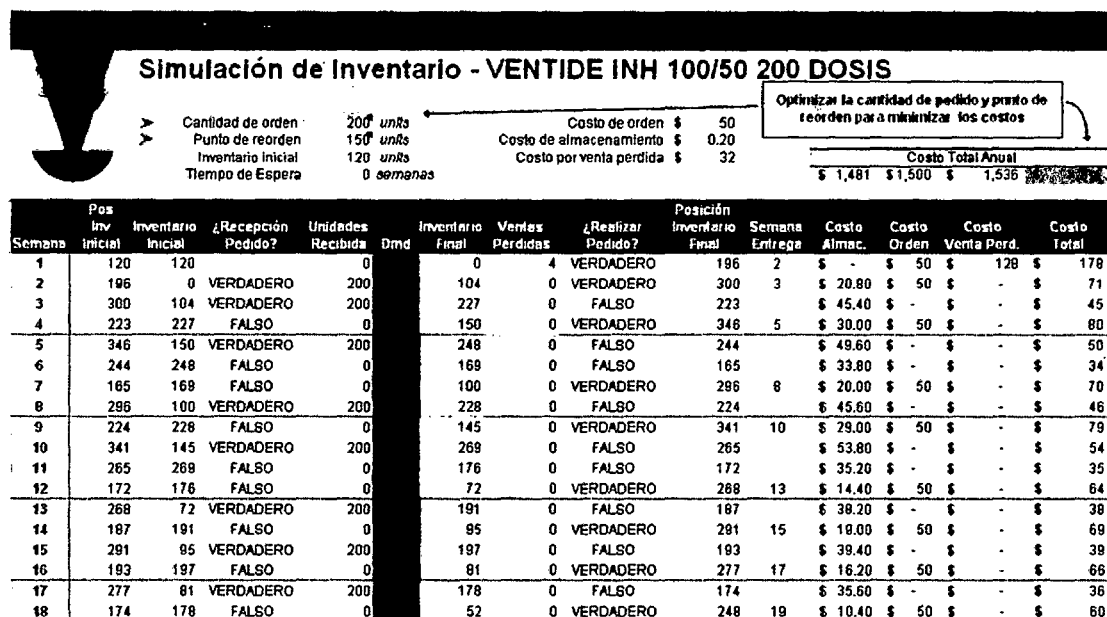
Siendo que Crystal Ball trabaja con variables de tipo Assumption (suposición), Decision (decisión) y Forecast (objetivo); conviene asignar las variables a los tipos designados en Crystal Ball. De este modo se tienen los siguientes grupos de variables:

- a. Suposición: Demanda del medicamento
- b. Decisión: Cantidad de orden, punto de reorden
- c. Objetivo: Costo total, la función objetivo.

En la figura 25 se observa el modelo de simulación para la optimización. Las celdas con color amarillo (decisión), verde (suposición) y turquesa (objetivo).



**FIGURA No 25: Modelo de optimización**



**FUENTE:** Inventory Simulation de Cristal Ball

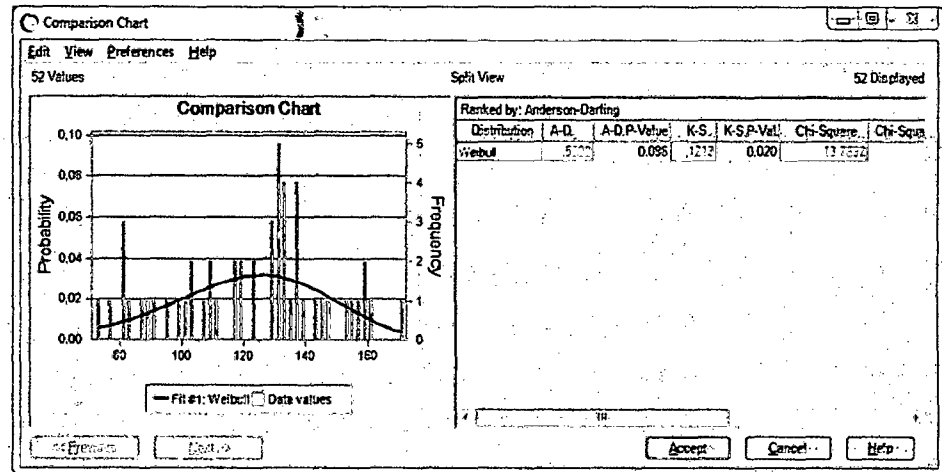
### 4.2.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Para el desarrollo del modelo de optimización con Crystall Ball, se considera el tiempo en semanas, es decir 52 semanas por año. Y, por cada medicamento se realiza un modelo para optimizar inventario de dicho medicamento.

**Medicamento:** VENTIDE INH 100/50 200 DOSIS.

a. **Variables de Suposición (Assumption).** Venta semanal, La demanda del medicamento semanal ha sido pronosticada con el método de de Redes Neuronales. Se tiene una data histórica desde el año 2006 para estimar la venta en las 52 semanas del 2010. El siguiente paso fue hallar el tipo de distribución estadística que se ajuste al valor de la demanda pronosticada. En la figura 26 se muestra el proceso de elección del tipo de distribución de la demanda del medicamento: Ventide Inh 100/50 200 dosis.

