

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN TELEMÁTICA

**PROPUESTA DE UN MÉTODO DE ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIÓN
PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CÓDIGO DE BARRAS O RFID EN
LA CADENA DE SUMINISTROS DE LAS PYMES**

**TÉSIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN
TELEMÁTICA**

AUTOR: VLADIMIR SALVADOR IDROVO QUEZADA

DIRECTOR: ING. FABIAN GUSTAVO CABRERA ALBORNOZ. MSc.

Marzo 2015

CUENCA-ECUADOR



RESUMEN

En las Pymes, los códigos de barras, son ampliamente usados. Debido a su precio, popularidad y estandarización, están al alcance de todos. Su implementación, permite manejar de mejor manera los inventarios, la logística en general y los puntos de venta por mayor y menor. La introducción de la tecnología RFID (Identificación por Radio Frecuencia) mejora la efectividad de la operación en la cadena de suministros en general.

La decisión de adoptar uno de estos sistemas sin un análisis objetivo y claro de su eficacia en un entorno empresarial incierto, acarrea riesgos graves. Se requiere por lo tanto de una herramienta de toma de decisiones para que las empresas consideren la adopción de RFID o del Código de Barras en sus entornos de trabajo. Existen muchos criterios a considerar antes de tomar la decisión que permita implementar una herramienta que use una determinada tecnología para manejar la cadena de suministros dentro de una Pyme.

Este documento analiza éstas tecnologías, comparándolas en sus ventajas y desventajas, para determinar cuál adoptar como herramienta de trabajo, para llevar a cabo las operaciones en la cadena de suministros empresarial. Luego de ese análisis, se recopilan tres métodos estadísticos existentes para la toma de decisiones y posteriormente se propone un método, basado en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), para comparar y tomar decisiones adecuadas referentes a la adopción de una u otra tecnología. Finalmente, éste método se refleja, con el uso de Microsoft Excel en una herramienta automática y computarizada para la toma de decisiones.

PALABRAS CLAVES:

TOMA DE DECISIONES, RFID, AHP, PYME, CÓDIGO DE BARRAS



ABSTRACT

In Small and Medium Enterprises (SMEs), barcodes are used widely. Because of their price, popularity and standardization, are available to everyone. Its implementation allows better manage inventories, logistics in general and wholesale and retail points of sale. The introduction of RFID (Radio Frequency Identification) improves the effectiveness of the operation in the whole supply chain.

The decision to adopt one of these systems without an objective and clear effectiveness analysis in an uncertain business environment has serious risks. For this reason it requires a tool for decision making in businesses to consider adopting RFID or Barcode in their work environments. There are many criteria to consider before making the decision to implement a tool that allows you to use a particular technology to manage the supply chain within an SME.

This paper examines these technologies, comparing their advantages and disadvantages, to determine which one to adopt as a working tool, to conduct operations in the enterprise supply chain. After this analysis, three existing statistical methods for decision making are collected and then a method based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) to compare and make informed decisions on the adoption of either technology is proposed. Finally, this method is reflected, with the use of Microsoft Excel in an automatic and computerized tool for decision making.

KEY WORDS:

DECISION MAKING, RFID, AHP, SME. BAR CODE



INDICE DEL CONTENIDO

INTRODUCCION	1
1 RFID	3
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 RFID	4
1.3 INFRAESTRUCTURA RFID	6
1.4 RFID EN LAS CADENAS DE SUMINISTROS	7
1.5 SITUACION ACTUAL EN ECUADOR Y POSIBLES APLICACIONES	10
1.6 CONCLUSIONES	11
2 CODIGO DE BARRAS	13
2.1 INTRODUCCIÓN	13
2.2 EL CÓDIGO DE BARRAS	14
2.3 UNA BREVE HISTORIA	17
2.4 EL CODIGO DE BARRAS EN LA CADENA DE SUMINISTROS	19
2.5 ESTANDARES EN LOS CODIGOS DE BARRAS	24
2.6 CONCLUSIONES	26
3 COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS RFID Y CÓDIGO DE BARRAS EN LAS PYMES.	28
3.1 INTRODUCCION.	28
3.2 ENTORNOS DE TRABAJO RELACIONADOS CON EL CONTROL DE INVENTARIOS Y CADENAS DE SUMINISTROS.	28
3.2.1 SISTEMA DE CODIGO DE BARRAS.	28
3.2.1.1 Aplicaciones.	29
3.2.2 SISTEMA DE IDENTIFICACION POR RADIOFRECUENCIA (RFID).	30
3.2.2.1 Aplicaciones.	31
3.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	34
3.3 CONCLUSIONES	35
4 ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES CON HERRAMIENTAS EXISTENTES.	37
4.1 INTRODUCCIÓN	37
4.2 Toma de decisiones.	38
4.3 Métodos actualmente usados para la toma de decisiones.	39
4.3.1 Prueba t pareada o de distribución t de Student.	39



4.3.2	Prueba DID o diferencias en diferencias.	42
4.3.3	Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon.	45
4.4	CONCLUSIONES	46
5	PROPUESTA DE UN MÉTODO PARA TOMA DE DECISIONES.	48
5.1	INTRODUCCION	48
5.2	ANÁLISIS DE DECISIONES.	49
5.3	EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO.	51
5.3.1	Construcción de la jerarquía de decisiones	53
5.3.2	Comparaciones de parejas de los elementos de decisión.	54
5.3.2.1	Completar la matriz de comparación con los valores de juicio de valor.	57
5.3.2.2	Estimación de los pesos de los elementos de decisión.	58
5.3.3	Incorporación de los pesos de los elementos de decisión.	61
5.3.4	Determinación del puntaje final de Alternativas.	61
5.4	Aplicación práctica del método AHP a la toma decisiones del mejor sistema de identificación automática de productos en la cadena de suministros de una PYME.	62
5.4.1	Construcción de la jerarquía de decisiones	62
5.4.1.1	Definición de la Meta u Objetivo.	62
5.4.1.2	Definición de Criterios	63
5.4.1.3	Definición de Alternativas	64
5.4.2	Comparaciones de parejas de los elementos de decisión	64
5.4.3	Estimación de los pesos de los elementos de decisión.	66
5.4.4	Prueba de Consistencia.	68
5.4.5	CASOS DE ESTUDIO	70
5.4.5.1	CASO 1	70
5.4.5.1.1	COMPARACIONES POR PARES	70
5.4.5.1.2	Estimación de los pesos de los elementos de decisión.	72
5.4.5.1.3	Prueba de Consistencia.	74
5.4.5.1.4	RESULTADO	75
5.4.5.2	CASO 2	76
5.4.5.2.1	MATRICES DE COMPARACION POR PARES	76
5.4.5.2.2	Prueba de Consistencia.	77
5.4.5.2.3	RESPUESTA	78
5.5	APLICACION PROPUESTA	80
5.6	CONCLUSIONES.	82
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
7	BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE INFORMACION.	86
7.1	LIBROS Y DOCUMENTOS EN LINEA	86
7.2	WEB	90
8	ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS	92





Yo, Vladimir Salvador Idrovo Quezada, autor de la tesis "PROPUESTA DE UN MÉTODO DE ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CÓDIGO DE BARRAS O RFID EN LA CADENA DE SUMINISTROS DE LAS PYMES", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Marzo de 2015

Vladimir Salvador Idrovo Quezada

C.I: 010199659-3



Yo, Vladimir Salvador Idrovo Quezada, autor de la tesis "PROPUESTA DE UN MÉTODO DE ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CÓDIGO DE BARRAS O RFID EN LA CADENA DE SUMINISTROS DE LAS PYMES", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Magíster en Telemática. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Marzo de 2015

Vladimir Salvador Idrovo Quezada

C.I: 010199659-3



INTRODUCCION

El desafío de todas las empresas, el día de hoy es trabajar con eficiencia, productividad y competitividad y eso hace que busquen tecnologías que apoyen para alcanzar la meta fijada, pero también se buscan metodologías de apoyo a la toma de decisiones complejas, en escenarios de múltiples criterios de elección, para implementar las herramientas tecnológicas encontradas y deseadas, que, se piensa que van a ser la solución a las necesidades de esas empresas.

En el primer capítulo de este documento, se dará una breve introducción al uso de la tecnología RFID en las cadenas de suministros, así como su aplicación en los entornos de trabajo más comunes de manera general alrededor del mundo y se hará una aproximación al estado del arte en nuestro medio, con sus retos y posibles aplicaciones.

El capítulo 2, se enfocará en otra tecnología de identificación automática; el código de barras. Ya que hoy es casi indispensable para realizar tareas rutinarias como el levantamiento de inventarios, el registro de las mercancías vendidas, o el recibo y envío de mercancías de exportación con la presencia de sus barras características, colocadas en los productos.

Los códigos de barras, están presentes en todas las actividades de nuestra vida cotidiana, ya que los podemos encontrar en las tiendas y supermercados, en los documentos de identificación personal, en los pases de abordar de los tickets de avión, en los boletos del cine o del fútbol, en periódicos y revistas, en las medicinas, por mencionar algunos ejemplos.



Luego, en los dos posteriores capítulos, se mostraran las razones por las que las empresas usan las tecnologías de identificación automática, contrastándolas y tratando de hallar ventajas y desventajas, que hagan que los usuarios se inclinen por su uso, identificando factores claves en la gestión de la cadena de suministros.

Se verá la necesidad de métodos que permitan a los encargados de tomar decisiones en las empresas, hacer su trabajo más simple y efectivamente. Se recopilaran métodos estadísticos usados actualmente para cumplir con esta tarea, describiendo sus aspectos más relevantes.

En el último capítulo, debido a que existe software especializado para la toma de decisiones en general, pero la gran mayoría son de pago y/o demandan un tiempo elevado de entrenamiento y aprendizaje para poder aprovechar su potencial, se presentará un método fácil, rápido y flexible para la toma de decisiones acerca del uso de las tecnologías de identificación automática de productos por medio de código de barras y RFID. Se estudiará y aplicará el método de toma de decisiones multicriterio del Proceso analítico jerárquico o AHP por sus siglas en inglés, creando una aplicación automática usando una hoja de cálculo de Microsoft Excel.



1 RFID

1.1 INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de comunicaciones inalámbricas y/o móviles influyen en gran medida en el desarrollo de las industrias, muchas de las ocasiones gracias a los sistemas de Identificación por Radio Frecuencia (RFID¹). Hoy en día se utiliza RFID, para una amplia gama de aplicaciones que van desde la defensa y aplicaciones de carácter militar o de seguridad; pasando por la logística, el cuidado de la salud y la manufactura; hasta las ventas por menor.

La Identificación por Radiofrecuencia es una herramienta estratégica capaz de rediseñar procesos de negocio, reducir costos y aumentar el desempeño operacional. Adicionalmente fortalece la habilidad de mejorar el cambio organizacional y de manejar el crecimiento de una organización en un entorno que cada vez incrementa más su competitividad.

Es una tecnología que no es nueva, pues se puede decir que una insipiente primera aplicación se dio a finales de la década de los '30s, pero que se ha ido fortaleciendo y mejorando hasta lo que es hoy en día. La aplicación de ésta tecnología, ha ido evolucionando desde simplemente controlar la seguridad en tiendas de ventas por menor, hasta controles muy avanzados de inventarios y otros bienes de gran importancia en el ámbito hospitalario y militar.

¹ Radio Frequency IDentification.



En este capítulo se dará una breve introducción en el uso de la tecnología RFID en las cadenas de suministros, así como aplicación en los entornos de trabajo más comunes de manera general alrededor del mundo. Finalmente se hará una aproximación a la situación en nuestro medio, con sus retos y posibles aplicaciones.

1.2 RFID

Identificación por Radiofrecuencia o **RFID** por sus siglas en inglés, es una tecnología que se encuentra emergiendo y es usada para la identificación de objetos y/o personas, capaz de llevar a cabo el trabajo de una red computacional de forma omnipresente² y completa. Posee ventajas y beneficios frente a otros sistemas tradicionales de identificación automática.

La historia del RFID comienza en 1939, cuando en la segunda guerra mundial, el ejército inglés, mediante transpondedores³, creó e implementó en sus aviones el sistema de identificación de amigos o enemigos, (**IFF**⁴) por sus siglas en inglés. Pero es en 1960, que se da su primer uso a escala comercial con el desarrollo del equipo de vigilancia electrónica de artículos (**EAS**⁵).

En la década de 1990, básicamente los sistemas usados eran los de baja (125-134 kHz) y alta (13.56 MHz) frecuencia, se implementó en el cobro electrónico de los peajes y se dio la instalación de más de 3 millones de etiquetas de

² Presente en todas las etapas del proceso

³ Del inglés Transponder; **Trans**mitter y **Res**ponder. Transmisor y Contestador.

⁴ Identification Friend or Foe

⁵ Electronic Article Surveillance



RFID en los vagones del tren de Estados Unidos de Norteamérica. A inicios del nuevo milenio se usaban los sistemas de ultra alta frecuencia (860-960 MHz). (HUNT,D. PUGLIA, D., PUGLIA,M., 2007)

Últimamente, ha tenido una demanda creciente, porque se necesita cada vez más el uso de técnicas de identificación automática que faciliten las tareas cotidianas al manejar e incrementar los niveles de seguridad, mejorar el control o el seguimiento del acceso y reducir la mano de obra de algunas de las siguientes aplicaciones:

- Manejo de Cadenas de Suministros
- Sistemas de manejo de centros de almacenamiento
- Manejo de Inventarios al detal⁶
- Peajes de carreteras
- Transacciones automáticas de pago
- Manejo y seguimiento de activos de valor elevado
- Transporte público
- Industria automotriz
- Ganadería
- Hospitales y cuidado de la salud
- Sistemas de manejo farmacéutico
- Sistemas militares
- Operación de terminales marítimos
- Manufacturas

⁶ Por menor.

- Sistemas anti falsificación (LEE, Y.; CHENG,F.; LEUNG, Y., 2009)

1.3 INFRAESTRUCTURA RFID

Mediante la modulación y demodulación de una señal de radio, es posible identificar productos, animales y hasta personas con el propósito de hacer un seguimiento automático, ésto es lo que hace un sistema RFID. Un sistema básico de RFID (Figura 1) está compuesto por cuatro componentes que son:

- 1) Un lector RFID, que se compone de un transmisor-receptor con decodificador.
- 2) Una antena, que puede ser conformada por una espiral o bobina.
- 3) Una etiqueta o TAG, que es un transpondedor que contiene información del producto en el que está adherida, y
- 4) Una computadora y/o un sistema intermediario, que a su vez se comunica con una base de datos.

Fuente: Elaboración Propia

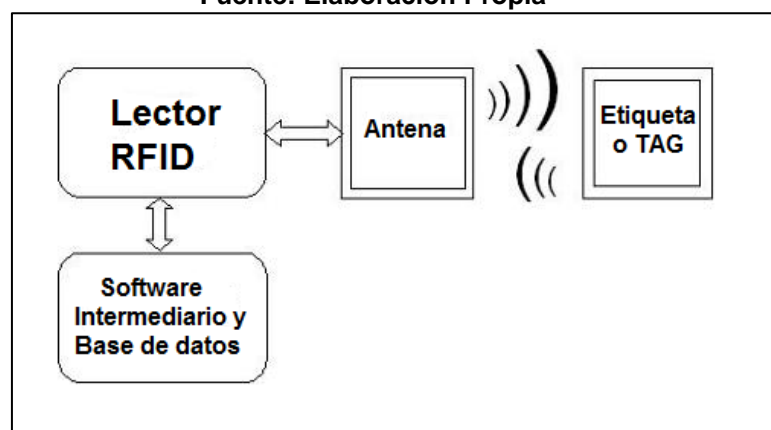


Fig. 1. Componentes de la Tecnología RFID



Mediante esta infraestructura la antena emite señales de radio que activan la etiqueta y lee o escribe información en la misma, muchas de las veces sin tener línea de vista o estando a algunos metros de distancia.

