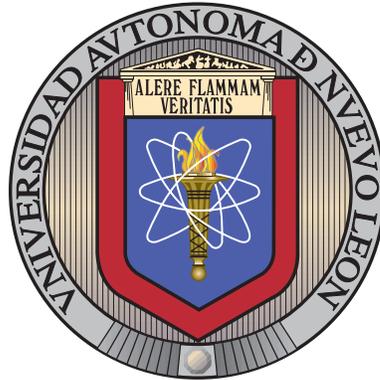


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO



SISTEMA INTELIGENTE PARA SELECCIÓN DE
TECNOLOGÍAS DE RECOLECCIÓN DE PEDIDOS

POR

GABRIELA VILLARREAL ZAPATA

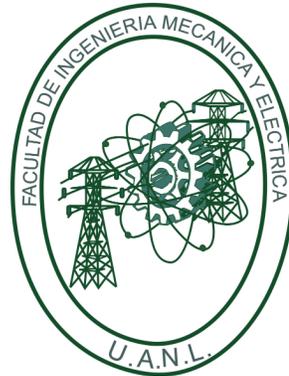
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

DICIEMBRE 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO



SISTEMA INTELIGENTE PARA SELECCIÓN DE
TECNOLOGÍAS DE RECOLECCIÓN DE PEDIDOS

POR

GABRIELA VILLARREAL ZAPATA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

DICIEMBRE 2018

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirector de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Sistema inteligente para selección de tecnologías de recolección de pedidos», realizada por el alumno Gabriela Villarreal Zapata, con número de matrícula 1885197, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis

Dr. Tomás Eloy Salais Fierro
Asesor

Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez
Revisor

Dr. Luis Alfonso Infante Rivera
Revisor

Vo. Bo.

Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado

*Este trabajo se lo dedico a Dios
a mis padres; César y Lulú
a mis hermanas; Alejandra y Karen
y a mi mejor amigo; Bryan.*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	XIII
Resumen	XIV
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Objetivo	3
1.3. Hipótesis	3
1.4. Justificación	3
1.5. Metodología	5
1.6. Estructura de la tesis	6
2. Antecedentes	7
2.1. Cadena de suministro y logística	7
2.2. Centros de distribución	8
2.2.1. Recolección de pedidos	9
2.2.2. Sistemas de recolección de pedidos	10

2.2.3. Tecnologías para la recolección de pedidos	12
2.3. Revisión sistemática de la literatura	13
2.4. Proceso de jerarquía analítica	14
2.4.1. Estructuración del problema de decisión en un modelo jerárquico	16
2.4.2. Hacer comparaciones por pares y obtener la matriz de juicio .	16
2.4.3. Pesos locales y consistencias de las comparaciones	19
2.4.4. Agregación de ponderaciones en varios niveles para obtener los pesos finales de las alternativas	22
2.4.5. Aplicaciones	23
2.5. Red neuronal artificial	24
2.5.1. Nodos	25
2.5.2. Capas	26
2.5.3. Flujos de señal	26
2.5.4. Estrategias de aprendizaje	27
2.6. Aplicaciones	28
3. Metodología	31
3.1. Selección de criterios	32
3.2. Ponderación de criterios y jerarquización alternativas	36
3.3. Sistema inteligente de decisión	44
3.4. Selección red neuronal artificial	48

4. Análisis y resultados	51
4.1. RSL	51
4.1.1. Ejemplo	52
4.2. Caso de estudio	54
5. Conclusiones	62
5.1. Conclusiones generales	62
5.2. Contribuciones	64
5.3. Trabajo futuro	65
A. Apéndice	66

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Actividades de almacén como porcentaje del costo total.	4
1.2. Metodología.	5
2.1. Sistemas de recolección de pedidos.	11
2.2. Estructura proceso analítico jerárquico.	17
2.3. Estructura red neuronal artificial.	25
3.1. Metodología propuesta	31
3.2. Revisión sistemática de la literatura.	34
3.3. Modelo jerárquico del problema de investigación.	37
3.4. Estructura red neuronal artificial modelo 1.	45
3.5. Estructura red neuronal modelo 2.	45
3.6. Estructura red neuronal artificial modelo 3.	46
3.7. Estructura red neuronal artificial modelo 4.	47
3.8. Mejor desempeño.	50
4.1. Distribución de artículos científicos.	52

4.2. Motor de búsqueda artículos científicos.	53
4.3. Porcentaje de artículos científicos por tecnologías.	54
4.4. Comparación entre PJA y RNA.	56
4.5. Ubicación Cedis.	57
4.6. Ponderación criterios.	58
4.7. Ponderación subcriterios costo.	59
4.8. Ponderación subcriterios medidas de desempeño.	59
4.9. Ponderación subcriterios características tecnológicas.	60
4.10. Priorización tecnologías.	61

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Diferencias entre revisión sistemática y revisión narrativa	13
2.2. Escala fundamental de juicios.	18
2.3. Valores de IA para matrices de diferentes órdenes.	22
3.1. Criterios considerados con respecto a tecnologías de recolección. . . .	35
3.2. Matriz de juicios de los criterios.	40
3.3. Matriz normalizada de los criterios.	40
3.4. Razón de consistencia para los criterios.	40
3.5. Matriz de juicios de subcriterios con respecto a costo.	41
3.6. Matriz normalizada de los subcriterios con respecto a costo.	41
3.7. Razón de consistencia para los subcriterios con respecto a costo. . . .	41
3.8. Matriz de juicios de subcriterios con respecto a medidas de desempeño.	41
3.9. Matriz normalizada de los subcriterios con respecto medidas de desem- peño.	41
3.10. Razón de consistencia para los subcriterios con respecto a medidas de desempeño.	42

3.11. Matriz de juicios de subcriterios con respecto a características tecnológicas.	42
3.12. Matriz normalizada de los subcriterios con respecto a características tecnológicas.	42
3.13. Razón de consistencia para los subcriterios con respecto a características tecnológicas.	42
3.14. Datos para la evaluación.	43
3.15. Matriz de juicios de alternativas con respecto a hardware.	43
3.16. Matriz normalizada de alternativas con respecto a hardware.	43
3.17. Razón de consistencia para las alternativas con respecto a hardware.	44
3.18. Resultados de la evaluación de las alternativas.	44
3.19. Parámetros de la red neuronal artificial.	49
4.1. Valores de entrada para la RNA.	55
4.2. Comparación entre PJA y RNA.	55
4.3. Valores de entrada caso de estudio.	60
A.1. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 2.	67
A.2. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 2.	67
A.3. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 3.	67
A.4. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 3.	68
A.5. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 4.	68
A.6. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 4.	68

A.7. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 5.	69
A.8. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 5.	69
A.9. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 6.	69
A.10. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 6.	70
A.11. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 7.	70
A.12. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 7.	70
A.13. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 8.	71
A.14. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 8.	71
A.15. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 9.	71
A.16. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 9.	72
A.17. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 10.	72
A.18. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 10.	72
A.19. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 11.	73
A.20. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 11.	73
A.21. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 12.	73
A.22. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 12.	74
A.23. Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 13.	74
A.24. Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 13.	74

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor y tutor académico, el Dr. Tomás Eloy Salais Fierro por el apoyo brindando a lo largo de toda la maestría. Por compartir sus conocimientos y por brindarme consejos en los momentos precisos.

A la coordinadora del programa y también revisora, la Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez por sus aportes que hicieron posible la culminación del proyecto.

A mi revisor, el Dr. Luis Infante Rivera, por su entusiasmo y disposición al transmitir sus conocimientos.

De igual manera, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a la Universidad Autónoma de Nuevo León y a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por la oportunidad y el apoyo económico brindado.

A mis compañeros y amigos de maestría que sin duda, hicieron de este reto una experiencia única.