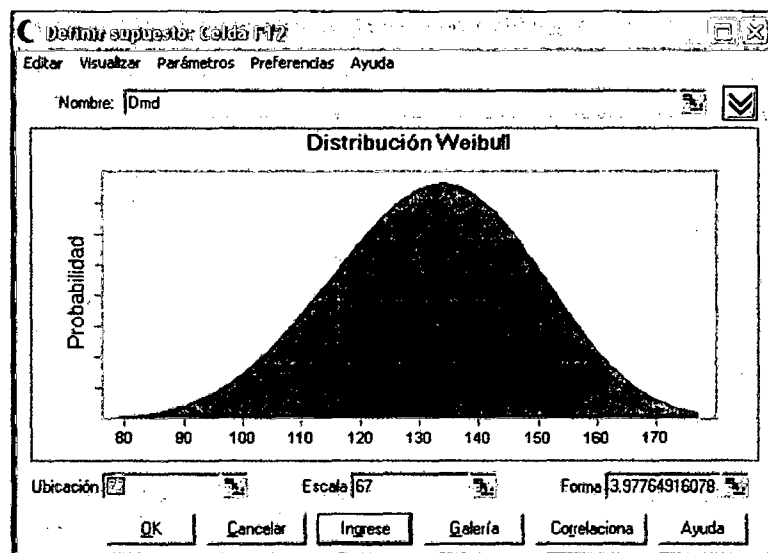
**FIGURA No 26: Distribución de la demanda**



**FUENTE:** Simulación de Inventarios de Crystal Ball

Es importante elegir la distribución que mejor se ajuste a los datos, de esto dependerá que los datos generados aleatoriamente sean válidos para el modelo. Seguidamente definiremos los valores de la demanda de cada semana como variables de tipo Suposición, elegiremos Weibull como el tipo de distribución y los parámetros pedidos. La figura 27 muestra este proceso.

**FIGURA No 27: Definiendo la variable suposición y el tipo de distribución**



**FUENTE:** Simulación de Inventarios de Crystal Ball

## b. Variables de Decisión (Decision)

1. **Cantidad de orden.** Esta es una de las dos variables con un alto grado de incertidumbre en el manejo de inventarios. Si el lote pedido es pequeño, se tendrá muchas órdenes de pedido, por consiguiente los gastos operativos se incrementan. La situación contraria sería lotes grandes de pedido, esta situación también representa un alto costo de mantener el stock y otros que se señalaron anteriormente. Primero se define la cantidad mínima y máxima de pedido. Esta variable está ligada a políticas de calidad y niveles de servicio establecidos por la clínica. Como no están aún definidos, sólo se analizó la data histórica de ventas de este medicamento. Cabe señalar que la cantidad de pedido u orden va a ser referencial, pues es muy incierta conocer el valor óptimo, pero una vez hecha la simulación y optimización se va a tener el valor de la cantidad de orden ideal. En la figura 28 se define la variable Cantidad de orden del tipo Decisión.

**FIGURA No 28:** Establecimiento cantidad de orden

Definir variable de decisión: Celda E3

Nombre: Cantidad de Orden

Límites

Inferior: 130.00

Superior: 400.00

Tipo

Continuo

Discreto

Paso: 5.00

OK Cancelar Ayuda

**FUENTE:** Simulación del Inventario con Cristal Ball

**2. Punto de reorden.** Esta es la otra variable de bastante incertidumbre en el manejo de inventarios. El punto de reorden también debe estar definido en las políticas de calidad de la empresa. Esta variable nos va a indicar el momento cuando es necesario realizar una orden de pedido para evitar un quiebre de stock, están vinculados los temas de cantidad de orden, stock de seguridad y el tiempo de espera (lead time), este último condiciona mucho esta variable.

El sistema también requiere el valor mínimo y máximo del punto de reorden. Puede darse el caso de presupuesto para la adquisición de más medicamento, el tema del espacio disponible para tal medicamento u otras variables. Esta es la variable a estimar y optimizar junto a la cantidad de orden. En la figura 29 se define la variable punto de reorden como una variable del tipo decisión.

**FIGURA No 29:** Estableciendo punto de reorden

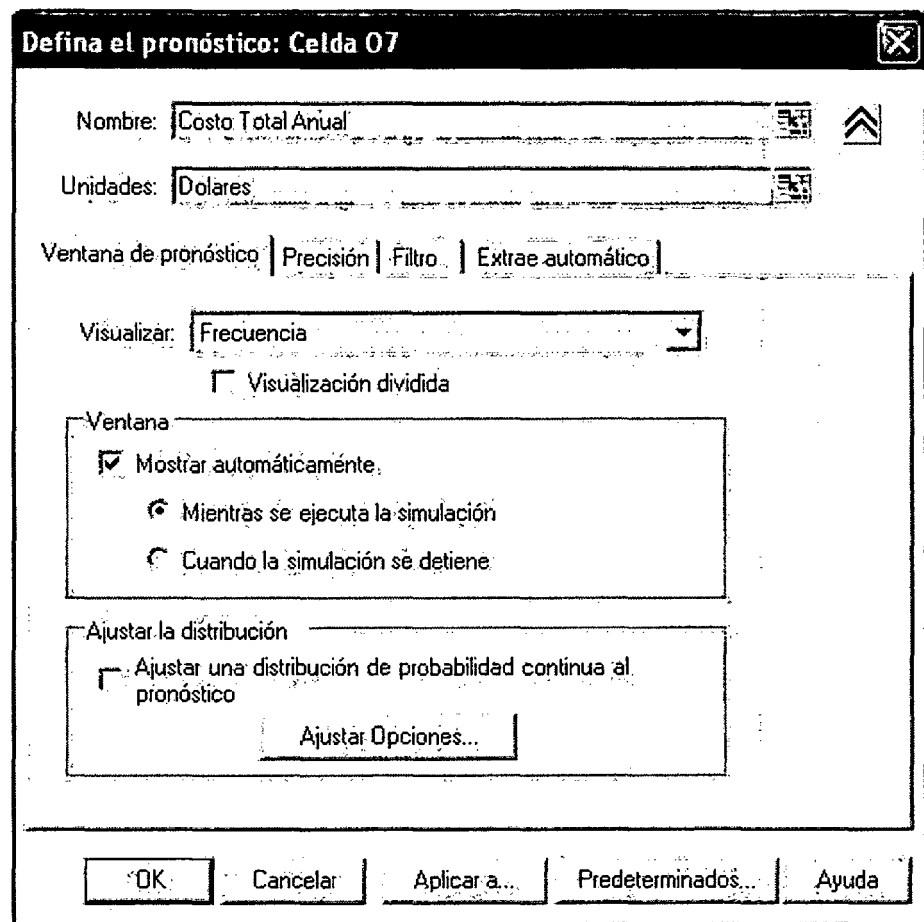
The image shows a dialog box titled "Definir variable de decisión: Celda E4". It has a standard Windows-style title bar with a close button. The main area contains the following elements:

- Nombre:** A text box containing "Punto de Reorden".
- Límites:** A section with two input fields: "Inferior:" with the value "130.00" and "Superior:" with the value "400.00".
- Tipo:** A section with two radio buttons: "Continuo" (unselected) and "Discreto" (selected). Below them is a "Paso:" field with the value "5.00".
- Buttons:** Three buttons at the bottom: "OK", "Cancelar", and "Ayuda".

**FUENTE:** Simulación del Inventario con Cristal Ball

c. **Variable Objetivo (Forecast).** Costo total anual: Esta es la variable objetivo del modelo construido. El propósito de todo el modelo es determinar los costos incurridos en las acciones propias del inventario como son: costos de almacenamiento, costo de venta perdida, costo por realizar el pedido. La sumatoria de estos costos nos va a proporcionar el costo total estimado en el periodo del 2011. En la figura 30 se muestra la definición de la variable Costo total anual como variable del tipo forecast y además es nuestra variable tipo objetivo.

**FIGURA No 30: Estableciendo la variable Objetivo**



**FUENTE: Simulación de Inventarios de Crystal Ball**

**d. Otras variables.**

**1. Costo de orden.** Esta variable está relacionada a la medición del costo generado por todas las actividades realizadas desde iniciado el pedido, hasta que el producto es recibido en almacén. Por ejemplo, el costo de las llamadas telefónicas para verificar el estado del pedido, envío de correos, fax, jefatura, pagos a personal dedicado al pedido, entre otros. Es independiente del tamaño del lote de pedido, está asociado únicamente a los costos generados al realizar el pedido y no al precio. Para el medicamento VENTIDE INH 100/50 se ha estimado el costo de \$ 50.00. Este monto se suma al costo total cada vez que se realiza un nuevo pedido.

**2. Costo de almacenamiento:** Esta variable está relacionada a la medición del costo generado por mantener el medicamento en almacén. Se asocian a este costo los intereses por capitales invertidos, seguros por mantener las existencias, iluminación, equipos de refrigeración, equipos de manipulación.

Es calculado entre el total de medicamentos existentes en el almacén, ponderando este valor, incluso por m<sup>2</sup> ocupado por tipo de medicamento en ese distrito considerando el Autovalúo.

El costo por mantener cada unidad del medicamento VENTIDE INH 100/50 se calculó en \$ 0.20.

**3. Costo de venta perdida.** En muchos casos este valor no es tomado a la hora de hacer los cálculos de costos. Pero es importante incluirlo en nuestro sistema pues la pérdida de una

venta va más allá de la simple pérdida de una oportunidad, detrás de ello hay un cliente insatisfecho, de esta manera afectar la imagen de la empresa. En este caso, el monto calculado corresponde a la ganancia que se hubiera obtenido de haberse concretado la venta, \$ 32.00 para el medicamento VENTIDE INH 100/50.

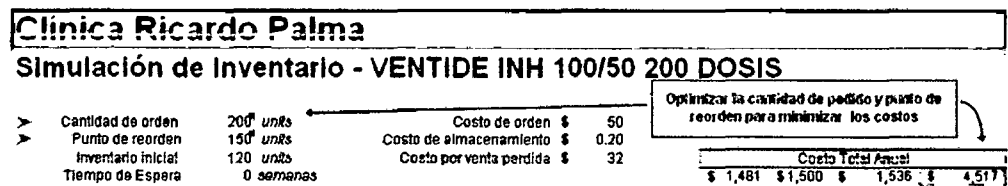
4. **Tiempo de Espera.** El tiempo de espera (lead time) es el tiempo que transcurre desde que se inicia el pedido hasta el momento que el medicamento está disponible al cliente. Según la política de inventario para la clínica, se ha determinado que las ordenes de compra no atendidas dentro de las 72 horas (3 días) se dan por canceladas, entonces para la estimación se tomó las 48 horas en promedio que demora el proveedor del medicamento en traerlo al almacén más 1 día para su ingreso y disponibilidad. Entonces calculamos que un pedido debe de recibirse dentro de la semana, por lo tanto el valor de tiempo de espera por semana es 0 (cero).

#### **4.2.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE SIMULACIÓN**

El sistema busca reducir la incertidumbre a la hora de decidir la cantidad de medicamentos a pedir, estimando la demanda semanal del medicamento; como también en qué momento pedir en función a la demanda semanal del medicamento. Estas variables muy inciertas están ligadas al costo total del inventario, de manera que al optimizar estas variables se reduce los costos totales.