1.4 RFID EN LAS CADENAS DE SUMINISTROS

Hoy en día, RFID está siendo usada en una amplia gama de aplicaciones de tecnologías de comunicación móviles e inalámbricas y tiene influencia en muchas empresas, que van desde la venta al por menor hasta la manufactura, pasando por el cuidado de la salud, la logística y la defensa. En los negocios de hoy en día, su uso en el manejo de las cadenas de suministros a lo ancho del planeta, es muy importante. (KUMAR, S. , 2007)

Las principales ventajas de este sistema son: la cantidad de información que se puede almacenar, la posibilidad de leer-escribir en las etiquetas y la mayor eficiencia de operación. Sin embargo presentan algunas limitaciones técnicas, debido a que es una tecnología aún en desarrollo, pero existen en ejecución proyectos de investigaciones grandes y a escala mundial.

Los problemas más importantes que se producen en el manejo de la cadena de suministros no son causados por el flujo de los materiales o productos, sino que son el resultado del flujo de la información. (MYERSON, J., 2006).

La tecnología RFID provee precisión e información para el seguimiento de productos en la cadena de suministros (BREWER, A.; BUTTON, K.; HENSHER D., 2001), ya sea que los productos vengan en diferentes presentaciones como unidades, cajas o pallets. Los beneficios que nos aporta son: bajar los costos



laborales, incremento de la seguridad, incremento de la eficiencia de los procesos, incremento de la visibilidad e incremento de la precisión de todos los procesos relacionados.

Se puede afirmar que con el uso de RFID, la coordinación en la cadena de suministros es incrementada fuertemente, puesto que, disminuyen los errores de pronóstico, así como también la diferencia entre el inventario real y del sistema. La tecnología RFID tiene el potencial de reemplazar pronto a la tecnología de código de barras en las cadenas de suministros de muchas industrias.

El valor de la tecnología RFID en las cadenas de suministro y los beneficios de la inversión en esta tecnología es medido mediante cuatro factores: eficiencia, precisión, visibilidad y seguridad.

Eficiencia: los procesos de logística⁷ de la compañía, son simplificados, reestructurados y automatizados, así mismo las operaciones manuales son disminuidas, haciéndolos más eficientes y disminuyendo los costos de mano de obra.

Precisión: la precisión está relacionada a la calidad del proceso, medida mediante las tasas de error en cuatro tipos principales de errores:

Mermas en el inventario físico, debido al robo, obsolescencia y rotura de productos.

Extravío de mercaderías, que es una merma temporal en el inventario y que se da hasta que se cuente la mercadería o al final de cada periodo.

⁷ Flujo desde el origen hasta la entrega al usuario final.



Aleatoriedad en el rendimiento de los proveedores, lo que puede darse debido a una pérdida permanente o a un excedente en el inventario, en ambos casos por los errores de los proveedores.

Errores de transacción: que afectan el sistema de información, modificando el inventario físico, de manera diferente a los tres anteriores tipos de error.

Visibilidad: que provee la posibilidad de que las empresas puedan ajustar el inventario de manera que puedan responder mejor a la demanda.

Seguridad: las empresas se enfrentan actualmente a una alta incidencia de fraude, debido a pérdida de datos, empleados deshonestos y al crimen organizado, RFID es una herramienta muy útil en el incremento del nivel de seguridad en las tiendas y en la disminución de los costos por pérdidas de esta naturaleza. (DEHORATIUS, N., RAMAN, A., 2004)

RFID es la mayor tecnología de vanguardia para la integridad en la cadena de suministros y su trazabilidad, sobretodo, provee procesos más rápidos, menores inventarios y esfuerzos; y mejor calidad, que permite ahorro de costos. (TOMPKINS, A.; HARMELINK, D., 2004) Debido a que la estrategia de negocio está enlazada fuertemente a la inversión en tecnologías RFID, ésta inversión tiene naturaleza estratégica, ya sea por la innovación de procesos, por su importancia en la adopción en la reingeniería de procesos de negocio o por la habilitación de las capacidades de las tecnologías de la información. (Ustundag. 2013)

1.5 SITUACION ACTUAL EN ECUADOR Y POSIBLES APLICACIONES

Actualmente, el uso de RFID en Ecuador se ha dado solamente en aplicaciones de seguridad de mercaderías, específicamente en boutiques, farmacias y bibliotecas. Una de las principales cadenas de venta de alimentos⁸ tiene un proyecto de uso de la tecnología en el manejo de sus bodegas, incluyendo a un grupo de proveedores estratégicos.

Por el resultado de los proyectos llevados a cabo en otros países de Latinoamérica, se infiere que la aplicación de RFID en nuestras industrias es completamente factible, pero hay que tener en cuenta que se debe realizar una adecuada planificación, para su correcta implementación y ejecución.

Una de esas industrias es la del calzado, por ser una de las cinco más productivas del país y “una de las 12 apuestas productivas del actual gobierno” (Merchán et al. 2011). Es por eso que existen estudios e intentos de aplicación en la cadena de abastecimiento del calzado en nuestro país. Adicionalmente se prevé el interés en la tecnología de instituciones del estado como la Corporación Aduanera Nacional y el Servicio de Rentas Internas.

También se verían muy beneficiadas las empresas intermediarias de transporte, que permitirían un conocimiento oportuno y real de los movimientos de la carga y de su seguridad y visibilidad. Existe la posibilidad de crear un sistema integrado que permitiría intercambiar la información entre diferentes industrias e instancias, aunque esto implica niveles de alta complejidad, debido a la compatibilidad requerida. (Merchán et al. 2011)

⁸ Supermercados La Favorita

1.6 CONCLUSIONES

RFID es una tecnología emergente, que a pesar que se está usando desde hace mucho tiempo alrededor del planeta, es en este momento que se está desarrollando en mayor medida y su uso se está extendiendo.

Su uso pasó de ser solo una aplicación para control de seguridad en tiendas y boutiques a ser una tecnología fuertemente usada en control de inventarios, por ejemplo, para poder asegurar que una mercadería este permanentemente en stock cuando el cliente así lo requiera. Éste aspecto que es llamado visibilidad, es uno de los más afectados favorablemente con el uso y aplicación de esta tecnología en la cadena de suministro de las PYMES.

Otro aspecto que se toma mucho en cuenta y que también es muy influenciado de buena manera en la cadena de suministros es la trazabilidad, que no es otra cosa que el seguimiento de uno o un grupo de productos a lo largo de los diferentes procesos de negocios, desde su pedido, pasando por su entrega, etiquetado y almacenaje; hasta el momento de su venta.

La inversión en esta tecnología, tiene naturaleza estratégica, debido a que se da mucha innovación de procesos y también se impulsa a la reingeniería de procesos, puesto que se habilitan o comienzan a usar tecnologías de la información relacionadas.



RFID es de mucha ayuda para solucionar problemas suscitados por el flujo de la información deficiente dentro de la cadena de suministros de las empresas, puesto que provee de eficiencia y precisión a los diferentes procesos.

En el Ecuador su uso está extendiéndose, aunque se ve frenado por el alto costo de la infraestructura necesaria para funcionar, pero tiene su espacio de uso y aplicación en proyectos desarrollados por grandes cadenas de distribución de productos y además en organizaciones dedicadas al control de mercaderías e impuestos como son la Corporación Aduanera Ecuatoriana (CAE) y el Servicio de Rentas Internas (SRI).

Por todas estas razones, cabe señalar que esta tecnología va a tener muchos espacios de aplicación en los próximos años en nuestro medio y a nivel mundial.



2 CODIGO DE BARRAS

2.1 INTRODUCCIÓN

El código de barras, cumple la función primordial, dentro de las empresas de identificar las cosas que circulan, se producen, se transforman, se reciben o se envían. Hoy es inimaginable realizar tareas rutinarias como el levantamiento de inventarios, o el registro de las mercancías vendidas, o el recibo y envío de mercancías de exportación sin la presencia de un código de barras impreso en los productos.

Esta tecnología está presente en todas las actividades de nuestra vida cotidiana, ya que la podemos encontrar en las tiendas o supermercados, en los documentos de identificación personal, en los pases de abordar de los tickets de avión, en los boletos de cine o del fútbol, en periódicos y revistas, en las medicinas, es decir está en todas partes.

Se puede decir que, de cierta manera, para las empresas es la única manera de administrar adecuadamente los negocios de hoy en día, debido al hecho de poder contar con información oportuna y confiable, que permite al personal involucrado, la toma de decisiones oportunas que influyen directamente en el desempeño del negocio. El código de barras se ha convertido en una herramienta indispensable en nuestras vidas.

Para poner unos ejemplos: gracias al código de barras se puede conocer al momento la ubicación de un paquete enviado por un servicio de



mensajería desde el exterior y se puede saber con anticipación su posible arribo al destino. De igual forma cuando, en un hospital, se administra un medicamento a un paciente, se tiene la certeza de proporcionar el producto correcto.

Para una empresa de manufactura o de distribución, el simple hecho de utilizar el código de barras para identificar sus productos, o su número de serie, le permite controlar entre otras cosas las garantías de los mismos, dado que se pueden relacionar con el cliente que lo adquirió así como la fecha de adquisición a terceros.

2.2 EL CÓDIGO DE BARRAS

Desde siempre los comerciantes han sabido que mantener un registro preciso y actualizado de cientos o miles de productos es muy difícil y caro y más si es hecho manualmente. Actualmente, una de las tecnologías más utilizadas para la captura de información de forma automática, a escala global, es el Código de Barras. (Castelló V. 2005)

La visualización física de los códigos de barras suele presentarse mediante barras verticales: estas representan caracteres de información mediante barras negras y espacios, donde el ancho de las barras y espacios puede ser variable. Por tanto, cada dígito o caracter representado en un código está formado por barras y espacios que tienen una anchura total de una cierta cantidad de unidades o módulos, dependiendo del código.

De ésta forma cada barra y cada espacio puede tener una anchura de diversas unidades o módulos. De forma resumida se puede decir que el sistema funciona con una base binaria que reconoce los trazos oscuros como “1” y los espacios o elementos claros como “0” (Fig 2.),

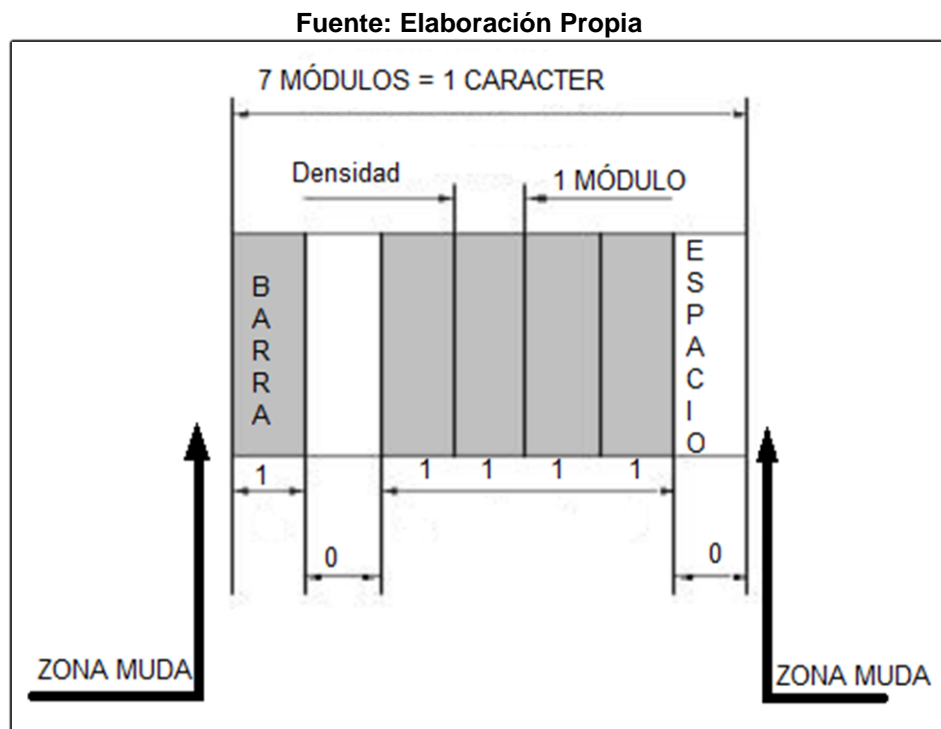


Fig. 2. Nomenclatura del Código de barras

Dónde:

Módulo: es la unidad mínima o básica de un código. Las barras y espacios están formados por un conjunto de módulos.

Barra: el elemento oscuro dentro del código. Se hace corresponder con el valor binario 1.

Espacio: el elemento claro dentro del código. Se hace corresponder con el valor binario 0.

Caracter: formado por barras y espacios. Normalmente se corresponde con un carácter alfanumérico.

Un símbolo de código de barras presenta una serie de características entre las cuales están las siguientes:

Densidad: es la anchura del elemento, ya sea barra o espacio, más estrecho dentro del símbolo de código de barras. Un código de barras no se mide por su longitud física sino por su densidad, que viene dada en milésimas de pulgada.

Razón ancho-estrecho (Wide to Narrow Ratio (WNR): Es la relación existente entre el grosor del elemento más estrecho con respecto al más ancho. Normalmente es de 1:3 o 1:2.

Zona muda (Quiet Zone): Es el área blanca que aparece al principio y al final de un símbolo de código de barras y que es necesaria para una acertada lectura del símbolo. (Castelló V. 2005)

Es importante aclarar que el código de barras es sólo una referencia que permite identificar al producto o bien al que se adhiere y es necesario acceder a una base de datos para obtener todas las características del bien o cosa identificada. Este tipo de código de barras es utilizado universalmente para identificar los productos que se comercializan en las grandes cadenas de distribución, así como para ventas al por menor y se conocen como código de barras de una dimensión (1D).



2.3 UNA BREVE HISTORIA

En un primer intento, en el año 1932, Wallace Flint, hizo una propuesta de automatización para tiendas de venta al público con elementos metálicos que se adherían a los productos.

La invención de este método, tal como lo conocemos hoy en día, se lo debemos a un par de ingenieros de Filadelfia, Estados Unidos, Joseph Woodland y Bernard Silver que en 1949 patentaron su primer sistema para codificación automática de productos, llamado CÓDIGO CIRCULAR. Pero es en el año 1952, en el que se une a ellos Jordin Johanson y patentan el sistema como Código de barras.

Después, en 1959, Girard Feissel, presenta su propuesta de Código de números compuestos por barras. En 1960 se da el primer uso del código de barras en carros de ferrocarril⁹, propuesto por la compañía Sylvania y gracias al trabajo de Raymond Alexander y Frank Stietz. Pero es recién en el año 1966, que la tienda Kroger Store realiza las primeras pruebas con el desarrollo de un lector de la compañía RCA para código de barras.

En 1969 se incorporó la tecnología láser y se hizo interactuar el lector de códigos con un computador. Los programas creados ejecutaban principalmente funciones de mantenimiento de inventarios. “En 1970, un comité de la industria detallista en Estados Unidos, el NAFC (National Association Of Food Chains), realiza una petición para que la Universal Grocery Products Identification Code (UGPIC), se

⁹ Para la identificación del material rodante ferroviario en los Estados Unidos de Norteamérica.

integre para establecer un código de barras estándar” (Boyls-White, 2015). Un año después, aparece el llamado código Plessey que tiene su uso principal en las bibliotecas de Europa.