RESUMEN

Gabriela Villarreal Zapata.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: SISTEMA INTELIGENTE PARA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE RECOLECCIÓN DE PEDIDOS.

Número de páginas: 83.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: La investigación emplea una revisión sistemática de la literatura (RSL), el proceso de jerarquía analítica (PJA) y red neuronal artificial (RNA). La primer etapa, tiene como finalidad obtener los criterios de selección mediante una búsqueda exhaustiva de información, para lo anterior, se utiliza la base de datos de la Universidad Autónoma de Nuevo León, la segunda etapa, permite ponderar los criterios determinados y priorizar las tecnologías de recolección de pedidos específicamente por cada experto consultado. Por último, la red neuronal artificial, es empleada para automatizar la toma de decisión con ayuda de los resultados de la etapa previa.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: La propuesta no solo presenta una metodología para seleccionar una tecnología que apoya la recolección de pedidos, sino que, se desarrolla un sistema inteligente que puede aceptar la opinión de un solo decisor, ya que sintetiza los juicios de los expertos consultados. El resultado final de la investigación, radica en que el sistema permite considerar tanto un grupo pequeño o amplio de decisión por lo que se reduce el tiempo y las dificultades para determinar la tecnología adecuada. Claramente puede ser utilizado por cualquier empresa que se encuentre en la misma etapa de elección siempre y cuando no se modifiquen los criterios propuestos.

Firma del asesor: _____

Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La cadena de suministro puede definirse como un conjunto de entidades que de manera directa o indirecta se involucran para satisfacer la necesidad de un cliente. Es importante mencionar que las partes involucradas van desde el proveedor hasta el cliente y, entre ellas, existe un flujo constante tanto de información como de bienes (Chopra y Meindl, 2008).

Por otro lado, el almacén es fundamental para la vinculación de las partes, específicamente entre las entidades de producción y distribución. Las tareas o actividades que se realizan dentro de él requieren una gran cantidad de mano de obra y de capital. De tal manera que, la calidad de las tareas involucradas no solo tiene efecto en el almacén, sino que tiene efecto en la productividad y costos de operación de toda la cadena de suministro (Poon *et al.*, 2009).

La recolección o selección de pedidos representa una actividad clave y una de las fuentes de costos más importante en los centros de distribución o almacenes. Desde que comienza y hasta que termina dicha actividad existen numerosas posibilidades de obtener resultados insatisfactorios que repercuten en la calidad del servicio y en la relación cliente proveedor (De Koster *et al.*, 2007).

Sin embargo, los requerimientos de los clientes han cambiado; pedidos más frecuentes y en menor cantidad de productos son hoy en día una realidad. Lo anterior

tiene efecto en la necesidad de las empresas de responder de manera rápida y flexible a sus clientes, y esto a su vez, influye en la configuración de los almacenes y la actividad de preparación de pedidos ya que deben realizarse en una ventana de tiempo más corta pero a mayor volumen (Battini *et al.*, 2015a).

Por ello, un objetivo importante es minimizar o eliminar los errores en el proceso de recolección y, aunque automatizar completamente la actividad es una forma de lograrlo, la flexibilidad que se necesita para responder a los cambios en las tendencias de los consumidores no puede ser remplazada. Así que, en la mayoría de las situaciones los humanos son la mejor alternativa para el proceso de recolección (Reif y Günthner, 2009).

Para apoyar y facilitar la tarea del empleado la industria del manejo de materiales ha desarrollado diversos equipos técnicos o tecnológicos. Estas herramientas son utilizadas en muchos almacenes alrededor del mundo y gracias a ellas, el proceso de recolección de pedidos presenta mejoras al aumentar su productividad y calidad (De Vries *et al.*, 2016).

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con Grosse *et al.* (2017) existen seis principales decisiones relacionadas con el diseño estratégico de los sistemas de ordenes de pedidos, de los cuales, se encuentra determinar cuál tipo de equipo técnico o tecnológico se debe utilizar para apoyar al recolector de pedidos.

La importancia de lo anterior, recae en que este tipo de resolución, tiene un impacto tanto en el desempeño -que es definido en términos de eficiencia de tiempo-, calidad -que hace mención a los errores de recolección- y finalmente, en la salud del trabajador (Grosse *et al.*, 2017). De esta manera, cuando se toma la decisión de adoptar un sistema de recolección es crucial determinar cuál tecnología es adecuada para el entorno específico en el se requiere (Battini *et al.*, 2015b).

1.2 OBJETIVO

Diseñar un sistema que considere criterios cuantitativos y cualitativos, además de la exploración de patrones para apoyar la toma de decisión respecto a la selección de tecnologías de recolección en un centro de distribución de acuerdo a sus requerimientos y necesidades.

1.3 HIPÓTESIS

Mediante la exploración de patrones y con el apoyo de criterios cuantitativos y cualitativos, es posible establecer un sistema de apoyo a la decisión que permita determinar la tecnología de recolección en un centro de distribución de acuerdo a sus requerimientos y necesidades.

1.4 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con De Koster *et al.* (2007) la selección de pedidos representa alrededor del 55 % de los costos operativos. Mientras que Richards (2017) por su parte, menciona que representa el 35 % (ver Figura 1.1). No obstante, ambos autores establecen que la recolección es la actividad más crítica dentro de un almacén ya que los errores que puedan desarrollarse a lo largo de esta actividad pueden repercutir en un servicio insatisfactorio.

La precisión en el proceso de recolección repercute en la calidad del servicio brindando, en consecuencia, si se presentan productos dañados, productos equivocados o productos faltantes; representa una pérdida financiera en el almacén. De esta manera, Berger y Ludwig (2007) indican que cualquier cambio en la actividad de selección de órdenes que pudiera reducir errores o aumentar la productividad impacta

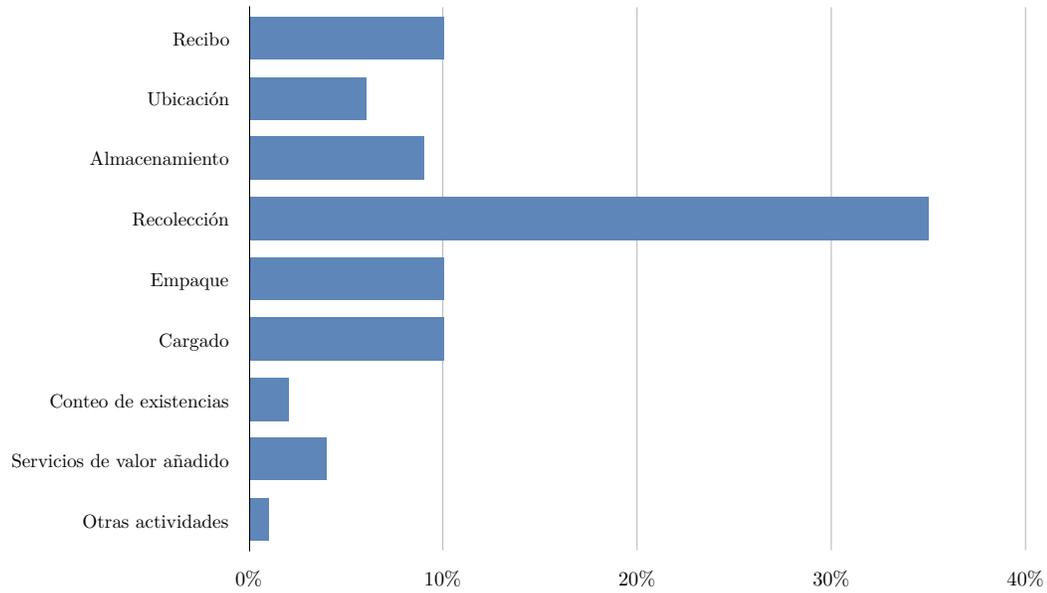


Figura 1.1: Actividades de almacén como porcentaje del costo total.