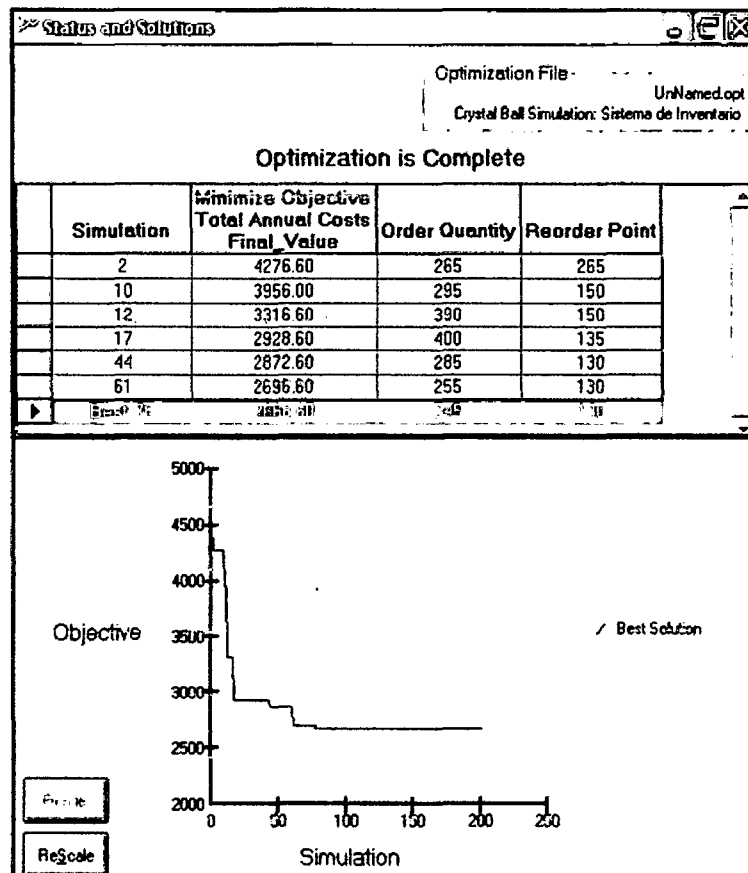
a. Estado inicial del modelo y simulación. El estado inicial de la simulación ya muestra cierto grado de optimización con las variables. La demanda ya ha sido pronosticada y validada por las 52 semanas del año, de manera ya se cuenta con un valor estimado del costo total anual que asciende a los \$ 3,157 como se muestra en la figura 31. La figura 32 muestra un grafico de la mejor solución que nos da como resultado de la simulación.

**FIGURA No 31: Estado antes de la Simulación**



**FUENTE:** Simulación de inventarios de Crystal Ball

**FIGURA No 32: El gráfico muestra la mejor solución del modelo**



**FUENTE:** Simulación de inventarios de Cristal Ball



La siguiente tabla 14 muestra la mejor solución hallada para nuestras variables, después de haber simulado con 1000 iteraciones.

**TABLA No 14: La mejor solución**

<b>Objectives</b>	<b>Best Solution:</b>
Minimizar el Valor Final del Costo Total Anual	\$2,669
<b>Decisión variables</b>	<b>Best Solution:</b>
Cantidad de Pedido	245
Punto de reorden	130

**FUENTE:** Simulación de Inventarios de Crystal Ball

### **4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

#### **4.3.1 HIPÓTESIS GENERAL**

Según la naturaleza de esta investigación científica, la única forma de corroborar la solución tentativa planteada o la hipótesis es por medio de la comparación de ciertos valores obtenidos antes y después del proceso de evaluación, pruebas y simulación.

Para ello tenemos en el cuadro 15, el costo total anual inicial de US\$ 4,517 frente a un costo total anual optimizado de US\$ 2,669, igualmente la cantidad de pedido inicial de 200 unidades frente al optimizado de 245 unidades, entonces, se confirma que el sistema de inventarios con redes neuronales recurrentes, logra optimizar el abastecimiento de medicamentos para la Clínica Ricardo Palma, porque tenemos la

cantidad a pedir y el costo total óptimos, logrando además un ahorro del 41% aproximadamente.

**TABLA No 15:** Tabla de soluciones del modelo

	Valor inicial	Valor optimizado
Costo total anual \$	3.157	2.669
Cantidad de pedido	200	245
Punto de reorden	150	130
Ahorro	-	40.92%

**FUENTE:** Simulación de Inventarios de Crystal Ball

#### 4.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

4.3.2.1 El costo de adquisición inicial fue de US\$ 1,500 frente a un costo de adquisición final optimizado de US\$ 1,250, por lo tanto, se confirma que el sistema de inventarios con redes neuronales recurrentes, logra optimizar el costo de adquisición para el abastecimiento de medicamentos de la Clínica Ricardo Palma, porque se obtiene el costo óptimo, logrando además un ahorro del 17% aproximadamente.

4.3.2.2 El costo de almacenamiento inicial fue de US\$ 1,481 frente a un costo de almacenamiento final optimizado de US\$ 1,291, por lo tanto, se confirma que el sistema de inventarios con redes neuronales recurrentes, logra optimizar el costo de almacenamiento para el abastecimiento de medicamentos de la Clínica Ricardo Palma, porque se obtiene el costo óptimo, logrando además un ahorro del 13% aproximadamente.

4.3.2.2 El costo de escasez inicial fue de US\$ 1,536 frente a un costo de escasez final optimizado de US\$ 128, por lo tanto, se confirma que el sistema de inventarios con redes neuronales recurrentes, logra optimizar el costo de escasez para el abastecimiento de medicamentos de la Clínica Ricardo Palma, porque se obtiene el costo óptimo, logrando además un ahorro del 92% aproximadamente.



## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

**5.1.1** De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que el método de series de tiempo presenta un margen de error promedio de 1.867 unidades, de este resultado se deduce que el método no es recomendable para el pronóstico de la demanda de ventas del medicamento seleccionado para estudio, por que no tiene en mínimo error.

**5.1.2** Además, también se concluye que el modelo de regresión lineal no puede ser utilizado, porque presenta un margen de error de 1.551 unidades, que tampoco cumple con el error mínimo.

**5.1.3** Al comparar el pronóstico de ventas utilizando los métodos de las series de tiempo y regresión lineal, se concluye que el modelo de RNA tienen mayor precisión en el pronóstico frente a los modelos de series

de tiempo y regresión lineal, porque su error es de 0.989 unidades, logrando la mejor solución y uso del método.

**5.1.4** Las actividades de gestión de inventarios están condicionadas por ciertas variables que poseen un elevado grado de incertidumbre en cuanto a su valor o elegir un valor óptimo. Para determinar este valor es necesario un estudio exhaustivo, previendo su impacto en el valor del costo total.

**5.1.5** Un sistema de inventario como el planteado, considerando el pronóstico de la demanda y variables de incertidumbre como son la cantidad de orden, punto de reorden, calculando el costo total, nos da una gran ventaja a la hora de evaluar el impacto de nuestras políticas de inventario.

**5.1.6** El modelo planteado muestra una interfaz bastante intuitiva, donde podemos evaluar fácilmente el costo total final del medicamento al final de año. Además podemos conocer cantidad a pedir y cuándo pedir, de manera que se optimicen costos y tiempos.

**5.1.7** Los resultados dan evidencia que se lograría un ahorro de 41% en costos de inventario de este medicamento, manipulando las variables de incertidumbre que son la cantidad a ordenar y el punto de reorden.

**5.1.8** El modelo planteado contribuye a controlar los costos de almacenamiento, costos de los pedidos y los costos por venta perdida, que a menudo es ignorado, reduciendo de esta manera la pérdida de

ventas por quiebre de stock, maximizando ingresos y previniendo un posible daño en la imagen de la institución por clientes insatisfechos

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- 5.2.1** Para darle continuidad a este tipo de pronóstico de ventas, se recomienda contar con la ayuda de personal con cierta experiencia en el tema de ventas de medicamentos. Se debería definir un nuevo rol que se encargue de monitorear los cambios en las ventas de medicamentos en un período determinado.
- 5.2.2** Para la aplicación de modelo de regresión lineal en un futuro trabajo, se recomienda que se realice un análisis estadístico sobre otras posibles variables que influyan en la venta del medicamento analizado.
- 5.2.3** Puesto que para extraer la data histórica procesada de acuerdo al tiempo se necesita de todo un proceso, que incluye la elaboración de consultas pl/sql, realización de pruebas de las mismas y la preparación de los reportes, se recomienda que se asigne personal con conocimiento y experiencia en Inteligencia de negocios (BI), dentro del Departamento de Sistemas.
- 5.2.4** La data histórica constituye un importante elemento al momento de plantearse un modelo de simulación y optimización. Por tanto es recomendable tener una data histórica preparada de por lo menos 3 años de las compras y ventas del medicamento.

**5.2.5** Los datos de las ventas deben de ser analizados y posteriormente realizar un pronóstico para el periodo siguiente que se requiere simular. Esta data simulada debe de tener un nivel de confianza válido probado estadísticamente.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. **Tiempo de espera.** Se define como el lapso de tiempo requerido para realizar un proceso o un conjunto de actividades.
2. **Inventario final.** Este inventario se realiza al término del ejercicio económico, generalmente al finalizar el periodo y puede ser utilizado para determinar una nueva situación patrimonial, en ese sentido, después de efectuadas las operaciones mercantiles de dichos periodos.
3. **Inventario inicial.** Es el que se realiza al dar inicio a las operaciones.
4. **Inventario en tránsito:** Es utilizada con el fin de sostener las operaciones para abastecer los conductos que ligan a las compañías con sus proveedores y sus clientes, respectivamente. Existe porque un material debe moverse de un lugar a otro, mientras el inventario se encuentra en camino, no puede tener una función útil para las plantas y los clientes, existen exclusivamente por el tiempo de transporte.
5. **Inventario mínimo:** Es la cantidad mínima del inventario a ser mantenida en el almacén.



6. **Inventario disponible.** Es aquel que se encuentran disponibles para la producción o venta.
7. **Inventario de seguridad:** Son aquellos que existen en un lugar dado de la empresa como resultado de incertidumbre en la demanda u oferta de unidades en dicho lugar. Los inventarios de seguridad concernientes a materias primas, protegen contra la incertidumbre de la actuación de proveedores debido a factores como el tiempo de espera, huelgas, vacaciones o unidades que al ser de la mala calidad no podrán ser aceptadas. Se utilizan para prevenir faltantes debido a fluctuaciones inciertas de la demanda.
8. **Inventarios de lote o de tamaño de lote.** Estos son el tamaño que se piden en tamaño de lote porque es más económico hacerlo así que pedirlo cuando sea necesario satisfacer la demanda.
9. **Demanda.** También denominada consumo o uso, es el factor más importante en el control de los inventarios. La principal finalidad de un análisis de los inventarios consiste en prever lo que se ha de consumir en un tiempo futuro, con objeto de mantener existencias suficientes para las necesidades de ventas y producción y no excederse en la inversión y en los costos de almacenamiento.  
  
La demanda se considera como lo que ha de consumirse, por salidas de materiales para producción o de productos terminados, para ventas, en cierto período que puede ser anual, semestral, mensual, semanal o diario. Se expresa en términos de cantidad de unidades que aumentan o disminuyen las existencias. También se expresa en

valores, los cuales, a su vez, se presentan en términos de precios de adquisición.