Luego, en 1973, se crea y comienza a usar en Estados Unidos, el código de barras UPC (Universal Product Code) basado en una propuesta de IBM y sirve para la identificación de productos de venta al menudeo, éste código que sólo almacena información numérica (dígitos del 0 al 9) y que fue desarrollado por George Laurer, todavía es utilizado hoy en día. (Boyls-White, 2015)

En 1974, la compañía Intermec, con la participación principal de David C. Allis, desarrolla el código de barras 39 (Code 39), con la capacidad de almacenar caracteres alfanuméricos (dígitos del 0 al 9, caracteres alfabéticos de la A a la Z y algunos caracteres especiales. Posteriormente en 1978, la Cruz Roja adopta el uso del código de barras para el manejo de bancos de sangre.

Luego, durante 1979 se aprueba el código de barras EAN (European Article Numbering) para la identificación de productos de consumo, que contempla la posibilidad de identificar al país productor, que es la principal diferencia del UPC adoptado en Estados Unidos desde 1974 y en 1982, en EEUU, se publica, por parte del departamento de Defensa, la regla LOGMARS 1189 respecto del uso del código de barras en aplicaciones militares.

En los años 80's se tiene como novedades que en 1984, el Grupo de Acción para la Industria Automotriz, AIAG, por sus siglas en Inglés, publica sus simbologías y Estándares. En 1988, la Organización HIBCC (Health Industry

Business Communications Council), de Estados Unidos, libera un código de barras estándar para la industria de la salud. Y se publica el VICS (Estándar Voluntario para la Industria).

En 1990 se anuncia uno de las primeras simbologías de código de barras de doble dimensión, el PDF 417 (Portable Data File) cuya capacidad de almacenamiento puede llegar hasta casi 2000 caracteres alfanuméricos en un solo código. Años después, en 1999, se publica el estándar ANSI¹⁰ para las etiquetas genéricas de embarque con aplicaciones de EDI (Electronic Data Interchange) para el intercambio electrónico de información. En el año 2005, el código EAN tuvo que adoptarse también en Estados Unidos, pues la tendencia mundial así lo exigía.

2.4 EL CODIGO DE BARRAS EN LA CADENA DE SUMINISTROS

El Código de barras, tiene muchas aplicaciones actualmente, entre las más usadas están:

- Control de inventario
- Control del movimiento de productos o Trazabilidad
- Control de acceso a instalaciones
- Punto de venta
- Control de calidad
- Control de embarques y recibos
- Control de documentos y rastreo de los mismos

¹⁰ American National Standards Institute. Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.

- Rastreo preciso en actividades varias
- Rastreo preciso de bienes transportados
- Facturación
- Servicio de bibliotecas.

Dentro del manejo de la cadena de suministros, ésta tecnología tiene mucho éxito, debido a que los avances en sus capacidades técnicas influyen en términos de facilidad de uso y confiabilidad. Adicionalmente, es una tecnología altamente preferida en la cadena de suministros por los factores organizacionales, sus consideraciones económicas y por otros aspectos técnicos, entre los que están: las continuas innovaciones y mejoras, precisión, la accesibilidad, usabilidad, entre otras. (HINES, T., 2004).

Las empresas comenzaron a usar los códigos de barras como un esfuerzo para mejorar la eficiencia y controlar sus sistemas de manejo de la cadena de suministros. Los factores organizacionales incluyen algunos intentos que se hacen en la marcha, con el paso del tiempo, para poder maximizar la eficiencia en el manejo de la cadena de suministros.

El código de barras se utiliza mucho para el seguimiento de los bienes; principalmente de los equipos para la manufacturación, las herramientas, las computadoras y equipos de oficina, ya que numerosos bienes requieren contenedores especiales de empaquetado reusables para su tránsito en la cadena de suministros y el código de barras ayuda en su seguimiento y control, además de proveer una fuerte tasa de retorno de la inversión bajando los costos de operación.



Otra de las áreas de uso del código de barras en la cadena de suministro es el seguimiento de inventarios, lo cual provee a las organizaciones con una herramienta efectiva para gestionar con precisión los inventarios, teniendo el control y los detalles del producto todo el tiempo incluyendo la información de la localización y su cantidad.

Esto permite a las empresas minimizar los tiempos de búsqueda de los productos y asegurando que tengan suficiente inventario disponible para suplir la demanda mientras mejoran la productividad y la eficiencia. El código de barras también ayuda a incrementar el capital de trabajo, permitiendo mantener los costos y los precios bajos.

Los sistemas de manejo de almacenes o WMS por sus siglas en inglés, unidos a los sistemas de códigos de barras se convirtieron en las herramientas que podían ayudar a los trabajadores que ordenaban los anaqueles o cerchas de mercadería ahorrando así mucho tiempo y esfuerzo.

Desde el punto de vista del control de calidad y de devoluciones de productos, el costo de retorno de un producto, por parte de un cliente es determinado por el grado de trazabilidad que las empresas tienen de las mercaderías que venden, este aspecto es muy tomado en cuenta dentro de los factores organizacionales.

Las consideraciones económicas, que más se toman en cuenta son: la información oportuna y los beneficios de la eficiencia, ya que la primera se refiere a que la tecnología de código de barras es muy rápida, puesto que la información

puede ser leída de un código de barras en menos de un segundo, cuando está bien implementada, produciendo enorme ahorro de dinero. En cambio, la eficiencia de los códigos de barras, mejora el manejo de los datos, la accesibilidad a la información y por ende reduce los costos, además de incrementar la productividad de los empleados en otras áreas de operación de la empresa.

El uso de los códigos de barras, elimina el ingreso manual digitado de datos por parte de los empleados y provee de un mecanismo casi perfecto de identificación de los objetos, sin embargo, también es una de las debilidades comunes, el hecho del escaneo manual de los códigos de barras ya que se requiere que el operador lleve a cabo esa tarea.

Entre los aspectos técnicos, está la accesibilidad a la tecnología, lo que permite que el costo de impresión haya bajado a menos de un centavo por cada código de barras, esto se debe en gran parte a que continuamente se dan mejoras que aseguran la reducción de costos.

Otro aspecto técnico es la usabilidad, que se refiere a la facilidad del uso que tiene y que cada vez reduce más la interferencia humana en medida de lo posible o por otro lado haciendo la interacción con el usuario más simple, ya que existe captura remota de datos de manera inalámbrica, con equipos de escaneo portátiles muy potentes. (RAHMAN, S.; RAISINGHANI, M., 2000)

El hecho de que haya continua evolución de la tecnología, hace que los scanners puedan leer una gran cantidad de simbologías. Existen innovaciones como scanners integrados al teléfono celular, que permiten que los empleados

ingresen datos de productos a la cadena de suministros, sin importar su localización geográfica y que actualicen la información en tiempo real, sin importar si están en la propia bodega o la de un cliente.

La confiabilidad y la precisión tienen un rol preponderante ya que la confianza de no cometer errores en la digitación y la precisión sobre el 99% en la tasa de lectura, hacen de la tecnología una de las mejores, pero el hecho que el código de barras es susceptible a daños por la influencia del medio ambiente, como la humedad o los rayones en las etiquetas, así como la niebla, que puede influir ópticamente en la lectura, hace que no se deje de lado la buena costumbre de incluir información legible por las personas junto al código de barras.

La información que almacena un código de barras ordinario, es pequeña, alrededor de 20 caracteres y su información estática no puede ser cambiada, actualizada o reprogramada. Las mejoras que se han hecho junto al desarrollo de código de barras de dos dimensiones hace posible guardar millones de bytes de información, además que no dependen de vínculos a bases de datos grandes, actuando como una clase de mini bases de datos ellos mismo, inclusive, encriptan información.

Así el sistema ha pasado por versiones circulares, hexagonales hasta el actual código bidimensional QR¹¹ que contiene muchos más datos que sus predecesores y en la era de internet ha extendido su uso. El uso e implementación de los códigos de barras 2D, facilita el manejo de grandes volúmenes de información

¹¹ **Quick Response Code**, almacena información en una matriz de puntos

en un espacio reducido, además que facilita el trabajo con múltiples simbologías, tipos y tamaños de códigos.

El uso extendido del código de barras, ha obligado a que existan organizaciones que lo normalicen y creen estándares para que este sistema permita la identificación de unidades de consumo y de expedición, de forma única, global y no ambigua.

2.5 ESTANDARES EN LOS CODIGOS DE BARRAS

El código de barras, que es un estándar a nivel global, forma la base del proceso de la cadena de suministros que permite que los artículos estén catalogados de manera única para que puedan ser identificados y seguidos a través de la cadena de valor.

“El sistema GS1¹² es un conjunto de estándares que permite la administración eficiente de la cadena de suministro multisectorial y mundial, mediante la identificación inequívoca de productos, unidades de embarque, bienes, localizaciones y servicios. Facilita los procesos de comercio electrónico incluyendo el rastreo y seguimiento completos. Los números de identificación pueden estar representados en símbolos de códigos de barras para permitir la lectura electrónica en el punto de venta, en el punto de recepción de los depósitos o en cualquier otro punto de los procesos comerciales donde se requiera. El sistema está diseñado para

¹² Es una organización privada dedicada a la elaboración y aplicación de servicios mundiales y soluciones para mejorar la eficiencia y visibilidad de las cadenas de abastecimiento, la oferta y la demanda a nivel mundial. Está integrada por varias empresas asociadas a manera de franquicia.



superar las limitaciones de los sistemas de codificación específicos de un sector, organización o compañía usuaria y para hacer que el comercio sea mucho más eficiente y sensible a las necesidades de los clientes.” (GS1 México. 2014)

“Mediante la aplicación del sistema GS1 es posible obtener significativas mejoras en las operaciones logísticas, una reducción de los costos de los trabajos realizados en papel, una considerable disminución de los tiempos de preparación de órdenes y entregas, así como mayor precisión y una administración más eficiente de toda la cadena de suministro y demanda. Las compañías usuarias que han adoptado el sistema de identificación GS1 obtienen grandes ahorros de costos, porque utilizan la misma solución para comunicarse con todos sus socios comerciales, mientras continúan siendo completamente libres para administrar sus aplicaciones internas.” (GS1 México. 2014)

El código de barras es una de las aplicaciones más importantes del Sistema GS1 y posee una gama completa de estructuras de códigos como: GTIN-13 (antes EAN/UCC-13), GTIN-8 (antes EAN/UCC-8), GTIN-12 (antes EAN/UCC-8), GTIN-12 (antes UCC-12), GTIN-14 (antes EAN/UCC-14) y GS1-128 (antes EAN/UCC-128).

En Ecuador son válidos cualquiera de estos números que identifican a las unidades comerciales, los mismos que son asignados por GS1 Ecuador como miembros de GS1 que posee oficinas en más de 145 países alrededor del mundo. El código de barras proporciona un lenguaje común entre socios comerciales.

Cada producto tiene un código ÚNICO e INEQUÍVOCO de identificación y puede ser utilizado por todos los socios comerciales y dentro de la propia industria contribuyendo a la eficiencia del proceso de comercialización de productos. El código GS1 en cualquiera de sus estructuras, facilita la identificación de mercaderías, facilita las exportaciones y el intercambio electrónico de datos. (Ballou, R. 2004)

2.6 CONCLUSIONES

El código de barras es otra tecnología para identificación automática de productos y personal en todo el mundo, que junto a otras que aunque en menor medida, son usadas en la cadena de suministros de las empresas, es muy útil y cumplen de manera formidable con su objetivo.

Está difundida en mucha mayor escala en todo el planeta y se puede decir que por su universalidad, es más conocido y usado casi en todos los productos existentes. Se ha llegado a depender mucho de esta tecnología, ya que no se puede imaginar cómo sería el manejo de una cadena de suministros si un producto no tuviera asociado a él un código de barras.

Su amplio uso ha obligado a crear estándares, para facilitar la comunicación efectiva en un mismo lenguaje con todos sus usuarios y consumidores. Se han creado mejoras al código, como son los códigos circulares, hexagonales y los de 2 dimensiones que son muy usados en la actualidad por que permiten guardar y transmitir mucha más información en su codificación.



Permiten el control correcto de la mercadería, gracias a proporciona métodos de etiquetado y seguimiento o trazabilidad, sin mencionar el impacto positivo que tiene para la visibilidad de los productos inmiscuidos en el inventario disponible para la venta o distribución.

Es una de las tecnologías más usadas, debido en gran medida a que tiene costos más bajos, pero también a que tiene mayor desarrollo y fácil implementación en la cadena de suministros, pues no requiere de una infraestructura grande y costosa, así también la adopción y capacitación a los operadores son muy sencillas.



3 COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS RFID Y CÓDIGO DE BARRAS EN LAS PYMES.

3.1 INTRODUCCION.

Los principales participantes de la cadena de suministros en las Pymes¹³ como son: productores, proveedores, distribuidores, transportistas y los mismos clientes, necesitan cada vez más, herramientas que permitan realizar operaciones de planeación y control de las transacciones que se realizan entre ellos. Es por eso que la identificación de los productos tiene relevancia en el ámbito empresarial, especialmente cuando por medio de estas herramientas se implementa la manera de hacer trazabilidad de los productos.

La gestión de la cadena de suministro, es clave en la empresa porque permite coordinar y sincronizar los procesos logísticos críticos. El código de barras y el RFID, son los sistemas de identificación más usados, debido a que existen estándares creados para su correcta aplicación.

3.2 ENTORNOS DE TRABAJO RELACIONADOS CON EL CONTROL DE INVENTARIOS Y CADENAS DE SUMINISTROS.

3.2.1 SISTEMA DE CODIGO DE BARRAS.

“El código de barras es una etiqueta electrónica legible, que está adherida a los productos o contenedores; proporciona información tal como origen,

¹³ Pequeñas Y Medianas Empresas

destino, tipo de producto, información de la factura, entre otros aspectos clave en la identificación del producto.” (CORREA E., A; ALVAREZ L., C; GOMEZ M., R. 2010). Es uno de los sistemas de identificación de productos y captura de datos más utilizados en la gestión de la cadena de suministros.

3.2.1.1 Aplicaciones.

Es ampliamente utilizado en:

Aprovisionamiento y compras: identificando y siguiendo órdenes de compra.

Pedidos: recopilando información electrónica de los productos.

Gestión de almacenes: identificando estanterías, ubicaciones y productos.
Gestionando la trazabilidad.

Procesos de producción: trazabilidad de los productos mediante de sistemas de numeración y asignación de códigos inequívocos. (CHEN I., PAULRAJ A., 2004)

Procesos de despacho, transporte y distribución: registrando la entrada y la salida de la mercadería de los almacenes y realizando trazabilidad de los medios de transporte hasta el cliente final. (MULLER, M. 2003)

En la Figura 3, podemos apreciar un resumen de lo que engloba el código de barras dentro de las Pymes.