Fuente: Elaborado a partir de Richards (2017).

de manera significativa la rentabilidad de los centros de distribución.

De Koster *et al.* (2007) y Poon *et al.* (2009) refieren que los sistemas de selección de pedidos sin papel pueden ser una estrategia útil para obtener beneficios. Por ello, existe la necesidad de centrarse en reducir los errores haciendo hincapié en el costo beneficio de las tecnologías de apoyo para esta actividad (Grosse *et al.*, 2015).

Si bien, las tecnologías apoyan al proceso de recolección también es cierto que existen diferentes tipos de éstas, que, a su vez, presentan ventajas y desventajas (Baechler *et al.*, 2016). Para tal efecto, Battini *et al.* (2015b) indica que es fundamental realizar una acertada evaluación de dichas tecnologías tomando en cuenta diversos criterios, tales como, las características tecnológicas, prácticas e impacto económico.

1.5 METODOLOGÍA

Como se observa en la Figura 1.2 la metodología empleada en el desarrollo del proyecto es la propuesta por Castañeda *et al.* (2002) y consta de seis etapas que a continuación son descritas.

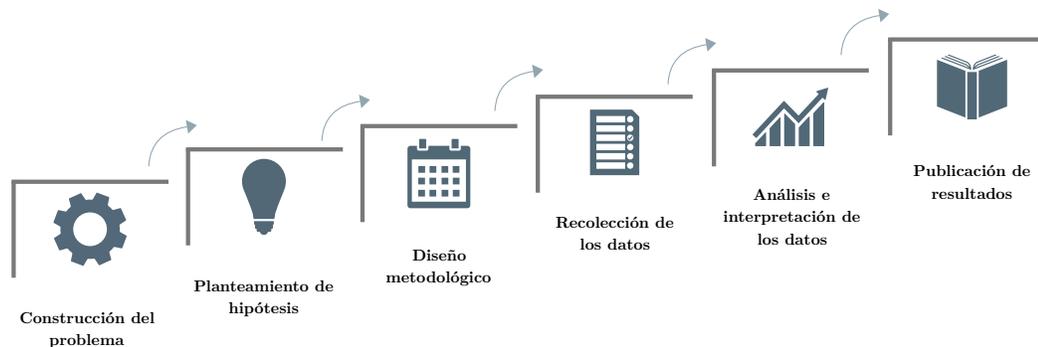


Figura 1.2: Metodología.

Fuente: Elaborado a partir de Castañeda *et al.* (2002).

En la primera etapa de investigación se realiza una búsqueda de información actualizada para establecer el objetivo general, comparar y/o contrastar conceptos y aportaciones por parte de diferentes autores. En la segunda etapa se establece la hipótesis referente al problema de investigación.

En la tercera etapa se presentan una serie de pasos lógicos que comprenden distintos métodos o herramientas para probar la hipótesis de investigación establecida. Posteriormente, en la siguiente etapa, se recopilan los datos necesarios para el desarrollo del proyecto, se realiza un análisis de la información con la ayuda de las herramientas determinadas y, finalmente, se realiza una redacción de los resultados obtenidos y conclusiones.

1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La presente tesis está compuesta por cinco capítulos; introducción, revisión de literatura, metodología, análisis de resultados y conclusiones.

La introducción conforma el primer capítulo donde se plantea a detalle el problema de investigación, así como los objetivos establecidos, la hipótesis, justificación, la metodología y la estructura de la presente tesis.

En el segundo capítulo denominado revisión de literatura, se detallan los principales conceptos inherentes al problema de investigación, así como, hechos anteriores y estado actual de los estudios referentes al proceso de recolección e información acerca de las tecnologías de apoyo.

El tercer capítulo explica minuciosamente las herramientas o métodos que se utilizaron para alcanzar los objetivos previamente planteados y los pasos a desarrollar: revisión sistemática de literatura, proceso analítico jerárquico y red neuronal artificial son las herramientas aplicadas.

En el capítulo análisis de resultados se detalla que por medio de la revisión sistemática de literatura se obtienen criterios como costo, precisión, productividad, funcionalidad, flexibilidad y usabilidad, posteriormente el proceso analítico jerárquico, determina la priorización de los criterios y subcriterios de selección ya mencionados. A su vez, se prioriza cada alternativa de solución y se diseña la red neuronal artificial para automatizar el proceso de decisión.

Finalmente, en el capítulo quinto, se describe la contribución de la investigación, que consiste en un sistema inteligente que no requerirá de un nuevo grupo de decisión, ya que la red presentada sintetiza los juicios de los expertos encuestados teniendo como resultado un ahorro de tiempo y reducción de dificultad al eliminar la necesidad de una decisión grupal. Además, se incluyen las recomendaciones y trabajo a futuro.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

El capítulo a continuación, despliega los conceptos básicos de la tesis, partiendo con logística, cadena de suministro, así como centros de distribución, las actividades que se realizan en él y lo relacionado con las tecnologías de apoyo. Además, una breve explicación acerca de las herramientas y métodos que se han seleccionado para el desarrollo de la metodología.

2.1 CADENA DE SUMINISTRO Y LOGÍSTICA

Los Santos (2006) indica que la cadena de suministro se entiende como el enlace de todas las organizaciones que participan en el proceso de producción, distribución, manipulación, almacenamiento y por último, comercialización. Por otro lado, Mentzer *et al.* (2001) la define, como un sistema integrado por un conjunto de partes, que se encuentran involucradas en los flujos ascendentes y descendentes, ya sea de productos, servicios, información y/o finanzas. Por último, y como ya lo habíamos indicado en el Capítulo 1, Chopra y Meindl (2008) refieren que no se limita a un cierto número de partes, sino que, incluso el cliente forma parte de ella.

De acuerdo con Min y Zhou (2002), el objetivo principal de la cadena de suministro, es mejorar la eficiencia operativa, la rentabilidad y la posición competitiva

de sus integrantes.

La logística por su parte, se refiere al proceso eficiente y efectivo de planificar, implementar y controlar el flujo y almacenamiento ya sea de bienes, servicios e información, lo anterior desde el punto de origen hasta el punto de consumo (Lambert *et al.*, 1998).

2.2 CENTROS DE DISTRIBUCIÓN

Como anteriormente se explicó, la cadena de suministro involucra a todas las partes que juegan un papel importante en la satisfacción de un cliente, y, donde el centro de distribución es elemento clave. Partiendo del concepto general de los centros de distribución, tenemos que; es el lugar que conecta a una empresa con sus clientes y proveedores (Chen, 2001).

Por otra parte, se caracterizan por almacenar materias primas o diferentes tipos de mercancía, de uno o más proveedores (Arrieta Posada, 2011) a su vez, por realizar actividades que añaden valor (Vieira *et al.*, 2017). Mientras tanto Frazelle (2002), considera que se realizan actividades semejantes a los realizados en los almacenes tales como: recibo, ubicación, almacenamiento, recolección, clasificación y unidad y envío. Sin embargo, estas actividades irán en dependencia de las características de las operaciones de distribución, como los tipos y cantidad de artículos, suministros, costos y pedidos (Vieira *et al.*, 2017).

Con respecto a las actividades básicas de los centros de distribución y almacenes, tenemos que; la ubicación, es la tarea de colocar los bienes o materiales en el almacén, incluye desde manejo de materiales, verificación de localización y colocación de productos (Frazelle, 2002). Sin embargo, Bartholdi y Hackman (2008) indican que la asignación del producto dentro del almacén, tiene repercusión en el costo y en la velocidad con la cual será entregada al cliente, por lo que, proponen administrar las ubicaciones, además de conocer en todo momento donde se encuentran

y sus especificaciones. En dicha actividad, se requiere una gran cantidad de mano de obra.

El almacenamiento, se refiere a la retención física de los artículos, bienes o materiales mientras se espera sean demandados, mientras que la manera de almacenar depende del tamaño y cantidad de los bienes en el inventario y las características del manejo del producto (Frazelle, 2002).