**10. Lote.** Un conjunto de unidades o piezas, contadas pesadas o medidas, que integran la cantidad ordenada en un pedido de compra o en una orden de producción, se denomina lote.

**11. Punto de reorden.** El punto de reorden está determinado por: la cantidad que represente el uso normal durante el tiempo que lleva el reabastecimiento, más la cantidad de reserva que se mantiene para los imprevistos de variación en las entregas o en el consumo.

La incidencia de faltantes puede reducirse a un mínimo si se efectúa un buen cálculo del punto de reserva y se lleva un constante control de él, para ajustarlo a las necesidades cambiantes de los mercados de abastecimientos y de ventas.

**12. Costo de almacenamiento.** Los costos anuales de almacenamiento de existencias se expresan como un porcentaje del promedio anual del valor de inventario; incluyen gastos de caja, así como costos intangibles pero reales.

**13. Probabilidad.** En las fórmulas empleadas utilizaremos la probabilidad como un factor de posibilidades de que ocurre un evento en 100 frecuencias; por tanto, se expresa por ciento de probabilidades de que ocurra un hecho o un evento

**14. Costo del pedido.** Cada vez que se formula un pedido de compra se gasta tiempo y, por consecuencia, dinero en todos los departamentos que intervienen en él. Para obtener el costo de pedir, se acostumbra sumar los gastos anuales de los departamentos que intervienen en

elaboración de un pedido y se divide el importe entre el número de pedidos por año. De ésta manera, se obtiene el costo unitario por pedido de compra

**15. Algoritmo genético.** Técnica basada en la selección natural. La generación de cadenas de bit son creadas y evaluadas usando operaciones similares a la genética, para encontrar la solución más próxima a la óptima.

**16. Neurona.** Es un dispositivo que transforma (en su soma o cuerpo celular) varias señales de entrada (dendritas) en una única salida (axón). Una neurona es un microprocesador simple con una capacidad limitada de cómputo, restringida a un conjunto elemental de instrucciones (sumas y productos) y una memoria pequeña para almacenar pesos y activaciones.

**17. Redes neuronales.** Sistema que emula el sistema nervioso humano, así como el procesamiento de la información del cerebro. Las redes nerviosas son usadas entre otras cosas en el procesamiento de señales y como sensores, y en el reconocimiento de patrones.

**18. Redes Neuronales Artificiales.** Es una estructura en muchos casos computacional que permite resolver diversos problemas de optimización, clasificación, reconocimiento, etc., para lo que deben ser sometidas a un proceso de entrenamiento usando un conjunto de patrones conocidos. Una vez que la red ha aprendido a procesar correctamente estos patrones, ya está lista para responder a cualquier entrada, proporcionando una salida esperada.

- 19. Aprendizaje de las RNA.** A partir de ciertos datos y una vez elegida la arquitectura de red para determinado problema, los pesos de las conexiones se ajustan para codificar la información contenida en un conjunto de datos de entrenamiento. Los métodos de aprendizaje se clasifican dependiendo del tipo de información en aprendizaje supervisado (formados por parejas que constan de un vector de variables de entrada junto con sus salidas correspondientes) y aprendizaje no supervisado (los datos se presentan a la red sin información externa y la red tiene que descubrir por si misma patrones o categorías).
- 20. Función de estado.** Es una función lineal de las variables de entrada de la neurona, ponderada por unos coeficientes o pesos sinápticos, las cuales se determinan durante el proceso de aprendizaje o entrenamiento de la red. El resultado de la función de estado es el nivel de estímulo o potencial alcanzado por la neurona.
- 21. Función de transferencia o regla de activación.** Tiene como variable independiente el potencial y proporciona como salida la respuesta que experimenta la neurona ante el estímulo proporcionado por las variables de entrada.
- 22. Perceptrón multicapa.** Es básicamente un modelo simplificado de modo en que el cerebro humano procesa la información, funciona simultaneando un número elevado de unidades simples de procesamiento interconectadas que parecen versiones abstractas de neuronas.

**23. Optimización.** Se trata de determinar una función que sea óptima. En la gestión empresarial son decisiones que tratan de encontrar los niveles adecuados de inventarios, tesorería, producción, construcción, etc.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. ACCENTURE, SALVADOR S. (2008)  
"Supply Chain: ¿Cómo innovar? "  
Editorial. Prentice Hall, Volumen 12, Abril 2008.
2. ARISTIZÁBAL M. (2005)  
"Evaluación asimétrica de una red neuronal artificial"  
[<http://ideas.repec.org/p/bdr/borrec/377.html>]  
Consultado el 15 de enero del 2007.
3. BARCA R. (2004)  
"Pronóstico de Ventas"  
[[http://www.barcaauditores.com/Articulos/Pronostico\\_de\\_ventas.htm](http://www.barcaauditores.com/Articulos/Pronostico_de_ventas.htm)]  
Consultado el 24 de enero del 2007.
4. CHASE RICHARD B., JACOBS ROBERT Y AQUILANO NICHOLAS J.  
(2009)  
"Administración de Operaciones – Producción y Cadena de Suministros"  
Editorial Mc Graw Hill, Doceava Edición.
5. COLLIER DAVID A. Y EVANS JAMES R. (2008)  
"Administración De Operaciones – Bienes, Servicios y Cadenas de Valor",  
Editorial Cengage Learning, Segunda Edición.
6. COLLANTES Y OTROS (2004)  
"Predicción con redes neuronales artificiales: comparación con las metodologías de box y jenkins"  
[[http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702004000300002&lng=pt&nrm=iso](http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702004000300002&lng=pt&nrm=iso)] Consultado el 22 de enero del 2007.