Fuente: Elaboración Propia

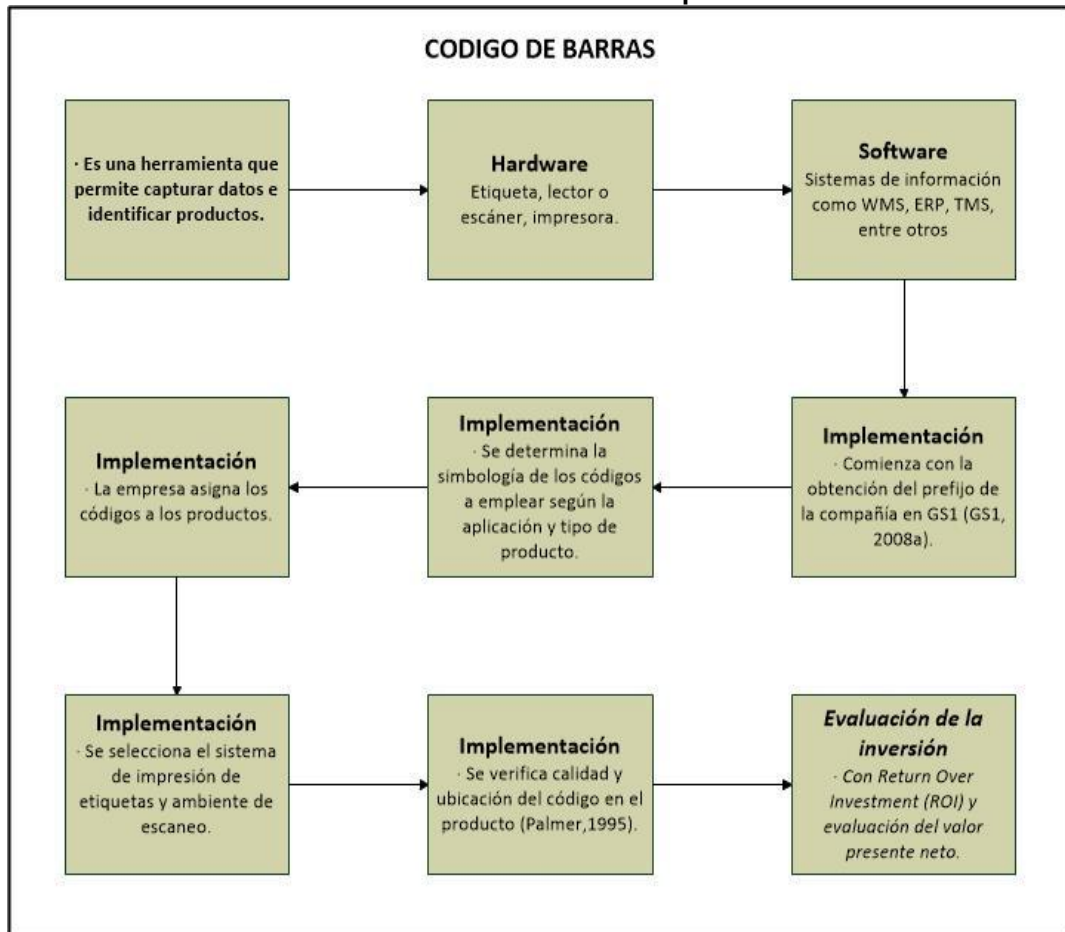


Fig. 3. Código de barras en las PYMES

3.2.2 SISTEMA DE IDENTIFICACION POR RADIOFRECUENCIA (RFID).

“RFID es una tecnología que usa ondas de radio para identificar productos de forma automática, por medio de etiquetas o TAGS que emiten señales de radio a unos dispositivos llamados lectores, que se encargan de recoger las señales. Es muy utilizado por los beneficios que puede ofrecer en la captura de información en tiempo real y en minimizar los errores en la identificación de los productos.” (CORREA E., A; ALVAREZ L., C; GOMEZ M., R. 2010).



3.2.2.1 Aplicaciones.

Aprovisionamiento y compras: compartiendo información de inventarios y proveedores.

Gestión de almacenes: Mejora la trazabilidad y actualización en tiempo real de los inventarios.

Procesos de distribución: permite el aumento de eficiencia, por prácticas de “justo a tiempo¹⁴”.

Gestión del transporte: monitorea la entrada y salida de terminales de carga y permite la trazabilidad en tiempo real.

La relación con el cliente: ofrece visibilidad e información del producto en cualquier punto de la cadena de suministros.

Logística Inversa: proporcionando y facilitando información del producto.

Vigilancia Electrónica: EAS por sus siglas en inglés, es muy eficiente protegiendo artículos que pueden ser sustraídos de comercios y almacenes, detectando la salida no autorizada de los mismos. (CAVINATO, J.; FLYNN, A.; KAUFFMAN, R. 2006)

¹⁴ Del inglés: Just in Time. Es un método organizacional japonés, que permite que una fábrica sea más productiva y que se produzcan sólo los elementos que se necesitan y sólo en las cantidades y momentos necesarios. También es llamado Método Toyota o JIT.

Fuente: Elaboración Propia



Fig. 4. RFID dentro de las PYMES

Dentro de las Pymes, La tecnología RFID, se constituye e impacta especialmente en la trazabilidad y visibilidad (Fig. 4) , mediante:

Optimización de la cadena de suministros: mejorando la programación de actividades, reduciendo los cuellos de botella y maximizando la trazabilidad de los productos. (LAMBERT,D., 2008)

Visibilidad del Inventario de la cadena de Suministros: puede reemplazar este proceso, porque permite realizar la trazabilidad y rastreo de los inventarios en tiempo real. (BROWN, K.L.; INMAN, A.; CALLOWAY, J.A., 2001).

Visibilidad de la cadena de Suministros: aumenta la visibilidad de los productos y mejora el control y seguimiento del inventario.

Gestión del proceso de la cadena de suministro: Identifica y resuelve problemas en tiempo real.

Ejecución de la cadena de suministros: informando en tiempo real sobre la ubicación de productos.

En la Figura 5, podemos observar las características de las tecnologías enfrentadas.

Fuente: Elaboración Propia

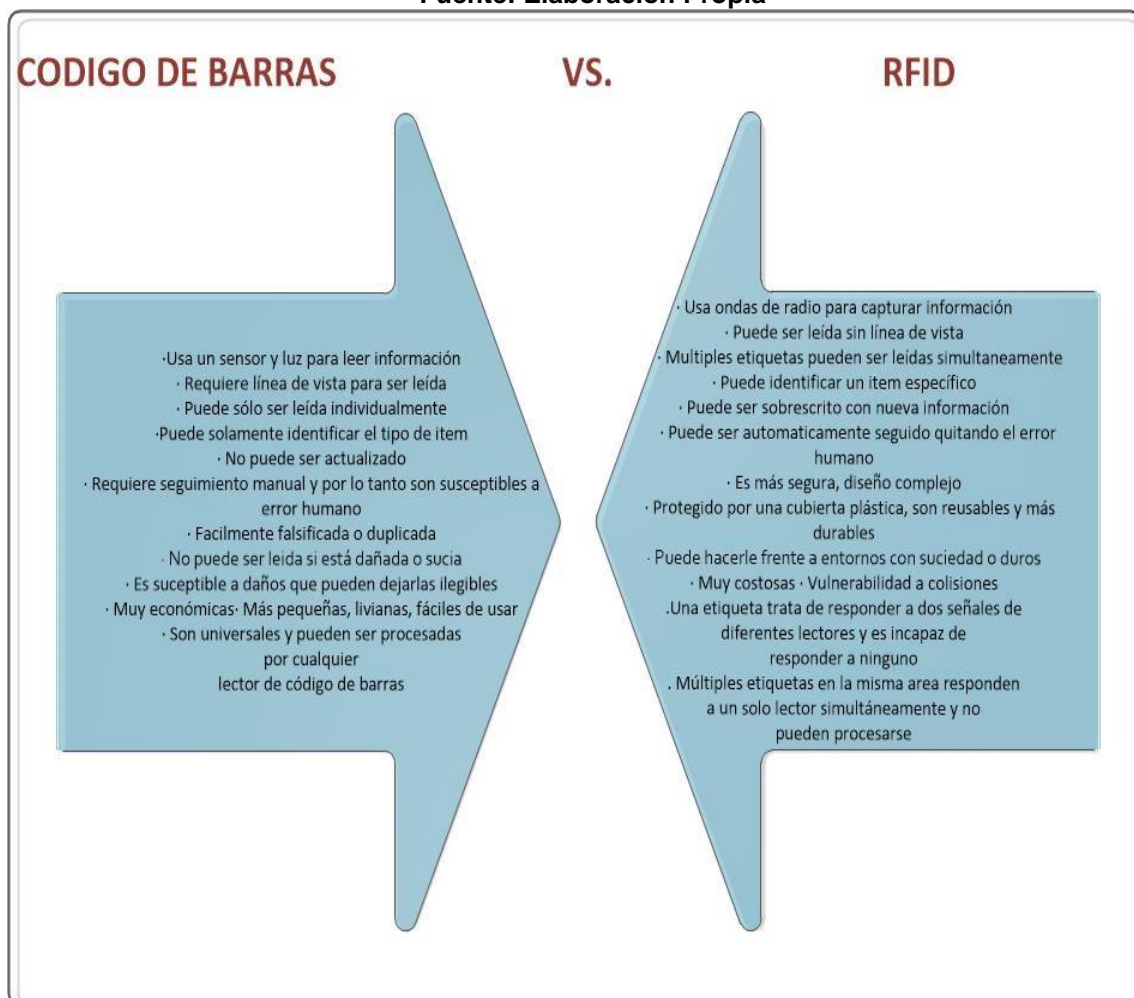


Fig. 5. Código de barras vs. RFID

3.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las principales ventajas son:

- a) Capacidad de almacenamiento de datos y que la información contenida en los tags puede ser variable y modificable, porque dependiendo del tipo de etiqueta, es posible que se almacenen pocos bits o varios kilobits de información.
- b) La posibilidad de lectura simultanea de las etiquetas.
- c) No se necesita que exista contacto visual entre el lector y la etiqueta
- d) La actualización de la ubicación de los productos, así como del inventario se puede hacer en tiempo real.
- e) Se mejora la trazabilidad del producto
- f) Se reducen los costos y se incrementa la exactitud y velocidad de lectura de las etiquetas, debido a que tienen mucha resistencia al medio ambiente y agentes naturales como la lluvia o niebla.
- g) Se implementan nuevos algoritmos para detectar y corregir errores; funciones de autenticación y encriptación.

En cambio, la principal desventaja en el uso de sistemas RFID es el alto costo inicial de implementación, ya que los tags o etiquetas son caras. Así mismo el limitado desarrollo de la tecnología puede ocasionar baja exactitud en la lectura para identificación de productos que se ubica entre el 80% y 99%, lo que puede causar mala gestión logística; Presenta vulnerabilidad al metal y otros materiales conductivos, a los líquidos y a las interferencias electromagnéticas de baja frecuencia.

Fuente: Elaboración Propia

**Fig. 6. Aplicaciones e impactos en la cadena de suministros**

3.3 CONCLUSIONES

El código de barras tiene muchas aplicaciones e impactos en la cadena de suministros de las pymes, (Fig. 6) en todas las fases del proceso de negocio. La tendencia actual es reemplazarlos o complementarlos con sistemas de identificación por Radiofrecuencia, para obtener los beneficios de la trazabilidad de los productos.

Se puede mejorar las operaciones de control y manejo de la cadena de suministros, mediante el uso de sistemas combinados de RFID y Código de barras, pero es posible que su complejidad incremente el costo total del sistema a tal punto que su costo, exceda a los beneficios que tiene sobre el costo que, las tecnologías individuales y por separado, puedan dar.

RFID tiene tiempos de escaneo más rápidos que el escaneo de códigos de barras, debido a que las etiquetas no necesitan estar en la línea de vista para ser escaneadas. Éste escaneo puede tener una alta frecuencia de fallos de equipo, sin embargo es menos sensible de errores de operador, que el código de barras. (MEYERS, F.; STEPHENS, M., 2006)

En los últimos años se ha popularizado el uso de los sistemas de códigos de barras, frente a RFID, ya que tienen bajos costos de adquisición, facilidad de implementación, así como también permiten aumentar la productividad, la eficiencia del manejo de la cadena de suministros y la satisfacción de los clientes

En el futuro, existe la oportunidad de elaborar modelos que describan y permitan establecer cuál es el impacto técnico y económico del uso de las tecnologías de identificación y captura de datos como el código de barras y el RFID. Por otro lado, existe la oportunidad de investigar el desarrollo de metodologías que permitan diseñar e implementar estas tecnologías en las pymes.



4 ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES CON HERRAMIENTAS EXISTENTES.

4.1 INTRODUCCIÓN

Tomar una decisión es poder usar el pensamiento y mediante el razonamiento, escoger una opción para poder dar solución a cualquier problema que se presente en el transcurso del accionar de una persona. Cuando se presenta un problema, se lo analiza, separando sus componentes para poder conocerlo a fondo, comprenderlo y posteriormente solucionarlo.

Algunos problemas son simples y se presentan cotidianamente, de tal forma que se toman decisiones para solucionarlos de manera casi automática, debido a la experiencia en pasados problemas iguales o parecidos.

Existen, sin embargo problemas en los que tomar una buena o mala decisión, puede tener consecuencias de grande repercusión, dependiendo del entorno en el que estén situados. Si se trata de problemas de este tipo, será necesario seguir un estructurado proceso de análisis para poder conseguir más información y resolverlos con mayor nivel de seguridad y salvaguardar la integridad del entorno que los rodee.

En este capítulo, se tratará de cubrir las actuales técnicas de toma de decisiones, describiendo sus métodos, a manera de estado del arte. Se trata de una recopilación bibliográfica de 3 técnicas estadísticas que ayudan a procesar información para la toma de decisiones.

4.2 Toma de decisiones.

Para que se dé una correcta toma de decisiones en los sistemas es necesario tener objetivos sólidos como:

Decisiones Acertadas: Basarse en la objetividad de los datos más que en los deseos y esperanzas, para darles una interpretación adecuada.

Objetividad de los Datos:

- Los resultados deben ser aplicados en hechos reales.
- Se debe intentar mejorar los resultados para conseguir las metas y los objetivos marcados en el plan de la organización.
-

La toma de decisiones está presente en cuatro funciones administrativas de toda empresa (Fig. 7).

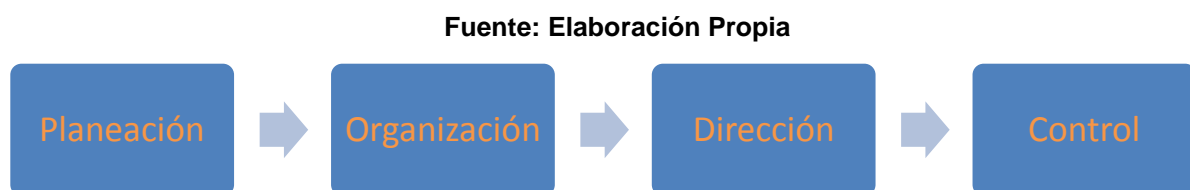


Fig. 7. Funciones administrativas de las empresas

Las fases principales en el proceso de toma de decisiones son

- I. Análisis Situacional
- II. Definición del problema
- III. Generación de alternativas y soluciones



IV. Valoración de soluciones

V. Aplicación y control de la eficacia de la solución

Al generar las alternativas, se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

Factores Cuantitativos: Factores mediables en tiempo y costos.

Factores Cualitativos: Son factores como la calidad, la relación de trabajo, riesgos de cambio tecnológico e incluso políticos. (Harold Koontz Y Heinz Weihrich. 1999)

4.3 Métodos actualmente usados para la toma de decisiones.

Los métodos más usados actualmente para la toma de decisiones son estadísticos, tomando en cuenta entre los principales: la Prueba t pareada o distribución t de Student; DID o Diferencias en diferencias; y la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon.

4.3.1 Prueba t pareada o de distribución t de Student.

En estadística, una prueba t de Student es cualquier prueba en la que los datos utilizados y analizados, se obtienen del proceso de estimación la media de una población normalmente distribuida, si la hipótesis construida para anular o refutar, es cierta y si la muestra es pequeña.

Se aplica cuando la población estudiada sigue una distribución normal o aproximada a la realidad, pero el tamaño de la muestra es demasiado pequeño como para que los datos en los que está basada la inferencia estén normalmente distribuidos, utilizándose una estimación de desviación típica o estándar en lugar del valor real. (Zimmerman, 1997).

Es utilizada en una técnica estadística de múltiples variantes cuya finalidad es “describir las diferencias entre g grupos de objetos sobre los que se observan variables discriminantes” (Zimmerman, 1997). En caso de que estas diferencias existan, intentará explicar en qué sentido se dan y proporcionar procedimientos de asignación sistemática de nuevas observaciones con grupo desconocido a uno de los grupos analizados, utilizando para ello sus valores en las p _variables clasificadoras conocidas (Harold Koontz Y Heinz Weihrich. 1999).