La recolección de pedidos, es la actividad en donde la cantidad correcta, de los bienes correctos, son recuperados de un sistema de almacenamiento para satisfacer las órdenes de los clientes (Goetschalckx, 1989). Es el servicio básico que proporciona un almacén para los clientes y es la función en la que se basan principalmente la mayoría, para el diseño del mismo (Frazelle, 2002) y, representa alrededor del 50 % o más, de los costos totales de un centro de distribución (Frazelle, 2002; De Koster *et al.*, 2007).

El envío puede incluir las siguientes actividades: verificar la integridad de la orden, embalaje de la mercancía en los contenedores adecuados, preparación de los documentos de envío, acumulación de los pedidos por parte del operador y en algunos casos cargar los camiones (Frazelle, 2002).

2.2.1 RECOLECCIÓN DE PEDIDOS

El mercado del comercio electrónico representa una tendencia creciente en la forma de compra del consumidor (Frazelle, 2002) y al ser el proceso de recolección, el último paso antes de que el bien o material sea enviado al cliente (Reif y Günthner, 2009) se ha orillado a cambiar drásticamente la forma en que se realiza (Battini *et al.*, 2015b), es decir, se necesita responder más flexible y rápidamente, ofreciendo una entrega rápida, ajustada y tiempos de entrega más cortos (Frazelle, 2002). En otro orden de ideas, de acuerdo con Dallari *et al.* (2009) es una actividad que involucra un esfuerzo alto en lo que a mano de obra concierne, impactando tanto en costos

logísticos, así como en el nivel de servicio.

Por ello, al tener los errores gran influencia entre la relación del proveedor y cliente (Reif y Günthner, 2009) se realizan esfuerzos de investigación y desarrollo de soluciones totalmente automatizadas para mejorar la velocidad y exactitud de los sistemas de preparación de pedidos (De Koster *et al.*, 2007). Sin embargo, tal como se mencionó anteriormente, se necesita de flexibilidad debido a los cambios en los requerimientos de los pedidos, de esta manera Reif y Günthner (2009) mencionan que los humanos son, en la mayoría del tiempo la solución y por ello, se debe apoyar a los trabajadores mediante dispositivos que ayuden a realizar dicha tarea.

Un enfoque factible para aumentar la productividad de los sistemas de preparación de pedido, se centra en términos de reducir el tiempo necesario para cumplir la actividad y reducir los posibles errores (Battini *et al.*, 2015b). Para mejorar el proceso de selección de pedidos, las compañías requieren aplicar estrategias y técnicas que sean apropiadas para la naturaleza del producto, el tamaño y la cantidad promedio de órdenes (Wasusri y Theerawongsathon, 2016).

Dicho lo anterior es importante mencionar que, citando a Errasti *et al.* (2010), si una empresa quiere disponer de una recolección de pedidos competitiva deberá coordinar tanto los elementos físicos, la organización y las nuevas tecnologías para así, alcanzar un nivel alto de uso de instalaciones, productividad del personal y así, entregar los pedidos en los términos pactados y sin errores.

2.2.2 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE PEDIDOS

Existen una variedad de políticas de recolección de pedidos dentro de los almacenes y Dallari *et al.* (2009) proponen una nueva clasificación de cinco grupos que se basa en la política operativa que se emplea (ver Figura 2.1).

- Sistema operativo a producto.

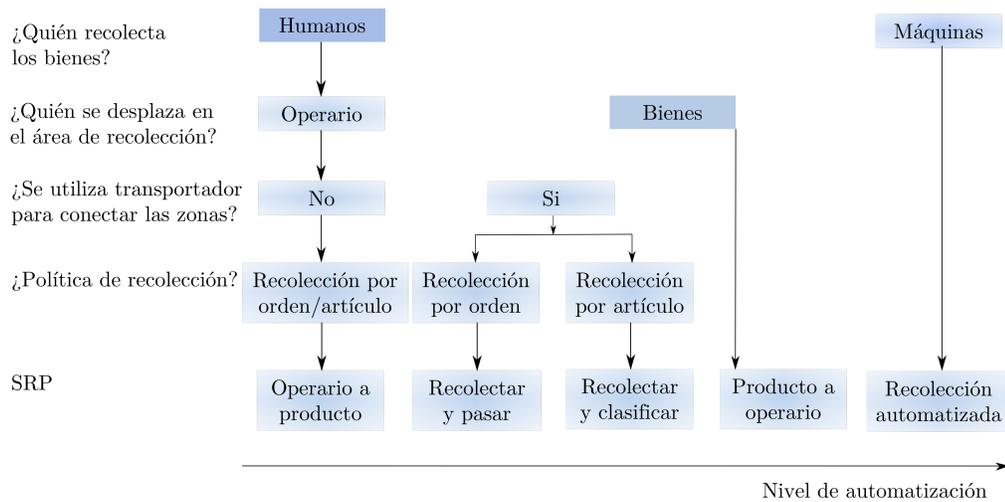


Figura 2.1: Sistemas de recolección de pedidos.

Fuente: Elaborado a partir de Dallari *et al.* (2009).

- Sistema recolectar y pasar.
- Sistema recolectar y clasificar.
- Sistema producto a operario.
- Sistema de recolección totalmente automatizada.

Dichas políticas de operación se clasifican en función a cuatro decisiones fundamentales; ¿quién recoge los bienes? ya sea humanos o máquinas, ¿quién se mueve en el área de recolección?, ya sea operarios o mercancías, la interrogante de si se usan transportadores que conecten las zonas de recolección y, por último, ¿qué política se utiliza? ya sea recoger por pedido o por artículo.

El sistema operario a producto es el sistema de recolección mayormente utilizado en los almacenes, es considerado el sistema básico para dicha actividad y consiste principalmente en que el recolector debe caminar o dirigirse hasta el pasillo indicado para recoger los artículos o materiales ya sea de un pedido en específico o lote múltiple (Caron *et al.*, 2000).

Actualmente existen diferentes tipos de tecnologías que apoyan al proceso de recolección, y que, generalmente son utilizados en el sistema de recolección de pedidos: operario a producto. *Pick by light*, *Pick by voice* y *RFID* son algunos de ellos (Marchet *et al.*, 2015).

2.2.3 TECNOLOGÍAS PARA LA RECOLECCIÓN DE PEDIDOS

De acuerdo con Freitag (2018) las tecnologías que apoyan la selección de pedidos tienen el objetivo de maximizar la productividad de selección, mejorar la precisión y reducir costos operativos.

Pick list. Proporciona al recolector a través de una hoja de papel la información correspondiente al pedido en cuestión: ubicación de los bienes, cantidad requerida y secuencia (Hill, 2012). De acuerdo con Minis (2010) la principal ventaja de esta herramienta es el bajo costo de inversión.

Pick by voice. La tecnología se compone de auriculares y micrófono que se encuentran enlazados con el sistema de gestión de almacén. A través del auricular el operario escucha las instrucciones y éste, debe confirmar mediante comandos, si los bienes se recolectaron en el lugar y cantidad correcta. Esta tecnología aumenta la productividad y ofrece mantener niveles altos de precisión (Rushton *et al.*, 2014).

Pick by light. En este sistema cada ubicación de producto es equipado con un panel de visualización *LED* que a su vez, es retroalimentado por el sistema de gestión de almacén. Se iluminan los paneles *LED* para indicar la ubicación y la cantidad a recoger. La desventaja de esta tecnología es que requiere una gran inversión inicial (Rushton *et al.*, 2014).

Pick by vision. El operario utiliza lentes inteligentes y que a su vez se complementa con un sistema de voz. El operario por medio de voz pide que se le indique la ubicación del siguiente pedido. Los lentes le indican el lugar correcto de ubicación

y el sistema verifica que el producto seleccionado sea el requerido. Por último, una vez seleccionado el bien, el sistema actualiza los niveles de inventario (bas).