7. COTTER, A.S.(2007)  
“The complexity of theorem and its application to Neural Networks”  
IEEE Trasactios on Neural Networks, vol. 1, num. 4.
8. DE LAGNOLO, MARCO ANTONIO (2008)  
“Costos de Inventarios, Planificación de Stocks y Aprovisionamiento”  
GestioPolis, 2008
9. DE LA FUENTE, DAVID, PINO RAÚL, PRIORE PAOLO Y PARREÑO JOSÉ (2007).  
“Aplicación de Redes Neuronales Artificiales a la Gestión de Inventarios de Productos de demanda Errática”.  
Editorial ETSII de Gijón, Universidad de Oviedo.
10. HERNÁNDEZ SAMPIERI (2007)  
“Metodología de la Investigación”  
Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición.
11. HILERA, JOSÉ R. / MARTINEZ VICTOR J. (2000)  
“Redes Neuronales Artificiales”.  
Editorial ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA
12. ISASI VIÑUELA, PEDRO (2005)  
“Redes de Neuronas Artificiales”  
Editorial Prentice Hall, Ediciones PEARSON.
13. KRAJEWSKI LEE, RITZMAN LARRY Y MALHOTRA MANOJ (2008)  
“Administración de Operaciones - Procesos y Cadenas de Valor”,  
Editorial Pearson Educación, Octava Edición.
14. LÓPEZ L. ÁNGEL., LÓPEZ GARCÍA, K. (2006)  
“Desarrollo de un sistema simulador y optimizador de inventarios”  
Editorial: Departamento de Actuaría y Matemáticas, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla. Mayo.
15. MONTES J. (2006)  
“Sistemas Expertos (SE)”  
[<http://www.gestiopolis.com/canales2/gerencia/1/sisexp.htm>] Consultado el 15 de marzo del 2006.
16. MORA J. (2004)  
“La inteligencia artificial aplicada a la valoración de inmuebles”.  
[[http://www.catastro.meh.es/esp/publicaciones/ct/ct50/\\_2E.pdf](http://www.catastro.meh.es/esp/publicaciones/ct/ct50/_2E.pdf)]  
Consultado el 15 de enero del 2008.
17. OLMEDO Y OTROS (2004)  
“Utilización de Redes Neuronales en la Caracterización, Modelización y Predicción de Series Temporales Económicas en un Entorno Complejo.”  
[<http://cabrillo.lsi.uned.es:8080/aepia/Uploads/23/52.pdf>] Consultado el 10 de enero del 2007.

18. PINO Y PARREÑO (2005)  
"Aplicación de Redes Neuronales al pronóstico a corto plazo del Precio de la electricidad en España"  
[<http://cio2005.uniovi.es/cio2005/VerDocumento.do;jsessionid=45BE49C72EB8DA0BDB56AA010E6ECC5?id=232&tipo=resumen>] Consultado el 16 de enero del 2007.
19. RIFO C. (2005)  
"Documento de apoyo y referencia para la asignatura Planificación de la Producción"  
[[http://weblogs.udp.cl/claudio.rifo/archivos/\(3565\)planificacion\\_de\\_la\\_Produccion.pdf](http://weblogs.udp.cl/claudio.rifo/archivos/(3565)planificacion_de_la_Produccion.pdf)] Consultado el 24 de enero del 2009.
20. RUIZ N. (2006)  
"El observatorio como herramienta para la gestión de la información y del conocimiento"  
[[http://www.sela.org/sela/docs/sela-iica/UCV\\_%20Prospectiva%20premisas%20conceptuales\\_NydiaRuiz.pdf](http://www.sela.org/sela/docs/sela-iica/UCV_%20Prospectiva%20premisas%20conceptuales_NydiaRuiz.pdf)] Consultado el 10 de enero del 2009.
21. SALINI Y PÉREZ (2006)  
"Time series analysis of atmosphere pollution data using artificial neural networks techniques"  
[<http://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v14n3/art12.pdf>] Consultado el 18 de enero del 2008.
22. SERRANO Y GALLIZO. (2005)  
"Las redes neuronales artificiales en el tratamiento de la información financiera"  
[<http://ciberconta.unizar.es/Biblioteca/0004/SerGall96.html>] Consultado el 22 de enero del 2007.
23. STONER J. A. F., FREEMAN R. E., DANIEL R. G. (1996).  
"Administración"  
6ta edición. México: Pearson / Prentice Hall. 740 p.
24. TAO Y LIM (2001)  
"Guidelines for Financial Forecasting with Neural Networks"  
[[http://www2.cs.uregina.ca/~jtyao/Papers/guide\\_iconip01.pdf](http://www2.cs.uregina.ca/~jtyao/Papers/guide_iconip01.pdf)] Consultado el 18 de enero del 2007.
25. TORO OCAMPO, ELIANA M. (2004)  
"Scientia et Technica"  
Editorial UTP ISSN 0122-1701, Año X, No 26, Diciembre 2004
26. VIDAL J. (2004)  
"The future of wind energy is forecasting".  
[<http://www.meteosim.com/premsa/energetica21.pdf>] Consultado el 9 de enero del 2007.



27. VILA D. (2006)  
"Use of QPE Flash Flood Forecasting: Some experiences on the Cuareim River"  
[<http://www.nws.noaa.gov/iao/FFW/2006/Presentations/Session%204/VILA-IMN-COSTA%20RICA.ppt>] Consultado el 18 de enero del 2007.
28. VINAGRE F. (2004)  
"Identificación y clasificación de series temporales numéricas mediante redes neuronales"

## **ANEXOS**

	<b>Página</b>
<b>ANEXO No 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO No 2: LISTA DE FIGURAS</b>	<b>132</b>
<b>ANEXO No 3: LISTA DE TABLAS</b>	<b>134</b>

## ANEXO No 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE POST GRADO  
 MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON MENCIÓN EN INGENIERÍA DE SISTEMA.