Podemos ver este procedimiento como un modelo de predicción de una variable de respuesta categórica (variable de grupo) a partir de p _variables explicativas generalmente continuas (variables clasificatorias). La prueba t fue presentada por William Sealy Gosset, conocido por su seudónimo: Student, en 1908, con el objetivo de aplicar los nuevos avances en estadística al proceso industrial.

Entre los usos más frecuentes de las pruebas t se encuentran:

- El test de locación de muestra única, que sirve para comprobar si la media de una población distribuida normalmente tiene un valor especificado en una hipótesis nula.

- El test de locación para dos muestras, que sirve para comprobar si las medias de dos poblaciones distribuidas en forma normal son iguales.
- El test de hipótesis nula, que sirve para demostrar que la diferencia entre dos respuestas medidas en las mismas unidades estadísticas es cero. Éste test el llamado prueba t de mediciones apareadas o repetidas.
- La prueba para comprobar si la pendiente de una regresión lineal difiere estadísticamente de cero.

La prueba t de Student, es utilizada si las varianzas de las dos poblaciones estudiadas pueden ser asumidas como iguales. (Zimmerman, Donald W. 1997)

La mayor parte de las pruebas estadísticas t , tienen la forma:

$$T = \frac{Z}{s}$$

Donde Z y s son funciones de los datos estudiados. La variable Z se diseña de forma tal que resulte sensible a la hipótesis alternativa (p.ej. que su magnitud tiende a ser menor cuando la hipótesis es falsa), s es un parámetro de escala que permite que la distribución de T pueda ser medida (Zimmerman, Donald W. 1997).

Una prueba de significancia valida necesita que cada criterio sea asignado a un grupo de tratamiento de forma al azar, pero siempre usando un grupo de control. Una alternativa es la prueba t pareada cuando los tiempos de proceso

para las alternativas pueden ser medidos para el mismo producto en el mismo proceso.

Supongamos que x_i , es el tiempo de proceso para la alternativa 1 y y_i es el tiempo de proceso para la alternativa 2, para el mismo producto. Entonces, las diferencias

$$d_i = x_i - y_i, \quad i=1,2, \dots, n$$

son asumidas como sigue,

$$d_i \sim \mathcal{N}(\mu_d, \sigma_d^2)$$

lo que significa que d_i es independiente y normalmente distribuida con una media μ_d y una varianza σ_d^2 .

Adicionalmente, para el caso cuando la normalidad falla, es necesario hacer un enfoque no paramétrico, para lo que la prueba de rangos con signos de Wilcoxon puede ser muy útil.

4.3.2 Prueba DID o diferencias en diferencias.

Es una técnica experimental, que mide el efecto de un tratamiento en un determinado período en el tiempo. A menudo se utiliza para medir el cambio

inducido por un tratamiento o un evento en particular. (Bertrand, M.; Duflo, E.; Mullainathan, S. 2004)

En contraste con una estimación dentro de los sujetos del efecto del tratamiento, que mide la diferencia en un resultado después y antes del tratamiento o una estimación de entre-sujetos del efecto del tratamiento, que mide la diferencia en el resultado entre los grupos de tratamiento y control, el estimador DID representa la diferencia entre el pre y el post tratamiento, dentro de los grupos de tratamiento y control. (ANGRIST, J. D.; PISCHKE, 2004)

Consideremos el modelo:

$$y_{ijt} = \mu + \alpha \bar{\delta}_i + \beta T_t + \gamma(T\bar{\delta})_{it} + \epsilon_{ij}$$

donde:

y_{ijt} = es la ijk -ésima observación en el i -ésimo nivel del primer grupo de tratamiento y j -ésimo nivel del segundo grupo de tratamiento;

μ = es la media general;

$\alpha \bar{\delta}_i$ = es el efecto del j -ésimo nivel del primer grupo de tratamiento;

βT_t = es el efecto del t -ésimo nivel del segundo grupo de tratamiento;

$\gamma(T\delta)_{it}$ = es la interacción del i-ésimo nivel del primer grupo de tratamiento con el t-ésimo nivel del segundo grupo de tratamiento; y

ϵ_{ij} = es el error aleatorio $NID(0, \delta^2)$ (Bertrand, M.; Duflo, E.; Mullainathan, S. 2004)

Una prueba pareada t asume que las alternativas son escaneadas por el mismo sujeto bajo las mismas circunstancias. Sin embargo, los datos de antes y después no son adecuados para la prueba t pareada porque puede haber factores de confusión, tales como una tendencia económica o cambios de políticas (prejuicios externos), que afecten las variables de respuesta, comparando el estado de antes y el de después.

En el siguiente gráfico (Fig. 8), observamos que ambos grupos experimentaron la misma disminución, pero la alternativa 2, aumentó la diferencia, lo cual es referido como un efecto DID para el grupo de tratamiento.

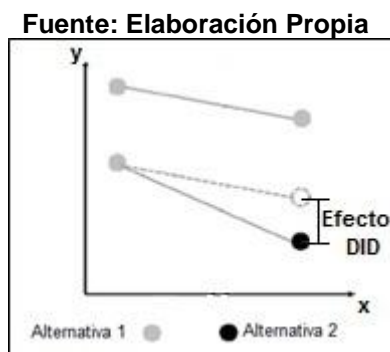


Fig. 8. Efecto DID

4.3.3 Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon.

“Es una prueba no paramétrica usada para comparar la mediana de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias entre ellas” (Wilcoxon,). Se utiliza como alternativa a la prueba t de Student cuando no se puede suponer la normalidad de dichas muestras. Frank Wilcoxon, la publicó en 1945.

Debe cumplir las siguientes características:

- Es libre de curva, no necesita una distribución específica
- La variable dependiente, debe tener un nivel ordinal.

Se utiliza para comparar dos medianas y determinar que la diferencia sea estadísticamente significativa, es decir cuando la variable subyacente es continua pero no se presupone ningún tipo de distribución particular.

Supongamos que se dispone de n pares de observaciones, denominada (x_i, y_i) . El objetivo de la prueba es comprobar si puede dictaminarse que los valores x_i e y_i son o no iguales.

1. Si $z_i = y_i - x_i$, entonces los valores z_i son independientes.
2. Los valores z_i tienen una misma distribución continua y simétrica respecto a una mediana común Θ .

Por lo tanto, se puede decir que los valores x_i, y_i originales son en cierto sentido del mismo tamaño.

Para verificarlo, en primer lugar, se ordenan los valores absolutos $|z_1|, \dots, |z_n|$ y se les asigna su rango R_i . Entonces, el estadístico de la prueba de los signos de Wilcoxon, W^+ , es la suma de los rangos R_i correspondientes a los valores positivos de z_i . Así:

$$W^+ = \sum_{z_i > 0} R_i,$$

La distribución del estadístico W^+ puede consultarse en tablas para determinar si se acepta o no la hipótesis nula. En ocasiones, ésta prueba se usa para comparar las diferencias entre dos muestras de datos tomados antes y después del tratamiento, cuyo valor central se espera que sea cero. Las diferencias iguales a cero son eliminadas y el valor absoluto de las desviaciones con respecto al valor central son ordenadas de menor a mayor. (Wilcoxon, F.)

A los datos idénticos se les asigna el lugar medio en la serie. La suma de los rangos se hace por separado para los signos positivos y los negativos. A la menor de esas dos sumas, la comparamos con el valor proporcionado por las tablas estadísticas al efecto para determinar si rechazamos o no la hipótesis nula, según el nivel de significación elegido. (Wilcoxon, F.)

4.4 CONCLUSIONES

Tomar una decisión es poder usar el pensamiento y mediante el razonamiento, escoger una opción para poder dar solución a cualquier problema que se presente en el transcurso del accionar de una persona.

En el ámbito de la investigación científica, la estadística es una herramienta muy útil y de un valor muy grande, mediante la cual se pueden construir



modelos que nos permiten interpretar y representar los problemas y sus posibles soluciones, siguiendo una determinada lógica que nos permite también considerar ciertos márgenes de error permitidos.

Todas las hipótesis que podemos formular, pueden ser verdaderas o falsas, pero las conclusiones, que pueden ser posibles soluciones a problemas analizados, no son correctas completamente, es decir no podemos afirmarlas ni negarlas rotundamente. Después de analizar los datos, podemos afirmar algo y sacar más conclusiones, pudiendo también equivocarnos.

Las pruebas t pareadas son una forma de bloqueo estadístico, y poseen un mayor poder estadístico que las pruebas no pareadas. Las pruebas t pareadas pueden utilizarse para reducir los efectos de los factores de confusión en un estudio observacional.

Existen, problemas en los que tomar una buena o mala decisión, puede tener consecuencias de grande repercusión, dependiendo del entorno en el que estén situados. Si se trata de problemas de este tipo, será necesario seguir un estructurado proceso de análisis para poder conseguir más información y resolverlos con mayor nivel de seguridad y salvaguardar la integridad del entorno que los rodee.



5 PROPUESTA DE UN MÉTODO PARA TOMA DE DECISIONES.

5.1 INTRODUCCION

Hacer el seguimiento de los bienes y del inventario con sistemas automatizados aumenta el desempeño en lo referente a costos y flujo del proceso mismo en la cadena de suministros. Es una decisión muy importante para una empresa invertir en la tecnología RFID o en la de Código de barras; y tomar esa decisión puede convertirse en un problema más para la empresa. (Gaukler, Gm; Seifert, Rw; Hausman, W. 2007)

Existen programas especializados para la toma de decisiones en general, pero la gran mayoría de estos son de pago y/o demandan un tiempo elevado de entrenamiento y aprendizaje para poder aprovechar su potencial. Algunos de ellos necesitan, tener conocimientos intermedios de estadística o métodos numéricos.

El principal propósito de este capítulo es presentar un método fácil, rápido y flexible para la toma de decisiones acerca del uso de las tecnologías de identificación automática de productos por medio de Código de Barras y RFID. Se aplicará el método de toma de decisiones multicriterio de Proceso Analítico Jerárquico o AHP por sus siglas en inglés, creando una aplicación automática usando una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

5.2 ANÁLISIS DE DECISIONES.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, la toma de decisiones es el estudio de la identificación y escogimiento de las alternativas, basadas en los valores y preferencias de quien toma las decisiones. Los problemas involucran objetivos y criterios los cuales pueden estar en conflicto uno con otro. El análisis de decisiones se refiere al paradigma en el que una persona que toma decisiones o un grupo de decisión, contempla una elección de una acción en un entorno cierto o incierto.

El análisis de decisiones está diseñado para ayudar a hacer una elección individual entre un grupo de alternativas pre especificado. El proceso de toma de decisiones está basado en información acerca de las alternativas y en la fiabilidad de la información en la toma de decisiones que puede cambiar desde los datos científicos hasta las interpretaciones subjetivas de los datos mismos; y desde la certeza de que la decisión se deriva de información determinística hasta lo incierto, representado por probabilidades y números extensos o difusos¹⁵.

La diversidad en el tipo y la calidad de la información acerca de los problemas de decisión, hacen necesarios los métodos y técnicas que pueden asistir en el procesamiento de información (Zhang, L. 2010). Una decisión efectiva es catalogada como un factor crítico de éxito en lo que se refiere a desarrollar una tarea

¹⁵ Es una cantidad que su valor es impreciso. Puede ser considerado como una función cuyo dominio es el conjunto de los números reales. A cada valor numérico en el dominio tiene un grado de pertenencia específica, donde cero es el menor grado posible y mil es el mayor grado posible.

dada, uso de recursos y manejo de conflictos. La toma de decisiones multicriterio es la forma más conocida de toma de decisiones.

La toma de decisiones multicriterio es a veces soportada por un grupo de técnicas para ayudar a los que toman decisiones, llamados decisores; y que se enfrentan con evaluaciones conflictivas, estas técnicas ayudan a identificar esos conflictos. Al contrario de los métodos que asumen la disponibilidad de medidas, las medidas en los métodos multicriterio son derivados o interpretados subjetivamente como indicadores de la fuerza de algunas preferencias que difieren de cada decisor.

Existen muchos métodos de toma de decisiones multicriterio en uso hoy en día, el más conocido es el Proceso Analítico Jerárquico o AHP, por sus siglas en inglés. Éste método ayuda a las personas encargadas de tomar decisiones a comprender de mejor manera el problema y a encontrar soluciones que se adapten mejor a sus necesidades, en lugar de proveer directamente la solución a un problema, que luego va a ser tomada como decisión final y que a la larga va ser considerada como correcta.

El Proceso analítico jerárquico, se enfoca en el análisis de problemas complejos. Las personas que toman las decisiones, por lo general ocupan cargos medios o altos dentro de la organización en la que laboran o se desempeñan, la repercusión de la alternativa escogida tiene una duración de largo plazo y en la decisión está involucrado el juicio y su percepción personal.

El método tiene un excelente desempeño, en los entornos en los que los miembros del equipo de toma de decisiones, tienen problemas de comunicación debido a sus diferentes campos o áreas de especialización o por el uso de términos propios de los mismos.

Según Vaidya y Kumar (2006), el método AHP considera la evaluación de consistencia entre las personas que toman decisiones. Esto apunta a la evaluación de las alternativas de decisión o al grupo de prioridades para los criterios y alternativas de un problema complejo de toma de decisiones multicriterio usando comparaciones de parejas. El método es muy usado para la toma de decisiones; evaluación y análisis de costos y beneficios; colocación de recursos; planeación y desarrollo.

Debido a la conveniencia y efectividad de AHP en la práctica e investigación de la toma de decisiones, éste método ha sido ampliamente adoptado en diversas áreas de gobierno, manejo de negocios, industrias, salud y educación. Más específicamente, AHP es bueno para resolver problemas complejos de toma de decisiones, como por ejemplo son: la evaluación del transporte en autopistas, o la determinación de las capacidades claves de una empresa.

5.3 EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO.

Está basado en la teoría comprensiva racional. El método AHP se enfoca en lograr la meta de generar la decisión racional, la cual es la mejor decisión entre cualquier meta que será alcanzada por los decisores. La clave principal para la decisión racional es la meta u objetivo, no la alternativa, los criterios, o los atributos. El método AHP puede proveer la solución óptima en forma transparente a través de:



- i. Análisis de la decisión en manera cuantitativa y cualitativa,
- ii. Evaluación y representación de la solución de manera simple a través del modelo jerárquico,
- iii. Argumentación lógica,
- iv. Prueba de calidad de la decisión y,
- v. Requerimiento de tiempos más cortos.

El Proceso Analítico Jerárquico desarrollado por Saaty en 1977, inicialmente fue usado para resolver el tratado de reducción de armamento estratégico entre los Estados Unidos y la antigua URSS (Saaty, T. 1999). “Es una clase de técnica de toma de decisiones multicriterio y habilita a los decisores para representar la interacción simultánea de muchos factores en situaciones complejas y sin estructura.” (Saaty, 1999)

Esto ayuda a identificar y establecer prioridades en la base de sus objetivos, conocimiento y experiencia de cada problema y provee un enfoque estructurado para toma de decisiones.

El Proceso Analítico Jerárquico consiste de cuatro pasos:

- i. **Construcción de la jerarquía de decisiones**, dividiendo el problema en una jerarquía de elementos interrelacionados. Lo que permite formular el problema de manera jerárquica.
- ii. **Comparaciones de parejas de los elementos de decisión**. Consiste en comparaciones binarias, de los factores cualitativos y cuantitativos, basándose en una escala de valores.