2.3 REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Las revisiones sistemáticas de la literatura (RSL) -como se le mencionará de ahora en adelante- buscan ser rigurosas, informativas, exhaustivas y explícitas, ya que se determinan criterios para la inclusión de los artículos o estudios, se dirigen a contestar preguntas debidamente formuladas y delimitadas, recopilan la mayor información pertinente y por último, explican con detalle cada método utilizado para la revisión. Por lo tanto, las RSL son investigaciones científicas con métodos prefigurados que buscan sintetizar los resultados de estudios originales (Gisbert y Bonfill, 2004).

En la Tabla 2.1, observamos las principales diferencias entre las revisiones sistemáticas y las narrativas. Por ejemplo, las revisiones narrativas, no especifican la estrategia de búsqueda, mientras que, las RSL buscan minimizar el sesgo mediante la búsqueda bibliográfica exhaustiva de estudios al adoptar un proceso reproducible, científico y transparente (Cook *et al.*, 1997).

Tabla 2.1: Diferencias entre revisión sistemática y revisión narrativa

Características	Narrativa	Sistemática
Focalizada	Tema	Pregunta
Estrategia de búsqueda	No especificado	Claramente especificado
Criterios de selección	No especificado	Especificado y aplicado
Análisis de información	Variable	Riguroso y crítico
Síntesis	Cualitativa	Cualitativa y cuantitativa

Fuente: Beltrán (2005).

Para conducir una revisión sistemática de la literatura Denyer y Tranfield (2009) proponen cuatro etapas:

Etapa 1. Formulación de la pregunta: Al proponer la interrogante de manera clara y concisa se logra mejorar el resultado de las siguientes etapas, y de esta manera, se obtiene un estudio significativo y de calidad (Counsell, 1997).

Etapa 2. Localización de los estudios: La finalidad de la etapa dos radica en encontrar, seleccionar y evaluar los estudios relevantes que contesten la pregunta(s) planteada(s) (González *et al.*, 2011).

Etapa 3. Selección y evaluación de los estudios: Las investigaciones que se consideran relevantes en el paso anterior, deben ser examinados exhaustivamente para determinar si cumplen con los criterios de inclusión (Gisbert y Bonfill, 2004).

Etapa 4. Síntesis y análisis: Una vez seleccionados los artículos o estudios incluidos en la revisión, se deberá extraer la información que conteste las preguntas de investigación (González *et al.*, 2011).

2.4 PROCESO DE JERARQUÍA ANALÍTICA

El análisis de decisión multicriterio (MCDA) -*Multi-Criteria Decision Analysis* por sus siglas en inglés- es una metodología formal, que busca respaldar decisiones en muchos campos mediante información técnica y la postura de las partes interesadas (Huang *et al.*, 2011). Apesar de que no se tiene conocimiento del comienzo del estudio formal de la toma de decisiones, es conocido que dicha práctica, es tan antigua como el hombre (Greco *et al.*, 2016).

En términos generales, existen diversos métodos de apoyo a la decisión, que se basan en técnicas numéricas que miden el impacto de las alternativas en los criterios seleccionados, sin embargo, es importante conocer las ventajas y desventajas que presentan a manera de elegir la mejor herramienta (Triantaphyllou, 2000).

Según Berumen y Llamazares Redondo (2007), los principales métodos de decisión multicriterio son:

- Ponderación lineal (SCORING).
- Utilidad multiatributo (MAUT).
- Relaciones de sobreclasificación.
- Proceso de jerarquía analítica (PJA).

El proceso de jerarquía analítica (PJA) -como se le indentificará de ahora en adelante- es uno de los métodos más aplicado en las investigaciones relacionadas con la toma de decisiones multicriterio, y se ha utilizado, en la resolución de incógnitas de diferentes áreas tales como; intereses humanos, políticos, económicos, sociales y ciencias de gestión (Çakır, 2009). Dicho método, fue desarrollado por Thomas L. Saaty en 1980 y se basa en convertir estimaciones subjetivas de importancia relativa, en un grupo de pesos totales, que se emplean para hacer la selección de la mejor alternativa (Yajure, 2015).

Jiménez (2002) declara que *«PJA es una técnica que permite la resolución de problemas multicriterio, multientorno y multiactores, incorporando en el modelo, los aspectos tangibles e intangibles, así como el subjetivismo y la incertidumbre inherente en el proceso de toma de decisiones»*.

Dentro de las ventajas del PJA se encuentran:

- Es una metodología estructurada.
- Tiene un sustento matemático.
- Permite realizar análisis de sensibilidad.
- Admite medir criterios cualitativos y cuantitativos.

El presente trabajo de investigación, toma el PJA por las ventajas ya antes mencionadas y se desarrolla de acuerdo con Osman (2013) en cuatro pasos:

1. Estructuración del problema de decisión en un modelo jerárquico.
2. Hacer comparaciones por pares y obtener la matriz de juicio.
3. Pesos locales y consistencia de las comparaciones.
4. Agregación de ponderaciones en varios niveles para obtener los pesos finales de las alternativas.

2.4.1 ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA DE DECISIÓN EN UN MODELO JERÁRQUICO

Para aplicar la herramienta, es necesario formar un modelo jerárquico que usualmente se compone de tres niveles; en la parte superior, se ubica el objetivo global del problema, seguido por los distintos atributos considerados importantes para la resolución de la decisión, además, es importante mencionar que pueden incluirse subcriterios. Para terminar, se localizan las diversas alternativas u opciones de selección que permiten lograr el objetivo general (Berumen y Llamazares Redondo, 2007). Ver Figura 2.2.

2.4.2 HACER COMPARACIONES POR PARES Y OBTENER LA MATRIZ DE JUICIO

En el paso dos, se requiere que los tomadores de decisión y/o grupo de interés, indiquen la preferencia de cada elemento de la estructura jerárquica (criterios, subcriterios y alternativas). Para lo anterior, se utiliza la escala de valoración de Saaty

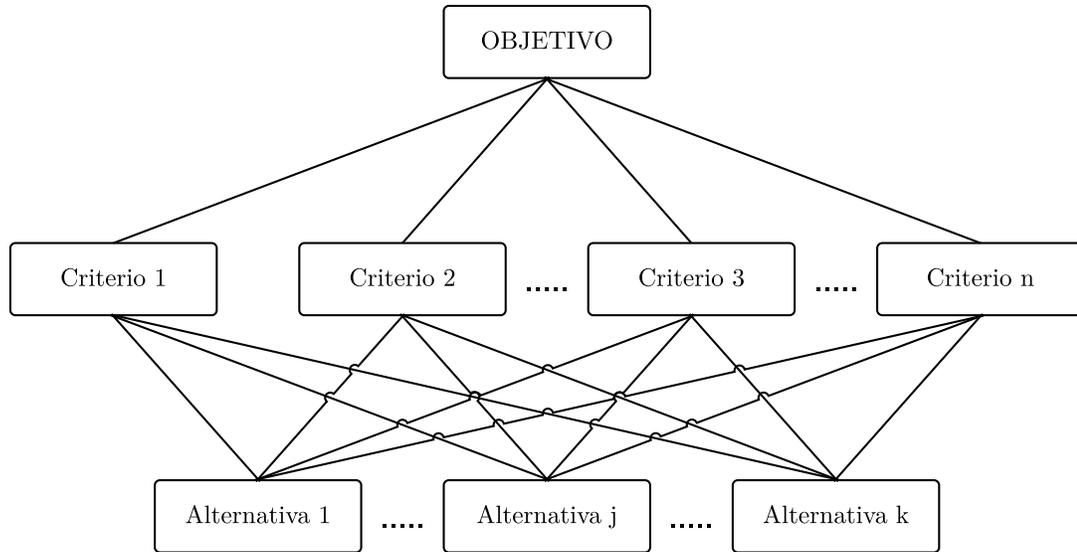


Figura 2.2: Estructura proceso analítico jerárquico.