**"SISTEMA DE INVENTARIO PARA ABASTECIMIENTO DE MEDICAMENTOS Y SU OPTIMIZACIÓN CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES RECURRENTE APLICADO A UNA ENTIDAD PRIVADA DE SALUD"**

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Cómo, un sistema de inventario para abastecimiento de medicamentos, es optimizado utilizando redes neuronales artificiales recurrentes,</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Desarrollar e implementar un sistema de inventario para abastecimiento de medicamentos optimizado con redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>La implementación del sistema de inventario para abastecimiento de medicamentos en una entidad privada de salud logrará su optimización, aplicado redes</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Sistema de Inventario</p>			<p>Tipo: Básica</p> <p>Diseño: Transaccional</p> <p>Nivel de Contratación de la Hipótesis: Descriptiva y correlacional</p>
<p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p>• ¿Cómo los costos de adquisición para abastecimiento de medicamentos, son optimizados utilizando redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud?</p> <p>• ¿Cómo los costos de almacenamiento para abastecimiento de medicamentos, son optimizados utilizando redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud?</p> <p>• ¿Cómo los costos de escasez para abastecimiento de medicamentos, son optimizados utilizando redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud?</p>	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>• Analizar los costos de adquisición para abastecimiento de medicamentos optimizado con redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud.</p> <p>• Analizar los costos de almacenamiento para abastecimiento de medicamentos optimizado con redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud.</p> <p>• Analizar los costos de escasez para abastecimiento de medicamentos optimizado con redes neuronales artificiales recurrentes, aplicado a una entidad privada de salud.</p>	<p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>• Los costos de adquisición para abastecimiento de medicamentos en una entidad privada de salud lograrán su optimización, aplicado redes neuronales artificiales recurrentes.</p> <p>• Los costos de almacenamiento para abastecimiento de medicamentos en una entidad privada de salud lograrán su optimización, aplicado redes neuronales artificiales recurrentes.</p> <p>• Los costos de escasez para abastecimiento de medicamentos en una entidad privada de salud lograrán su optimización, aplicado redes neuronales artificiales recurrentes.</p>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Optimización de Inventarios usando redes neuronales recurrentes</p>	<p>- Costo de Adquisición</p> <p>- Costo de Almacenamiento</p> <p>- Costo de Escasez</p>	<p>- Entrevistas</p> <p>- Análisis de Documentos</p> <p>- Análisis de Proceso y Datos</p>	

## **ANEXO No 2: LISTA DE FIGURAS**

	Página
1. Identificación de los elementos críticos .....	34
2. La EOQ .....	37
3. El costo total anual de inventario de ciclo .....	39
4. Costos por mantenimiento de inventarios y hacer pedidos .....	40
5. Inventario disponible.....	46
6. Modelo de una Red Neuronal Artificial .....	63
7. Principales Funciones de Transferencia.....	65
8. Arquitectura de una RNA .....	67
9. Esquema de una neurona .....	69
10. Modelo de Entrada – Salida. ....	74
11. Modelo de Espacio de estado .....	75
12. Red Neural Concurrente Simple.....	76
13. Perceptrón multicapa recurrente .....	77
14. Red Neuronal de segundo orden.....	78
15. Red de Hopfield.....	79
16. Esquema de una RHONN continua.....	79
17. Esquema de una RHONN discreta.....	80
18. Esquema de investigación.....	82
19. Gráfica comparativa de la data real en contraste a la data ajustada con su pronóstico .....	91
20. Estructura del modelo de Regresión Lineal en SPSS Clementine .....	93
21. Configuración de una RNA Poda Exhaustiva .....	96
22. Estructura de una RNA configurada en el SPSS Clementine.....	96
23. Curva de aprendizaje de la RNA Poda Exhaustiva .....	97

24. Comparación del ajuste de la RNA Poda Exhaustiva con data real ...	97
25. Modelo de optimización .....	110
26. Distribución de la demanda .....	111
27. Definiendo la variable Assumption y el tipo de distribución .....	111
28. Establecimiento cantidad de orden.....	112
29. Estableciendo punto de reorden.....	113
30. Estableciendo la variable Objetivo.....	114
31. Estado antes de la Simulación .....	117
32. El gráfico muestra la mejor solución del modelo .....	117

### **ANEXO N° 3: LISTA DE TABLAS**

	Página
1. Niveles de servicio y factores de servicio .....	52
2. Funciones de activación habituales donde se han omitido algunas constantes.....	66
3. Data histórica de las variables de pronóstico .....	87
4. Análisis estadístico de la data histórica .....	88
5. Tabla de comparación de los métodos de series de tiempo.....	89
6. Pronostico de venta de 52 semanas y su intervalo de confianza .....	89
7. Data histórica de 2006 hasta 2009 del medicamento VENTIDE INH ...	92
8. Análisis del modelo de regresión lineal con dos variables indep. ....	94
9. Pronostico de Ventas en una RNA Poda Exhaustiva .....	95
10. Estadísticos de rendimiento del modelo RNA poda exhaustivo .....	98
11. Ficha técnica del mejor modelo que se ajusta a la var. de estudio...	100
12. Ficha técnica RNA.....	103
13. Comparación de estadísticos en cada método.....	106
14. La mejor solución .....	118
15. Tabla de soluciones del modelo .....	119