- iii. **Estimación de los pesos de los elementos de decisión** usando el método de valor propio.
- iv. **Incorporación de los pesos de los elementos de decisión** para proveer un juego de calificaciones para las alternativas de decisión. (Saaty. 1980).

5.3.1 Construcción de la jerarquía de decisiones

El primer paso es descomponer una situación compleja en criterios principales y en sub criterios, para luego usando esos criterios, establecer una estructura jerárquica.

Un modelo jerárquico básico de AHP incluye tres niveles. (Fig 9). El nivel más alto es el objetivo que queremos alcanzar. El segundo nivel es el de los criterios y subcriterios, que no deberían exceder a diez, debido a que es difícil comparar demasiados elementos simultáneamente.

Fuente: <http://www.acrwebsite.org/volumes/v27/27093f01.gif>. Consultado el 15-oct-2014

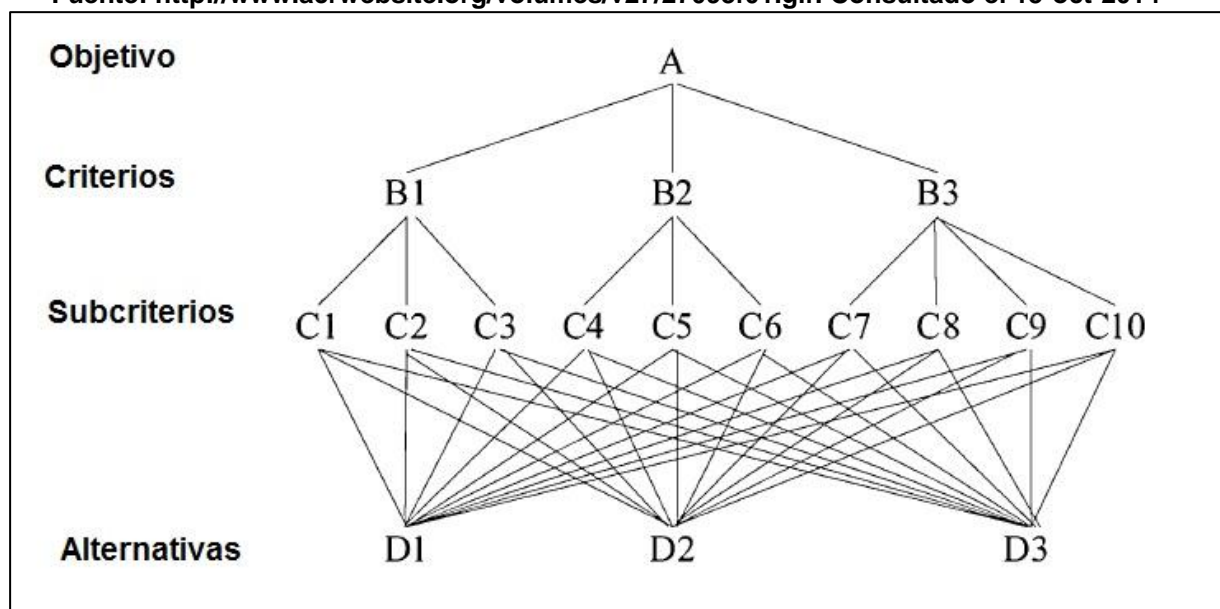


Fig. 9. Estructura Jerárquica

Con ésta limitación, podemos hacer una comparación razonable y asegurar la consistencia fácilmente.

El nivel más bajo es el de las alternativas. La determinación y lograr una representación gráfica de los niveles de jerarquía, requiere de creatividad y sobre todo del hecho de que las partes involucradas se pongan de acuerdo, teniendo la aprobación de la mayoría. El proceso se sigue discutiendo e identificando el problema principal.

5.3.2 Comparaciones de parejas de los elementos de decisión.

Para obtener las prioridades de criterio principal y subcriterios dentro de la estructura jerárquica, AHP incorpora los juicios de comparación de todos los decisores en una decisión final, sin tener que recabar sus funciones de utilidad en criterios subjetivos y objetivos, con comparaciones por pares de las alternativas y verificando su consistencia. Los cálculos de los pesos de los elementos de las diferentes jerarquías son mostrados como siguen:

Si hay n elementos, estos pueden llevar a cabo $n(n-1)/2$ comparaciones por pares de elementos. C_1, C_2, \dots, C_n denotan el conjunto de elementos en la mismo nivel jerárquico, mientras a_{ij} representa un juicio cuantificado de un par de elementos C_i, C_j . (Saaty, T. 1999).

La importancia relativa de dos elementos es calificada usando una escala de 1 a 9, donde 1 se refiere a “igualmente importante”, 3 denota “ligeramente

más importante”, 5 es igual a “fuertemente más importante”, 7 representa “demostrablemente más importante”, y 9 denota “absolutamente más importante”.

Los números pares se utilizan para expresar situaciones intermedias. Se usan los valores recíprocos 1/3, 1/5, 1/7, 1/9 en el caso que la segunda alternativa en comparación sea la más importante, según el criterio del decisor. (Vaidya, Os; Kumar, S.)

Estos rendimientos en una matriz A de n x n, son mostrados como sigue:

$$A = [a_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} C1 & C2 & \dots & Cn \end{matrix} \\ \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ \vdots \\ Cn \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Donde: $a_{ij} = 1$ y $a_{ij} = 1/a_{ji}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$.

En la matriz A, el problema se da en asignar a los n elementos C_1, C_2, \dots, C_n un juego de pesos numéricos W_1, W_2, \dots, W_n que reflejen los juicios registrados. Si A es una matriz consistente o coherente, las relaciones entre los pesos W_i y los juicios a_{ij} son simplemente dadas por $W_i/W_j = a_{ij}$ (por $i, j = 1, 2, \dots, n$.) y la matriz A como sigue:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} C1 & C2 & \dots & Cn \end{matrix} \\ \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ \vdots \\ Cn \end{matrix} & \begin{bmatrix} w1/w1 & w1/w2 & \dots & w1/wn \\ w2/w1 & w2/w2 & \dots & w2/wn \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ wn/w1 & wn/w2 & \dots & wn/wn \end{bmatrix} \end{matrix}$$

El objetivo de esta etapa es calcular la prioridad de cada elemento, tal como la define Saaty:

“Las prioridades son rangos numéricos medidos en una escala de razón. Una escala de razón es un conjunto de números positivos cuyas relaciones se mantienen igual si se multiplican todos los números por un número arbitrario positivo. El objeto de la evaluación es emitir juicios concernientes a la importancia relativa de los elementos de la jerarquía para crear escalas de prioridad de influencia”. (Saaty, T.L., 1980).

Para explicar mejor esto, a continuación se expone un ejemplo numérico, “puesto que el resultado de estas comparaciones es una matriz cuadrada, recíproca y positiva, denominada «Matriz de comparaciones pareadas», de forma que cada uno de sus componentes refleje la intensidad de preferencia de un elemento frente a otro respecto del objetivo considerado.” (Saaty, T.L., 1980)

El procedimiento utilizado para obtener el vector de prioridad (Roche, H.; Viejo C. 2005) consiste en:

5.3.2.1 Completar la matriz de comparación con los valores de juicio de valor.

Matriz de Comparaciones

	A	B	C
A	1	5	9
B	1/5	1	3
C	1/9	1/3	1

Se asignan pesos según los juicios de valor que se utilicen, así la matriz de comparaciones se llena, cuando se comparan entre filas y columnas los mismos criterios por ejemplo A con A; B con B o C con C, el valor para esa comparación es siempre uno (1). En este ejemplo, el criterio A tiene más peso que B y C; cinco (5) y nueve (9) veces correspondientemente.

Cabe notar que se colocan los valores de las comparaciones por pares por encima de la diagonal principal -que es siempre 1- y los valores por debajo de esta diagonal son los recíprocos de los números colocados. (HOFFMAN, K. AND KUNZE, R., 1971). Luego de esto:

- i. Se coloca el valor de la sumatoria de cada columna debajo de cada una de ellas.

Matriz de comparaciones

	A	B	C
A	1	5	9
B	1/5	1	3
C	1/9	1/3	1
Total	1,31	6,33	13,00

ii. Cada uno de los elementos de la matriz se divide para la suma de cada columna y se genera así una nueva matriz, llamada Matriz Normalizada.

Matriz Normalizada				
	A	b	C	Total
A	0.76	0.79	0.69	2.24
B	0.15	0.16	0.23	0.54
C	0.08	0.05	0.08	0.21

5.3.2.2 Estimación de los pesos de los elementos de decisión.

En esta etapa, calculamos el promedio de los valores normalizados por cada una de las filas. Este valor toma el nombre de vector de prioridades.

Matriz Normalizada					Vector de Prioridades (Promedio) $a+b+c$
	a	B	c	Total $a+b+c$	
A	0.76	0.79	0.69	2.24	0.75
B	0.15	0.16	0.23	0.54	0.18
C	0.08	0.05	0.08	0.21	0.07

Ahora buscamos la razón de consistencia, así:

i. Para cada fila de la matriz de comparación por pares, se calcula una suma ponderada: multiplicando cada elemento de la fila por el vector de prioridad, y sumando cada resultado, así:

	A	B	c	Suma Ponderada
a	1×0.75	3×0.18	2×0.07	1.2930
b	$1/3 \times 0.75$	1×0.18	7×0.07	0.1804
c	$1/2 \times 0.75$	$1/7 \times 0.18$	1×0.07	0.0714

ii. A continuación, para cada fila se divide la suma ponderada para la prioridad correspondiente y se calcula la media λ_{\max} .

Suma Ponderada (s)	Prioridad (p)	Cociente (s/p)		
1.2930	0.75	3.0649		
0.1804	0.18	3.0173		
0.0714	0.07	3.0055		λ_{\max}
		9.0877	/3	3.0293

El valor propio más grande λ_{\max} es:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{W_j}{W_i}$$

iii. Realizar la prueba de Consistencia.

La idea esencial de AHP es que la matriz A de rango n solamente es consistente si tiene un valor propio¹⁶ positivo $n = \lambda_{\max}$ mientras que todos los otros

¹⁶ Saaty, T. L. 1999; lo denomina como Eigenvalue.

valores propios son cero. Adicionalmente, Saaty desarrolló un índice de consistencia (CI) para medir la desviación de una matriz consistente.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$$

$$CI = (3.0293 - 3) / (3-1)$$

$$CI = 0.0293 / 2$$

$$CI = 0.0146$$

La relación de consistencia (CR) es introducida para ayudar a la decisión de revisar la matriz o no. Esto se define como la relación de CI al denominado índice aleatorio (RI)¹⁷ el cual es un CI de las matrices generado aleatoriamente. El Valor RI para cada tamaño de matriz de par de comparaciones esta dado según la siguiente tabla:

Fuente: Saaty T.L., 1980

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Tabla 1. Índice de Consistencia Aleatorio de Saaty

En la tabla para $n=3$, que es el número de criterios evaluados; nos indica que el valor para $RI = 0.58$. Entonces, la Relación de Consistencia será:

$$CR = CI / RI$$

$$CR = 0.0146 / 0.58$$

$$CR = 0.03 = 3\%$$

¹⁷ Random Index. Índice de consistencia aleatoria de Saaty.

“Si $CR \geq 10\%$, los datos adquiridos son inconsistentes, en cualquier otro caso los datos adquiridos son consistentes (pueden ser usados).” (Saaty T. 1999)

5.3.3 Incorporación de los pesos de los elementos de decisión.

El peso agregado de cada criterio o subcriterio es calculado mediante la siguiente formulación:

$$U_k = S_k \cup \{k\}$$

$$ap_k = \prod_{r \in U_k} p_r$$

Donde:

S_k El juego de criterios o subcriterios de alto nivel los cuales están conectados al criterio o subcriterio “k”

ap_k Peso agregado para el criterio o subcriterio “k2”

p_r Peso para el criterio o subcriterio “r”

5.3.4 Determinación del puntaje final de Alternativas.

Primero las puntuaciones de rendimiento de alternativas son normalizadas para cada criterio o subcriterio, de tal manera que su total es 1. Luego el peso agregado de cada criterio o subcriterio es calculado mediante la siguiente formulación:

$$e_m = \sum_{k \in Y} ap_k \times f_{km}$$

Donde;

e_m Puntaje final de la alternativa “m”

Y El juego de criterios o subcriterios el cual está directamente conectado a las alternativas.

f_{km} Puntaje de rendimiento normalizado de la alternativa “m” con respecto al criterio o subcriterio “k”.

Luego la alternativa con el más alto nivel de e_m valor es determinada como la mejor alternativa de desempeño del modelo. (Gaukler, Gm; Seifert, Rw; Hausman, W. 2007). (Roche, H.; Viejo C. 2005).

5.4 Aplicación práctica del método AHP a la toma decisiones del mejor sistema de identificación automática de productos en la cadena de suministros de una PYME.

5.4.1 Construcción de la jerarquía de decisiones

Se plantea el siguiente problema: “Una pequeña empresa, distribuidora de calzado, planea integrar una nueva manera de identificar sus productos y hacer el seguimiento del inventario en toda la cadena de suministros. Las alternativas son Código de barras y RFID. Hay que seleccionar la tecnología más apropiada.”

5.4.1.1 Definición de la Meta u Objetivo.

El objetivo es seleccionar la tecnología más apropiada a implementar.

5.4.1.2 Definición de Criterios

Los criterios que consideraremos en este modelo propuesto están estructurados en una forma jerárquica:

a. Costo

Incluye los subcriterios:

- i. Costo de Hardware: lectores, computadoras, cables, etc.
- ii. Costo de Software: todos los aplicativos necesarios.
- iii. Costo de etiquetado: dependiendo de la tecnología.
- iv. Costo de asesoría y entrenamiento: dada a los empleados por parte del integrador del nuevo sistema.
- v. Costo de mantenimiento: los equipos son mantenidos regularmente.

b. Beneficios obtenidos

Incluye los subcriterios:

- i. Disminución de los costos de trabajo: por el incremento de la eficiencia del proceso.
- ii. Disminución de ventas perdidas: la alta visibilidad del producto previene que se quede sin stock necesario para la venta.
- iii. Disminución en el costo del inventario: costo total de inventarios es reducido debido a que el inventario de seguridad es menor y hay mayor precisión.

c. Aspectos de implementación

Incluye los subcriterios:

- i. Tiempo de implementación: esto indica la duración de instalación proyecto hasta su puesta en marcha.
- ii. Posibilidad de actualización: la posibilidad de expandir el uso en otras áreas de la empresa. (Gaukler, Gm; Seifert, Rw; Hausman, W. 2007)

5.4.1.3 Definición de Alternativas

Las alternativas para este caso específico son dos:

A. Código de Barras y **B.** RFID.

5.4.2 Comparaciones de parejas de los elementos de decisión

El procedimiento utilizado para obtener el vector de prioridad consiste en completar las matrices de comparación por pares, con los valores de juicio de valor. (Roche, H.; Viejo C. 2005)

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Costo

	A	B
A	1	5
B	1/5	1

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Beneficios obtenidos

	A	B
A	1	1/7
B	7	1

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Implementación

	A	B
A	1	1/9
B	9	1

Se coloca el valor de la sumatoria de cada columna debajo de cada una de ellas.

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Costo

	A	B
--	---	---

A	1	5
B	1/5	1
total	1.2000	6.0000

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Beneficios obtenidos

	A	B
A	1	1/3
B	7	1
total	8.0000	1.1428

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Implementación

	A	B
A	1	1/9
B	9	1
total	10.0000	1.1111

Cada uno de los elementos de la matriz se divide para la suma de cada columna y se genera así una nueva matriz, llamada Matriz Normalizada.