Fuente: Elaborado a partir de Saaty *et al.* (1980).

(ver Tabla 2.2.), la cual, ha demostrado ser adecuada para determinar preferencias entre alternativas de acuerdo a varias investigaciones (Hurtado y Bruno, 2005).

La información de las comparaciones se pueden recopilar por medio de encuestas (Aznar Bellver y Guijarro Martínez, 2008) y, con el resultado de las comparaciones, se realiza la denominada matriz de comparaciones.

La matriz de comparaciones representa la comparación del elemento i y el elemento j (ver matriz \mathbf{A}).

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \vdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \vdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

No obstante, si la matriz \mathbf{A} es remplazada por el valor numérico obtenido en la escala de valoración de Saaty, se obtiene la matriz de juicios.

Tabla 2.2: Escala fundamental de juicios.

Escala de Saaty	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia.	El criterio A es igual de importante que el criterio B .
3	Moderadamente más importante un elemento que otro.	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B .
5	Fuertemente más importante un elemento que otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente al criterio A sobre el B .
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro.	El criterio A es mucho más importante que el B .
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro.	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda.

Fuente: Ayhan (2013).

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \vdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \vdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \vdots & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

Lo anterior se sustenta con los siguientes axiomas (Hurtado y Bruno, 2005):

Axioma 1 (reciprocidad). Si **A** es una matriz de comparaciones pareadas se cumple que $a_{ij} = 1/a_{ji}$, es decir, si frente a un criterio, una alternativa A es n veces mejor que B, entonces B es $1/n$ veces mejor que A.

Axioma 2 (homogeneidad). Los elementos que se comparan son del mismo orden

de magnitud o jerarquía.

Axioma 3 (síntesis). Existen dependencia jerárquica en los elementos de dos niveles consecutivos.

Axioma 4 (expectativas). Las expectativas deben estar representadas en la estructura en términos de criterios y alternativas.

2.4.3 PESOS LOCALES Y CONSISTENCIAS DE LAS COMPARACIONES

Posteriormente, se calcula las prioridades de cada criterio y alternativas, para ello, es necesario realizar un proceso matemático denominado *síntesis* y se realiza de la siguiente manera (Aznar Bellver y Guijarro Martínez, 2008):

1. Sumar los valores de cada columna de matriz de juicios.
2. Realizar la matriz normalizada que se obtiene dividiendo cada elemento de matriz por la sumatoria de su columna.
3. Calcular el promedio aritmético de los elementos en cada fila de la matriz normalizada.

Consecuentemente, se procede a evaluar la congruencia de los juicios, sin embargo, para señalar si un nivel de consistencia es razonable se debe desarrollar una medida cuantificable para la matriz de comparación $A_{n \times n}$ (n es el número de criterios o alternativas a evaluar). Es conocido que, si la matriz \mathbf{A} es perfectamente consistente produce una matriz $\mathbf{N}_{n \times n}$ normalizada de elementos w_{ij} (para $i, j = 1, 2, \dots, n$), de tal manera que, todas las columnas son iguales, es decir, $w_{12} = w_{13} = \dots = w_{1n} = w_1$; $w_{21} = w_{23} = \dots = w_{2n} = w_2$; $w_{n1} = w_{n2} = \dots = w_{nn} = w_n$

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} w_1 & w_1 & \cdots & w_1 \\ w_2 & w_2 & \cdots & w_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n & w_n & \cdots & w_n \end{pmatrix}$$

Por consiguiente, se concluye que de la matriz de comparaciones correspondiente \mathbf{A} se puede obtener la matriz \mathbf{N} , dividiendo los elementos de la columna i entre w_i .

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

De la definición de \mathbf{A} , se tiene que:

$$\begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \cdots \\ nw_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_n \end{pmatrix}$$

Dado lo anterior decimos que \mathbf{A} es consistente sí:

$$\mathbf{A}\mathbf{W} = n\mathbf{W} \tag{2.1}$$

donde \mathbf{W} es un vector columna de pesos relativos W_i , ($j = 1, 2, \dots, n$) se aproxima con el promedio de los n elementos del renglón en la matriz normalizada \mathbf{N} . Haciendo \overline{W} el estimado calculado, se muestra que:

$$A\overline{W} = n_{max}\overline{W}$$

La matriz de comparación \mathbf{A} será más consistente entre más cercana sea n_{max} a n .

El proceso de jerarquía analítica calcula la razón de consistencia (\mathbf{RC}) de la siguiente manera:

$$\mathbf{RC} = \frac{IC}{IA} \quad (2.2)$$

Siendo (\mathbf{IC}) el índice de consistencia, a su vez, (\mathbf{IA}) el índice de consistencia aleatorio.

\mathbf{IC} se calcula de la siguiente manera:

$$\mathbf{IC} = \frac{n_{max} - n}{n - 1} \quad (2.3)$$

El valor de n_{max} se calcula de $A\bar{W} = n_{max}\bar{W}$ observando que la i -ésima ecuación es:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}\bar{w}_j = n_{max}\bar{w}_i, i = 1, 2, \dots, n$$

Dado que $\sum_{j=1}^n \bar{w}_j = 1$, obtenemos:

$$\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n a_{ij}\bar{w}_j \right) = n_{max} \sum_{i=1}^n \bar{w}_i$$

Lo que significa que el valor de n_{max} se determina al calcular primero el vector columna \mathbf{A} y después sumando sus elementos.

Como se mencionó el \mathbf{IA} es el índice de consistencia aleatoria y se estima como:

$$\mathbf{IA} = \frac{1.98(n-2)}{n}$$

Debido a que el **IA** depende del número de comparaciones se puede estimar de la siguiente manera:

Tabla 2.3: Valores de IA para matrices de diferentes órdenes.

Número de elementos que se comparan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32	1.40	1.45	1.49

Fuente: Beltrán (2005).

RC \leq 0.10: Consistencia razonable

RC $>$ 0.10 : Inconsistencia

Es importante puntualizar, que si los índices de consistencias resultan inconsistentes, será necesario reconsiderar los juicios, y se deberá, recabar nuevamente los datos.

2.4.4 AGREGACIÓN DE PONDERACIONES EN VARIOS NIVELES PARA OBTENER LOS PESOS FINALES DE LAS ALTERNATIVAS

Se calcula las prioridades de cada criterio en términos de la meta global.

$$\begin{array}{l} \text{Criterio 1} \\ \text{Criterio 2} \\ \dots \\ \text{Criterio m} \end{array} \begin{pmatrix} P_{I_1} \\ P_{I_2} \\ \dots \\ P_{I_n} \end{pmatrix}$$

m es el número de criterios y P_{I_i} es la prioridad del criterio i con respecto a la meta global para $i = 1, 2, \dots, m$.

Para determinar los pesos finales de las alternativas se construye la matriz de prioridades que resume las prioridades para cada alternativa en términos de cada criterio.

$$\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nm} \end{pmatrix}$$

donde P_{ij} , es la prioridad de la alternativa i con respecto al criterio j , para $i = 1, 2, \dots, n$; y $j = 1, 2, \dots, m$.

Se refleja la prioridad global en el vector columna para cada alternativa y éste resulta del producto de la matriz de prioridades con el vector de prioridades de los criterios.

$$\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{t1} \\ P_{t2} \\ \cdots \\ P_{tn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ \cdots \\ P_{gn} \end{pmatrix}$$

donde P_{gi} es la propiedad global de la alternativa i donde ($i = 1, 2, \dots, n$).