Matriz Normalizada Costo		
	A	B
A	0.83	0.83
B	0.17	0.17

Matriz Normalizada Beneficios		
	A	B
A	0.13	0.12
B	0.88	0.88

Matriz Normalizada Implementación		
	A	b
A	0.1000	0.1000
B	0.9000	0.9000

5.4.3 Estimación de los pesos de los elementos de decisión.

Se calcula el promedio por filas para encontrar el valor del vector prioridad.

Matriz Normalizada Costo			Total A+B	Vector prioridad (Promedio A y B)
	A	B		
A	0.83	0.83	1.66	0.83
B	0.17	0.17	0.34	0.34

Matriz Normalizada Beneficios			Total A+B	Vector prioridad Promedio A y B
	A	B		
A	0.13	0.12	0.25	0.125
B	0.88	0.88	1.76	0.88

Matriz Normalizada Implementación			Total A+B	Vector prioridad Promedio A y B
	A	B		
A	0.1000	0.1000	0.2	0.1
B	0.9000	0.9000	1.8	0.9

Adicionalmente se realizan los mismos pasos para la matriz de criterios.

Matriz de Comparaciones por pares - CRITERIOS

	a	B	C
a	1	1/7	1 /9
b	7	1	5
c	9	1/5	1

Matriz de Comparaciones por pares - CRITERIOS

	a	B	C
a	1	1/7	1 /9
b	7	1	5
c	9	1/5	1
total	17	1.3429	6.11

Matriz Normalizada CRITERIOS				Σ a,b,c	Vector prioridad (Promedio a,b y c)
	a	b	C		
a	0.05882	0.10638	0.01818	0.18339	0.0611
b	0.41176	0.74468	0.81818	1.97463	0.6582
c	0.52941	0.14894	0.16364	0.84198	0.2807

Estos resultados se pueden interpretar como: El criterio b (Beneficios) es de mayor importancia en la elección con un 65%.

Luego, con el cálculo de la razón de consistencia verificamos la validez e idoneidad de los datos, así:

	a	B	C	Suma Ponderada
A	1 x 0.0611	1/7 x 0.6582	1/9 x 0.2807	0.18634
B	7 x 0. 0611	1 x 0. 6582	5 x 0. 2807	2.48942
C	9 x 0. 0611	1/5 x 0. 6582	1 x 0. 2807	0.96247

Luego, para cada fila se divide la suma ponderada para la prioridad correspondiente y se calcula la media λ_{\max} .

Suma Ponderada (s)	Prioridad (p)	Cociente (s/p)		
0.18634	0.0611	3.04835		
2.48942	0.6582	3.78211		
0.96247	0.2807	3.42929		λ_{\max}
		10.2597	/3	3.4199

5.4.4 Prueba de Consistencia.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$$

$$CI = (3.4199 - 3) / (3-1)$$

$$CI = 0.4199 / 2$$

$$CI = 0.21$$

Según la Tabla 1, el Índice de Consistencia Aleatoria es igual a 0.58.

$$CR = CI / RI$$

$$CR = 0.21 / 0.58$$

$$CR = 0.36 = 36\%$$

El índice $CR > 10\%$, indica que la matriz y los datos adquiridos son mayormente consistentes, pero se recomienda hacer una revisión en los pesos

asignados, pues hay evidencia que se prefiere a la segunda alternativa comparada. Proseguimos a calcular el vector global y así poder evaluar la alternativa más conveniente. Para esto, se genera otra matriz colocando las alternativas por filas y los criterios por columnas, con los resultados de cada una de las prioridades de las alternativas.

Vector de prioridad Global

ALTERNATIVAS	Costo	Beneficios	Implementación
A	0.83	0.125	0.1
B	0.17	0.88	0.9
(VECTOR DE PRIORIDAD CRITERIOS)	0.06113	0.65821	0.28066

Por último, se procede a multiplicar el vector de prioridad de los criterios por la matriz de prioridades de las alternativas.

$$0.06113 \times 0.83 + 0.65821 \times 0.125 + 0.28066 \times 0.1 = 0.16$$

$$0.06113 \times 0.17 + 0.65821 \times 0.88 + 0.28066 \times 0.9 = 0.84$$

Vector de prioridad Global

ALTERNATIVAS	Costo	Beneficios	Implementación	PONDERADORES GLOBALES
A	0.83	0.125	0.1	0.16
B	0.17	0.88	0.9	0.84

Este resultado nos indica que la alternativa más idónea para la implementación de la tecnología de identificación automática en la PYME es la “B”, es decir RFID, también podemos ver que el peso que tiene el criterio Beneficios en la elección de esta alternativa es el más alto, por lo tanto podemos interpretar este

resultado como: que la elección se debe a que éste criterio es el que más importó al decisor que puso los pesos en las comparaciones de pares.

5.4.5 CASOS DE ESTUDIO

5.4.5.1 CASO 1

En este punto, es cuando se manifiesta una de las ventajas importantes del Proceso AHP, que es la posibilidad de hacer un análisis de sensibilidad muy potente, modificando los pesos relativos de los criterios, para determinar <<¿Qué ocurriría si,?>>

Para nuestro caso vamos a determinar ¿Qué ocurriría si, el criterio costo, respecto a las alternativa B (RFID), hubiera tenido una importancia 5 veces menor?;

Bien, comenzamos modificando este parámetro en la matriz de comparaciones por pares-ALTERNATIVAS – CRITERIO: Costo, de esta manera:

5.4.5.1.1 COMPARACIONES POR PARES

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Costo

	A	B
A	1	1/5
B	5	1

Las otras dos matrices continúan invariables:

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Beneficios obtenidos

	A	B
A	1	1/7
B	7	1

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Implementación

	A	B
A	1	1/9
B	9	1

Colocamos el valor de la sumatoria de cada columna debajo de cada una de ellas.

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Costo

	A	B
A	1	1/5
B	5	1
total	6	1.20

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Beneficios obtenidos

	A	B
A	1	1/3
B	7	1
total	8.0000	1.1428

Matriz de Comparaciones por pares – ALTERNATIVAS – CRITERIO: Implementación

	A	B
A	1	1/9
B	9	1
total	10.0000	1.1111

Dividimos cada uno de los elementos de la matriz para la suma de cada columna y generamos las matrices normalizadas.

Matriz Normalizada Costo		
	A	B
A	0.17	0.17
B	0.83	0.83

Matriz Normalizada Beneficios		
	A	B
A	0.13	0.12
B	0.88	0.88

Matriz Normalizada Implementación		
	A	B
A	0.1	0.1
B	0.9	0.9

5.4.5.1.2 Estimación de los pesos de los elementos de decisión.

Se promedian los valores normalizados de las filas. Este promedio corresponde al vector principal.

Matriz Normalizada Costo			Total A+B	Vector prioridad Promedio A y B
	A	B		
A	0.17	0.17	0.34	0.17
B	0.83	0.83	1.66	0.83

Matriz Normalizada Beneficios			Total A+B	Vector prioridad Promedio A y B
	A	B		
A	0.13	0.12	0.25	0.125
B	0.88	0.88	1.76	0.88

Matriz Normalizada Implementación			Total A+B	Vector prioridad Promedio A y B
	A	B		
A	0.1	0.1	0.2	0.1
B	0.9	0.9	1.8	0.9

Realizamos los mismos pasos para la matriz de criterios.

Matriz de Comparaciones por pares - CRITERIOS

	a	B	C
a	1	1/7	1 /9
b	7	1	5
c	9	1/5	1
total	17	1.3429	6.11

Matriz Normalizada CRITERIOS				Σ a,b,c	Vector prioridad (Promedio a,b y c)
	a	b	C		
a	0.05882	0.10638	0.01818	0.18339	0.0611
b	0.41176	0.74468	0.81818	1.97463	0.6582
c	0.52941	0.14894	0.16364	0.84198	0.2807

Estos resultados se pueden interpretar como: El criterio b (Beneficios) es de mayor importancia en la elección con un 65%.

Luego, con el cálculo de la razón de consistencia verificamos la validez e idoneidad de los datos, así:

	A	B	C	Suma Ponderada
A	1 x 0.0611	1/7 x 0.6582	1/9 x 0.2807	0.18634
B	7 x 0.0611	1 x 0.6582	5 x 0.2807	2.48942
C	9 x 0.0611	1/5 x 0.6582	1 x 0.2807	0.96247

Luego, para cada fila se divide la suma ponderada para la prioridad correspondiente y se calcula la media λ_{\max} .

Suma Ponderada (s)	Prioridad (p)	Cociente (s/p)		
0.18634	0.0611	3.04835		
2.48942	0.6582	3.78211		
0.96247	0.2807	3.42929		λ_{\max}
		10.2597	/3	3.4199

5.4.5.1.3 Prueba de Consistencia.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$$

$$CI = (3.4199 - 3) / (3-1)$$

$$CI = 0.4199 / 2$$

$$CI = 0.21$$

Consultamos la tabla 1 y el valor del Índice de Consistencia Aleatoria es: 0.58

$$CR = CI / RI$$

$$CR = 0.21 / 0.58$$

$$CR = 0.36 = 36\%$$

El índice $CR > 10\%$, indica que la matriz y los datos adquiridos son medianamente consistentes, pero se recomienda hacer una revisión en los pesos asignados, pues hay evidencia que se prefiere a la segunda alternativa comparada. Proseguimos a calcular el vector global y así poder evaluar la alternativa más conveniente. Para esto, se genera otra matriz colocando las alternativas por filas y los criterios por columnas, con los resultados de cada una de las prioridades de las alternativas.

5.4.5.1.4 RESULTADO

Vector de prioridad Global

ALTERNATIVAS	Costo	Beneficios	Implementación
A	0.17	0.125	0.1
B	0.83	0.88	0.9
(VECTOR DE PRIORIDAD CRITERIOS)	0.06113	0.65821	0.28066

Por último, se procede a multiplicar el vector de prioridad de los criterios por la matriz de prioridades de las alternativas.

$$0.06113 \times 0.17 + 0.65821 \times 0.125 + 0.28066 \times 0.1 = 0.12$$

$$0.06113 \times 0.83 + 0.65821 \times 0.88 + 0.28066 \times 0.9 = 0.88$$

Vector de prioridad Global

ALTERNATIVAS	Costo	Beneficios	Implementación	PONDERADORES GLOBALES
A	0.17	0.125	0.1	0.12
B	0.83	0.88	0.9	0.88

Este resultado muestra que la alternativa B (RFID), es la más recomendable, pero en este caso se puede interpretar el resultado como que la razón por la que se recomienda elegir la opción B, está dividida o compartida por los criterios del Costo y de los Beneficios, con 83% Y 85% respectivamente.

5.4.5.2 CASO 2

Como otro caso de estudio vamos a determinar ¿Qué ocurriría si, la matriz de comparación de criterios cambia?, para esto vamos a colocar los pesos siguiendo las comparaciones que dicen que: el criterio b (Beneficios) importa siete veces más que el criterio a (costo) y el criterio c (Implementación) importa 9 veces más que el criterio a (costo).

5.4.5.2.1 MATRICES DE COMPARACION POR PARES

Las matrices de comparación por pares de los criterios-alternativas permanecen como en el primer ejemplo, pero la matriz de comparaciones por pares de criterios cambia:

Matriz de Comparaciones por pares - CRITERIOS

	A	B	C
a	1	7	9
b	1/7	1	5
c	1/9	1/5	1
total	1.2540	8.2000	15.0000

Matriz Normalizada CRITERIOS				$\sum a,b,c$	Vector prioridad (Promedio a,b y c)
	A	b	C		
a	0,79747	0,85366	0,60000	2.25113	0.7504
b	0,11392	0,12195	0,33333	0.56921	0.1897
c	0,08861	0,02439	0,06667	0.17966	0.0599

Podemos ver e interpretar que el criterio (a) que es el costo, es el más influyente y de más peso en la comparación de criterios con un 75%.

Calculamos la razón de consistencia

	A	B	C	Suma Ponderada
A	1 x 0.7504	7 x 0.1897	9 x 0.0599	2.61752
B	1/7 x 0.7504	1 x 0.1897	5 x 0.0599	0.59637
C	1/9 x 0.7504	1/5 x 0.1897	1 x 0.0599	0.18121

Luego, para cada fila se divide la suma ponderada para la prioridad correspondiente y se calcula la media λ_{\max} .

Suma Ponderada (s)	Prioridad (p)	Cociente (s/p)		
2.61752	0.7504	3.48828		
0.59637	0.1897	3.14317		
0.18121	0.0599	3.02581		λ_{\max}
		9.6573	/3	3.2191

5.4.5.2.2 Prueba de Consistencia.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$$

$$CI = (3.2191 - 3) / (3-1)$$

$$CI = 0.2191 / 2$$

$$CI = 0.11$$

Hemos determinado según la Tabla 1, que el índice de consistencia aleatorio es igual a 0.58

$$CR = CI / RI$$

$$CR = 0.11 / 0.58$$

$$CR = 0.19 = 19\%$$

El índice $CR > 10\%$, indica que la matriz y los datos adquiridos son mayormente consistentes, pero se recomienda hacer una revisión en los pesos asignados. Proseguimos a calcular el vector global y así poder evaluar la alternativa más conveniente. Para esto, se genera otra matriz colocando las alternativas por filas y los criterios por columnas, con los resultados de cada una de las prioridades de las alternativas.

5.4.5.2.3 RESPUESTA

Vector de prioridad Global			
ALTERNATIVAS	Costo	Beneficios	Implementación
A	0.17	0.125	0.1
B	0.83	0.88	0.9
(VECTOR DE PRIORIDAD CRITERIOS)	0.7504	0.1897	0.0599

Por último, se procede a multiplicar el vector de prioridad de los criterios por la matriz de prioridades de las alternativas.

$$0.7504 \times 0.17 + 0.1897 \times 0.125 + 0.0599 \times 0.1 = 0.16$$

$$0.7504 \times 0.83 + 0.1897 \times 0.88 + 0.0599 \times 0.9 = 0.84$$

Vector de prioridad Global

ALTERNATIVAS	Costo	Beneficios	Implementación	PONDERADORES GLOBALES
A	0.17	0.125	0.1	0.16
B	0.83	0.88	0.9	0.84

En este caso el resultado nos indica que la alternativa más idónea para la implementación de la tecnología de identificación automática es B, o RFID, pero ésta vez, el criterio Costos está “a favor” de la alternativa B, pues cambiando los pesos asignados a los criterios en la matriz de comparación de criterios, confirmamos que la decisión sugerida tiene mucho que ver con las razones y pesos que el decisor asigna a las comparaciones, es por eso que se dice que este método nos da resultados racionales que son “sensibles”; pero son sensibles al modo de ver del decisor, que puede ser que asigne los pesos en base a sus experiencias y vivencias.

5.5 APLICACION PROPUESTA

Fuente: Elaboración Propia

PROCESO DE ANALISIS JERARQUICO AHP

NUMERO DE ALTERNATIVAS (CODIGO DE BARRAS y RFID)

NUMERO DE CRITERIOS

CRITERIOS			Costo	Beneficios	Implementación
Criterio 1	Costo	Costo	1.0000	0.3333	0.2500
Criterio 2	Beneficios	Beneficios	3.0000	1.0000	2.0000
Criterio 3	Implementación	Implementación	4.0000	0.5000	1.0000
TOTAL			8.0000	1.8333	3.2500

Fig. 10. Aplicación Propuesta: Ingreso de datos

La aplicación propuesta está desarrollada en una hoja de cálculo de Microsoft Excel 2010, en la cual se ingresan el número de criterios a ser evaluados y los valores de los pesos asignados a cada una de las comparaciones entre ellos (Fig 10). La figura 11 muestra una salida de pantalla en la que la aplicación calcula y construye la matriz normalizada

Fuente: Elaboración Propia

MATRIZ NORMALIZADA					VECTOR PRIORIDAD
	Costo	Beneficios	Implementación	TOTAL	
Costo	0.12500	0.18182	0.07692	0.38374	0.1279
Beneficios	0.37500	0.54546	0.61538	1.53584	0.5119
Implementación	0.50000	0.27273	0.30769	1.08042	0.3601

Fig. 11. Aplicación Propuesta: Matriz Normalizada

La figura 12 muestra el vector prioridad, para luego usar esos valores en el cálculo del índice y ratio de consistencia.(Fig 13.)