2.4.5 APLICACIONES

El proceso de jerarquía analítica como ya se mencionó, es una herramienta de apoyo a la decisión extensamente conocida y utilizada (Govindan *et al.*, 2014). Algunos estudios son:

- Selección de sistemas de planificación de recursos. Perera y Costa (2008) a través de siete criterios y ocho subcriterios crean un modelo para determinar el

tipo de *ERP -Enterprise Resource Planning* por sus siglas en inglés- adecuado, para ello, proponen tres alternativas.

- Selección de proveedores. Bhutta y Huq (2002) consideran cuatro criterios: fabricación, calidad, servicio y tecnologías, por otro lado, las alternativas a elegir se conforman por tres proveedores.
- Selección de materiales. Dweiri y Al-Oqla (2006) proponen seis criterios y doce subcriterios tales como: costo, reacción ambiental, disponibilidad, dureza, apariencia y fuerza.

2.5 RED NEURONAL ARTIFICIAL

El hombre ha realizado esfuerzos para buscar mejorar las condiciones de vida y ello, ha propiciado el desarrollo de simplificaciones de tareas tediosas. Un ejemplo en particular, es el desarrollo de máquinas calculadoras que resuelven operaciones de manera rápida y automática. Sin embargo, existen limitaciones en cuanto a problemas que no admiten tratamientos algorítmicos, por lo anterior, el hombre intenta emular aspectos de la inteligencia humana mediante máquinas. Alguno de los motivos principales son la capacidad de memorizar, asociar hechos y adquirir conocimiento a través de la experiencia (Matich, 2001).

Por lo tanto, y de acuerdo con González-Fernández *et al.* (2018) «*Las redes neuronales artificiales son modelos computacionales basado en la estructura y funciones del sistema nervioso y el cerebro*» (ver Figura 2.2).

Las redes neuronales artificiales (RNA) -como se les denominará de ahora en adelante- se han aplicado para el modelado en muchos campos, desde el procesamiento de señales en telecomunicaciones hasta el reconocimiento de patrones en medicina, negocios e ingeniería (Razi y Athappilly, 2005). Las investigaciones sobre redes neuronales artificiales, han evidenciado entre sus principales ventajas, la capacidad de

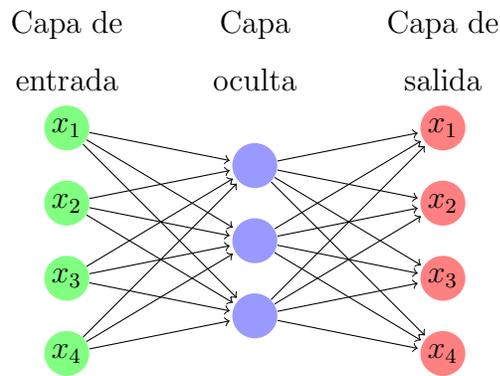


Figura 2.3: Estructura red neuronal artificial.

clasificar y reconocer patrones (Zhang *et al.*, 1998). Otras de las ventajas que presentan son; aprendizaje adaptativo, auto-organización, tolerancia a fallos, operación en tiempo real y fácil inserción dentro de la tecnología existente (Matich, 2001). Las redes neuronales, comprenden cuatro componentes principales (Buscema *et al.*, 2018):

- Nodos
- Capas
- Flujo de señal
- Estrategias de aprendizaje

2.5.1 NODOS

Existen tres tipos de nodos y son llamados de acuerdo a su posición en la estructura de la red neuronal (Buscema *et al.*, 2018):

Nodos de entrada: hacen referencia a los nodos que reciben señales del entorno externo.

Nodos de salida: hace mención a los nodos que actúan fuera del entorno de la red neuronal.

Nodos ocultos: refiere a los nodos que solo reciben señales de nodos pertenecientes a la red neuronal y solo envían su señal a otros nodos.

Cuando el entorno de la red neuronal consta de datos, debe procesar el nodo de entrada como un tipo de variable de datos, y por lo tanto, el número de estos dependen de la forma en que la red este estructurada de acuerdo al problema a representar. Por otro lado, el número de nodos de salida van en dependencia de las variables buscadas o de los resultados del procesamiento interno de la red. Finalmente, los nodos ocultos son consecuentes a la complejidad de la función de los nodos de entrada y de salida. Cada tipo de nodo puede agruparse por clases, y estas a su vez, son denominadas capas (Buscema *et al.*, 2018).

2.5.2 CAPAS

Existen distintos tipos de capas pero los que se destacan son (Buscema *et al.*, 2018):

Mono capa: todos los nodos de la red neuronal tienen las mismas propiedades. Son utilizadas generalmente en tareas de autoasociación.

Multi capas: los nodos se agrupan de acuerdo a sus características funcionales.

2.5.3 FLUJOS DE SEÑAL

Las señales pueden proceder directamente desde la entrada hasta la salida o, de una manera más compleja. De esta manera, se tienen dos tipos de estrategias de flujo (Buscema *et al.*, 2018):

Alimentar hacia adelante: como su nombre lo indica, la señal pasa desde la entrada hasta la salida de la red neuronal. Es decir, se reciben las señales desde otra capa anterior.

Retroalimentación: la señal procede de manera recurrente determinada de antemano o en función de condiciones particulares.

2.5.4 ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE

Como se mencionó anteriormente, los datos de entrada se procesan para lograr una salida. Por lo que, una red debe aprender a calcular la salida correcta para cada vector de entrada, el proceso de aprendizaje también se denomina proceso de entrenamiento. Dicho de otra manera, el aprendizaje es el proceso en donde la red neuronal, modifica los pesos en respuesta de la información recibida. Existen dos tipos de estrategias de aprendizaje (Matich, 2001):

- Aprendizaje supervisado
- Aprendizaje no supervisado

El aprendizaje supervisado por su parte, es controlado a través de un agente externo quién determina el resultado que debería producirse a partir de una entrada en específico. En caso de no coincidir, se modificarán los pesos de las conexiones, con la finalidad de acercarse a la salida deseada (Matich, 2001).

El aprendizaje no supervisado no requiere ser controlado por un agente externo para ajustar los pesos de las conexiones entre sus neuronas. Por lo que, la red no recibe información acerca de si la salida que genera es correcta. Este tipo de aprendizaje, debe determinar las características, regularidades, correlaciones o categorías que se establezcan entre la información presentada (Matich, 2001).

Sin embargo, entre los varios modelos de aprendizaje supervisado, el más conocido es la propagación hacia atrás (*backpropagation*) (Yazgan *et al.*, 2009). La propagación hacia atrás (*backpropagation*), determina los pesos para las conexiones entre nodos y sus sesgos, asignándose primero a los valores iniciales y de esta manera,

el error entre los valores de salida determinados se propagan de nuevo a través de la red para actualizar los pesos y sesgos recurrentemente, hasta que cumple con el criterio de terminación, que en la mayoría de los casos, es cuando el error es menor a un valor especificado (Su y Hsieh, 1998). Una vez mencionado lo anterior, se selecciona el aprendizaje supervisado propagación hacia atrás por sus ventajas y por ser el más utilizado.

2.6 APLICACIONES

Taha y Rostam (2011) desarrollaron un sistema de apoyo a la decisión para seleccionar la herramienta adecuada en una célula de manufactura flexible debido a la necesidad de responder a las necesidades del mercado y la competencia. Para lo anterior, utilizan una red neuronal artificial para verificar los datos del proceso analítico jerárquico difuso y predecir la jerarquización de las alternativas. Como resultado obtienen que la unión de PJA difuso y RNA puede ser utilizado como una herramienta poderosa para seleccionar la máquina más conveniente para formar la estructura de una célula de manufactura flexible.

El proceso de desarrollo del sistema inteligente, consistió en obtener los datos requeridos a través de un cuestionario aplicado a los tomadores de decisión, después, con ayuda del programa desarrollado por ellos, el cuál hace mención al proceso jerárquico difuso, obtuvieron las ponderaciones de los criterios y la jerarquización de las posibles alternativas. Por último, los resultados obtenidos se utilizaron para diseñar, entrenar y simular el modelo de red neuronal artificial.