Fuente: Elaboración Propia

suma ponderada	para vector prioridad
0.38860	3.03796
1.61597	3.15651
1.12777	3.13147

Fig. 12. Aplicación Propuesta: Vector de Prioridades

Fuente: Elaboración Propia

índice de consistencia	
IC =	$(\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$
IC =	0.05
RI =	0.58
RC = IC/RI	0.09 = 9 %

Fig. 13. Aplicación Propuesta: Consistencia de la matriz

Por último se muestra la imagen del vector de prioridad global que nos indica cuál de las alternativas a elegir es la mejor, el mayor valor del vector de

prioridad global, según el modelo construido y la aplicación propuesta (Fig. 14).

Fuente: Elaboración Propia

VECTOR DE PRIORIDAD GLOBAL				
	Costo	Beneficios	Implementación	GLOBALES
CODIGO DE BARRAS	0.80	0.25	0.33	0.35
RFID	0.20	0.75	0.66	0.65
VECTOR DE PRIORIDAD	0.12791	0.51195	0.36014	

Fig. 14. Aplicación Propuesta: Mejor Alternativa

5.6 CONCLUSIONES.

La implementación de las tecnologías de identificación de Código de barras y/o RFID en las pymes, es considerada una decisión estratégica de negocios. El Proceso Analítico Jerárquico, que es un método cuantitativo que puede ser usado para integrar información cualitativa, valores cuantitativos y análisis, ha sido efectivamente usado para aplicaciones de toma de decisiones.

Contribuye con los decisores para entender las relaciones complejas entre los diferentes criterios a considerar en la toma de decisiones. Diferentes métodos de toma de decisiones de multicriterio pueden ser aplicados al mismo problema, es por eso que se han desarrollado aplicaciones informáticas para ayudar a la toma de decisiones referentes a problemas complejos con múltiples criterios.



Los profesores Hugo Roche y Constantino Viejo, catedráticos de la Universidad de la República (Udelar) de Uruguay, en un trabajo publicado en el año 2005, que está disponible en el vínculo <<
<http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP>>>, exponen la metodología AHP, que es conocida ampliamente, con un enfoque hacia la aplicación de la misma al campo de la Administración. El aporte que se pretende dar al trabajo antes citado es, por un lado: la explicación detallada paso a paso para la elaboración de la metodología AHP y luego el análisis de casos con metodología de prueba y error, para llegar a la correcta aplicación de filtros de decisión en casos diferentes de acuerdo al entorno de las pequeñas y medianas empresas, para la toma de decisiones entre la tecnología a aplicar e implementar, llevando a cabo, adicionalmente un análisis de sensibilidad, que consiste en determinar la mejor opción de las alternativas disponibles, verificando la consistencia de las respuestas con los criterios de comparación dados en un inicio y analizar cuál es la incidencia del cambio de valor en estos criterios de comparación.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El AHP es un sistema flexible de análisis de decisión con múltiples criterios, usado como ayuda en el proceso de toma de decisiones complejas, puede ser aplicado a diferentes campos. Ofrece ciertas ventajas frente a otros procedimientos, como son:

- i. simplicidad y claridad
- ii. estructura de metodología de trabajo sencilla y lógica
- iii. permite realizar un análisis de sensibilidad
- iv. permite estudiar otras posibles soluciones, haciendo cambios en la importancia de los elementos que definen el problema.

El método divide un problema, encuentra múltiples soluciones y luego une todas las soluciones de los sub problemas en una sola conclusión, también trata de eliminar los juicios hechos intuitivamente, de manera improvisada que por lo general se los hace en la mayoría de las decisiones complejas, el método nos permite considerar criterios cuantitativos y cualitativos.

Para usar AHP, se debe tener juicios claros de valor sobre el problema a resolver y las alternativas que tienen los criterios a considerar, esto hay que tener muy en cuenta, porque el resultado de la aplicación del método afecta directamente a la decisión final, porque esa decisión, estará muy relacionada con las preferencias ingresadas por el decisor el momento de introducir los juicios de valor en la matriz de comparación de pares.

Se recomienda por lo tanto, realizar un Análisis de Sensibilidad, que consiste en analizar el resultado de las prioridades obtenidas después de la comparación por pares, porque el resultado depende en gran medida del esquema jerárquico que la persona o el grupo de personas encargadas de tomar la decisión establecieron, además de los valores que se pongan a los elementos componentes del problema. Es éste Análisis el pequeño aporte que se hace al trabajo presentado por los profesores Hugo Roche y Constantino Viejo en su documento “Análisis multicriterio en la toma de decisiones” (ROCHE, H., VIEJO, C., 2005).

Se ha podido concluir, gracias al análisis de sensibilidad, que: los cambios en la jerarquía generan cambios en los resultados. De allí la importancia de un correcto análisis inicial del problema, para poder incluir en el modelo los criterios y alternativas más indicadas para la resolución del problema planteado.

Para analizar rápidamente y con facilidad la sensibilidad de las decisiones a los diferentes cambios posibles, es preferible hacerlo con alguna herramienta de software, debido que eleva el índice de confiabilidad de los resultados, al disminuir el porcentaje de riesgo de error, además de proveer un considerable ahorro de tiempo en los cálculos matemáticos.

La aplicación del Proceso Analítico Jerárquico garantiza la mejor decisión. Se lo debe considerar como un procedimiento muy probado y con mucho éxito en la toma de decisiones, que permite, en la generalidad de los casos obtener resultados muy razonables además de confiables.



7 BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE INFORMACION.

7.1 LIBROS Y DOCUMENTOS EN LINEA

ANGRIST, J. D.; PISCHKE, J. S. *How Much Should We Trust Differences-in-Differences Estimates*. Quarterly Journal of Economics 119 (1). 249–275. 2004.

BALLOU, R, *Business Logistic Management*. Prentice Hall, 4ª edición. New York, NY, USA. 2004.

BERTRAND, M.; DUFLO, E.; MULLAINATHAN, S.: *How much should we trust difference-indifferences estimates*. Quarterly Journal of Economics, pp 4570–4578. 2004

BREWER, A.; BUTTON, K.; HENSHER D., *Handbook of logistics and supply-chain management*. Emerald Group Publishing. London, UK. 2001.

BROWN, K.L.; INMAN, A.; CALLOWAY, J.A., *Measuring the effect of inventory inaccuracy in MRP inventory and delivery performance*. Production Planning and Control, Vol 12, pp 46-57. 2001



CASTELLÓ MARTÍNEZ VICENTE, *Localización y decodificación de códigos de barras en imágenes*, 2005.

CAVINATO, J.; FLYNN, A.; KAUFFMAN, R., *The supply management Handbook*. McGraw-Hill, 7ª edición. New York, NY, USA. 2006.

CHEN I., PAULRAJ A., *Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements*. Journal of Operations Management, Vol. 22 Issue 2. 2004.

DEHORATIUS, N., RAMAN, A., *Inventory record inaccuracy an empirical analysis*. University of Chicago. Chicago, IL, USA. 2004.

HOFFMAN, K. AND KUNZE, R. *Linear Algebra*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 1971.

GAUKLER, GM; SEIFERT, RW; HAUSMAN, WH,; *Item Level RFID in the retail supply chain*. Prod Oper Manag 16 (1): 65-76.. 2007.

KOONTZ, H. y WEIHRICH, H. *Administración una Perspectiva Global*. Mcgraw-Hill Interamericana de editores, S.A., 11º edición. 1999



HINES, T., *Supply Chain Strategies: Customer Driven and Customer Focused*. Butterworth-Heinemann. Chicago, IL, USA. 2004.

HUNT,D. PUGLIA, D., PUGLIA,M., *RFID A guide to Radiofrequency Identification*. John Wiley & Sons, New Jersey, NJ, USA. 2007.

KUMAR, S., *Connective Technologies in the Supply Chain*. CRC Press. New York, NY, USA. 2007.

LAMBERT,D., *Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance*. Supply Chain Management Institute. Kansas City, MO, USA. 2008.

LEE, Y.; CHENG,F.; LEUNG, Y., *A cuantitative view on how RFID can improve inventory Management in a supply chain*. International Journal of Logistics Research and Applications, Vol 12. Pp 23-43. 2009.

MERCHÁN, D., TORRES, S., BURNEO R., VÁSCONEZ G., *Aplicaciones de la tecnología RFID en la cadena de abastecimiento del calzado en el Ecuador en Avances en Ciencias e Ingenierías*, 2011. ISSN 1390-5384

MEYERS, F.; STEPHENS, M., *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Pearson Education. 3ª Edicion. México DF. 2006.

MULLER, M, *Essential of Inventory Management*. Amacon, Chicago, IL, USA. 2003.



MYERSON, J., *RFID in the Supply Chain: A guide to selection and Implementation*.

CRC Press. Boston, MA, USA. 2006.

RAHMAN, S.; RAISINGHANI, M., *Electronic Commerce: Opportunity and Challenges*. Idea Group Inc, Atlanta, GE, USA. 2000.

ROCHE, H., VIEJO, C. ; *Análisis multicriterio en la toma de decisiones. Métodos Cuantitativos Aplicados a la Administración. Material de Apoyo ANALISIS MULTICRITERIO*. Facultad de Ciencias Económicas y de Administración. Universidad de la República. Uruguay. 2005

SAATY, T. L.; *Decision making for leaders: the Analytic hierarchy process for decisions in a complex world*. RWS Publications, Pittsburg, Pensilvania, USA. 1999.

SAATY, T.L.; *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, NY, USA. 1980.

TOMPKINS, A.; HARMELINK, D., *The Supply Chain Handbook*. Tompkins Press. Atlanta, GE, USA. 2004.

USTUNDAG, A. (ed.), *The Value of RFID*, Springer-Verlag London, 2013. ISBN: 978-1-4471-4344-4.



VAIDYA, OS; KUMAR, S.: *Analytic Hierarchy process: an overview of applications.*

European Journal of Operations Research., 169(1): pp 1-29. 2006

WILCOXON, F. *Individual Comparisons by Ranking Methods.* Biometrics 1, 80-83.

ZHANG, L: *Comparison of classical analytic hierachy process (AHP) approach and fuzzy AHP a pproach in multiple criteria decisión making for comercial vehicle information systems and networks Project.* University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, 2010.

ZIMMERMAN, DONALD W. *A Note on Interpretation of the Paired-Samples t Test.* *Journal of Educational and Behavioral Statistics* 22 (3) pp. 349–360. 1997.

7.2 WEB

The Mathematics of Barcodes. Disponible en < <http://www.vmi.edu/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=4294971369>>. Boyls-White, Christopher M. Consultado el 17 de Febrero de 2015.

Identificación Automática. Disponible en <http://gs1ec.org/contenido/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=20>. Consultado el 12 de Junio de 2014.



Diccionario Real Academia Española. Disponible en www.rae.es. Consultado el 15 de Octubre de 2014.

Guía para la aplicación del sistema de trazabilidad en la empresa agroalimentaria. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. AESAN. 2009. Disponible en http://aesan.msssi.gob.es/AESAN/docs/Docs/publicaciones_estudios/seguridad/Trazabilidad1.pdf. Consultado el 15 de Octubre de 2014.

Sistemas de identificación por radiofrecuencia, código de barras y su relación con la gestión de la cadena de suministro. CORREA E., A; ALVAREZ L. C; GOMEZ M. R, 2010. Disponible en: http://www.researchgate.net/publication/227386008_SISTEMAS_DE_IDENTIFICACION_POR_RADIOFRECUENCIA_CDIGO_DE_BARRAS_Y_SU_RELACION_CON_LA_GESTION_DE_LA_CADENA_DE_SUMINISTRO. Consultado el 17 de Junio de 2014.

Código de Barras. Calidad de Lectura en Punto de Venta. GS1 México, 2014. Disponible en <http://www.gs1mexico.org/site/wp-content/uploads/2012/06/REPORTE-DE-CALIDAD-DE-LECTURA-EN-PUNTO-DE-VENTA.pdf>. Consultado el 17 de Junio de 2014.



8 ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

<i>Fig. 1. Componentes de la Tecnología RFID</i>	6
<i>Fig. 2. Nomenclatura del Código de barras</i>	15
<i>Fig. 3. Código de barras en las PYMES</i>	30
<i>Fig. 4. RFID dentro de las PYMES</i>	32
<i>Fig. 5. Código de barras vs. RFID</i>	33
<i>Fig. 6. Aplicaciones e impactos en la cadena de suministros</i>	35
<i>Fig. 7. Funciones administrativas de las empresas</i>	38
<i>Fig. 8. Efecto DID</i>	44
<i>Fig. 9. Estructura Jerárquica</i>	53
<i>Fig. 10. Aplicación Propuesta: Ingreso de datos</i>	80
<i>Fig. 11. Aplicación Propuesta: Matriz Normalizada</i>	80
<i>Fig. 12. Aplicación Propuesta: Vector de Prioridades</i>	81
<i>Fig. 13. Aplicación Propuesta: Consistencia de la matriz</i>	81
<i>Fig. 14. Aplicación Propuesta: Mejor Alternativa</i>	82
 Tabla 1. Índice de Consistencia Aleatorio de Saaty	 60



9 GLOSARIO

EAS.

Acrónimo de **E**lectronic **A**rticle **S**urveillance o Vigilancia Electrónica de artículos. Es un sistema de seguridad para prevenir el robo en tiendas de venta por menor, que usa etiquetas duras desechables o reutilizables pegadas en la mercadería. Una Alarma es disparada cuando se camina a través de los pedestales de detección en la salida de la tienda, si una etiqueta desechable no fue desactivada; o una etiqueta reutilizable no fue quitada en el lugar de pago o caja. (The Free Dictionary. 2014)

EIGENVALUE.

Palabra derivada del vocablo Alemán <<Eigenwert>>. Son un juego especial de escalares asociados con un sistema lineal de ecuaciones que son a veces también conocidos como raíces características, valores característicos, valores propios o raíces latentes. Son los vectores no nulos que, cuando son transformados por el operador, dan lugar a un múltiplo escalar de sí mismos, con lo que no cambian su dirección.

IFF.



Acrónimo de **I**dentification **F**riend or **F**oe o Identificador Amigo-Enemigo, es un sistema de identificación criptográfica que sirve para identificar vehículos o aeronaves amigas de las enemigas. El primer IFF operativo del mundo fue desarrollado por Alemania en 1940. El sistema usaba frecuencias de radar de 125 MHz y 550-580 MHz.

Dos sistemas son necesarios para su funcionamiento: un interrogador (un radar secundario, por ejemplo) y un transpondedor. Existen distintos modos de interrogación. La interrogación en la mayoría de estos modos consta de dos pulsos separados por un intervalo de tiempo preciso.

TRANSPONDER.

Acrónimo de **TRANS**mitter-res**PONDER** o transmisor-respondedor, es un aparato que emite una señal en una frecuencia determinada cuando lo estimula otra señal externa apropiada.

TRAZABILIDAD.

Es la capacidad para reconstruir el proceso histórico de un producto y de conocer su destino más inmediato. “Este concepto lleva inherente la necesidad de poder identificar cualquier producto dentro de la empresa, desde la adquisición de las materias primas, a lo largo de las actividades de producción, transformación y/o



distribución que desarrolle, hasta el momento que el operador realice su entrega al siguiente eslabón de la cadena.” (AESAN, 2009)