Para el desarrollo de la red neuronal artificial, siguieron una metodología de cuatro pasos que consiste en determinar el número de nodos de entrada y de salida, específicos para el problema en cuestión, después, diseñar el modelo mediante el algoritmo *feed-forward back propagation*, experimentando con el número de nodos ocultos, para esto, se utilizan los cuatro métodos propuestos por Kuo *et al.* (2002).

Consecuentemente, experimentan con los parámetros tales como, número de iteraciones, tasa de aprendizaje, factor momento y diferentes funciones de activación. El valor del error cuadrático medio es utilizado como criterio de detención. Por último, en el paso cuatro, realizan una prueba utilizando cuatro muestras para entrenamiento y una para prueba. Demostrando que el sistema desarrollado facilita el proceso de selección en términos de esfuerzo y ahorro de tiempo para los tomadores de decisión. Los resultados de la red neuronal, fueron comparados con los arrojados por el PJA difuso.

Por su parte, Yazgan *et al.* (2009) consideran que la selección de software ERP es un problema multiatributo y puntualizan que, se ha resuelto con la sintetización de la opinión de varios expertos, sin embargo, si alguna otra empresa necesita resolver el mismo problema, es necesario contar con la opinión de un nuevo grupo de decisión. Por ello, proponen que mediante los resultados del proceso analítico en red, que consisten en la poderización de los criterios de selección y los valores de priorización de los software se diseñe una red neuronal artificial que permita predecir el mejor software ERP para una nueva organización.

El diseño de la red neuronal en cuestión, consiste en una capa de entrada, una única capa oculta, y una capa de salida. En este caso, las ponderaciones de los 17 subfactores propuestos generados por el proceso analítico en red son utilizados como valores de entrada, mientras que, los valores de prioridad de las cuatro alternativas son utilizados como los valores de salida. Se utiliza el algoritmo backpropagation y se experimenta con diferente cantidad de nodos de salida basado en Kuo *et al.* (2002). Se utiliza la función sigmoïdal como función de activación y se utilizan cuatro diferentes modelos para encontrar la mejor estructura de red. Los resultados que obtuvieron muestran que la red entrenada es capaz de predecir los valores de prioridad de manera certera. De igual manera, consideran que no será necesario la construcción de un grupo amplio de decisión, ya que la red sintetiza los juicios de expertos y esto, además de presentar ahorros de tiempo y costo, reduce la dificultad de reducir la decisión de un grupo a una sola.

En conclusión, en el capítulo dos, se presentó el desarrollo de los estudios previos referentes al tema de estudio, además, se explicó de manera detallada, las herramientas que se utilizarán para el logro del objetivo planteado.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

El presente capítulo aborda la metodología para brindar solución al problema previamente planteado, comprende tres etapas y se utilizan los métodos: revisión sistemática de literatura, proceso de jerarquía analítica y red neuronal artificial (ver Figura 3.1).

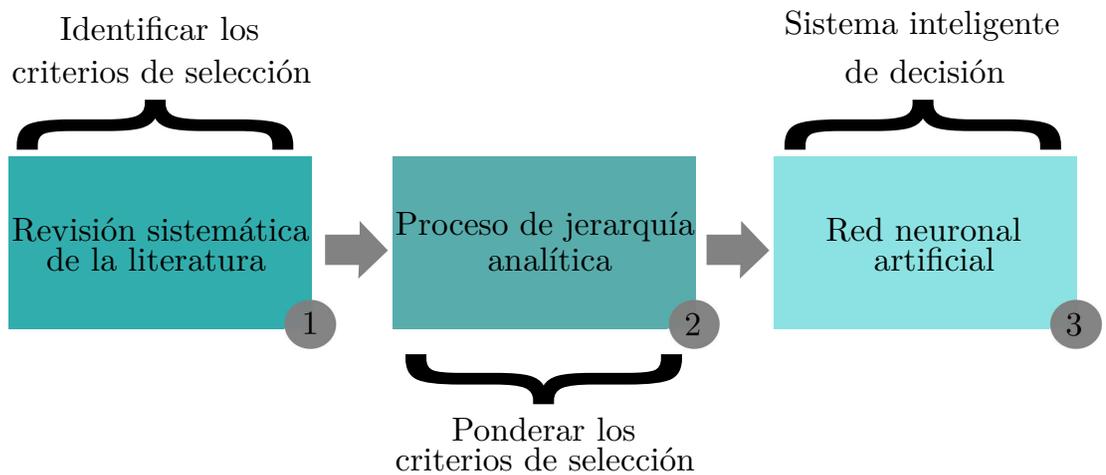


Figura 3.1: Metodología propuesta

La revisión sistemática de la literatura comprende la recopilación de la información referente al tema de investigación para determinar los criterios de selección de tecnologías de recolección de pedidos, por su parte, el proceso de jerarquía analítica tiene como objetivo determinar el porcentaje de importancia de los criterios al momento de seleccionar una tecnología y su vez, reconocer la alternativa más ade-

cuada para el entorno estudiado. Finalmente, mediante el uso de redes neuronales, automatizar la decisión. A continuación se presenta la realización de las herramientas mencionadas.

3.1 SELECCIÓN DE CRITERIOS

Una revisión sistemática de la literatura son investigaciones científicas, con métodos prefigurados que intentan sintetizar los resultados de los estudios originales (Gisbert y Bonfill, 2004). El propósito es investigar los temas y desafíos que se han analizado e identificar las brechas para encontrar investigaciones futuras (Abbasi, 2017).

Partiendo de la metodología propuesta por Denyer y Tranfield (2009) se realizaron los siguientes pasos:

- **Formulación de la pregunta.** Conforme a Davarzani y Norrman (2015) existe una brecha de información entre los aspectos que deben considerarse al seleccionar equipo o tecnología adecuadas para los almacenes; indicando que debe considerarse tanto el nivel de automatización, como los requisitos de las operaciones y los criterios de selección adecuados. Las siguientes preguntas de investigación, tienen como finalidad conocer los aspectos relevantes con respecto a tecnologías utilizadas en los centros de distribución.

PI1. ¿Qué objetivos principales se persiguen en la literatura sobre equipos técnicos o tecnológicos específicamente en los sistemas de preparación de pedidos?

PI2. Específicamente, ¿En qué aspectos se enfocan estos estudios?

- **Localizar estudios.** Con el fin de identificar publicaciones relevantes y un número confiable de artículos, se seleccionó la base de datos en línea de la Universidad Autónoma de Nuevo León y adicionalmente, Google académico. Esta

base de datos tiene acceso a varios motores de búsqueda, sin embargo, los motores consultados se especializan en áreas multidisciplinarias. Se consultaron las siguientes revistas: Springer, EBSCO Host, ScienceDirect, Emerald Insight y Association for computing machinery. Con base en las preguntas de investigación, se buscó que los artículos contengan al menos uno de los siguientes términos clave: «selección de pedidos», «centros de distribución», «lista de recolección», «recolección por voz», «recolección por luz», «recolección por visión» combinadas con los operadores booleanos «y», «o» y «xor». El idioma de las obras está limitado al inglés y español, mientras que la información recopilada para el análisis de esta investigación abarca el período 1995-2018.

- Selección y evaluación del estudio. Una vez que las bases de datos utilizadas en esta investigación arrojaron resultados, se procedió a analizar los resúmenes y conclusiones de los artículos. Cabe mencionar que los resúmenes irrelevantes para este estudio fueron excluidos, es decir, se enfocó en los artículos cuya perspectiva principal tratara acerca de las tecnologías de recolección. En la Figura 3.3, se observa el proceso de la revisión sistemática de la literatura. Como resultado, se consideraron 14 artículos que cumplen con los requerimientos para esta investigación.

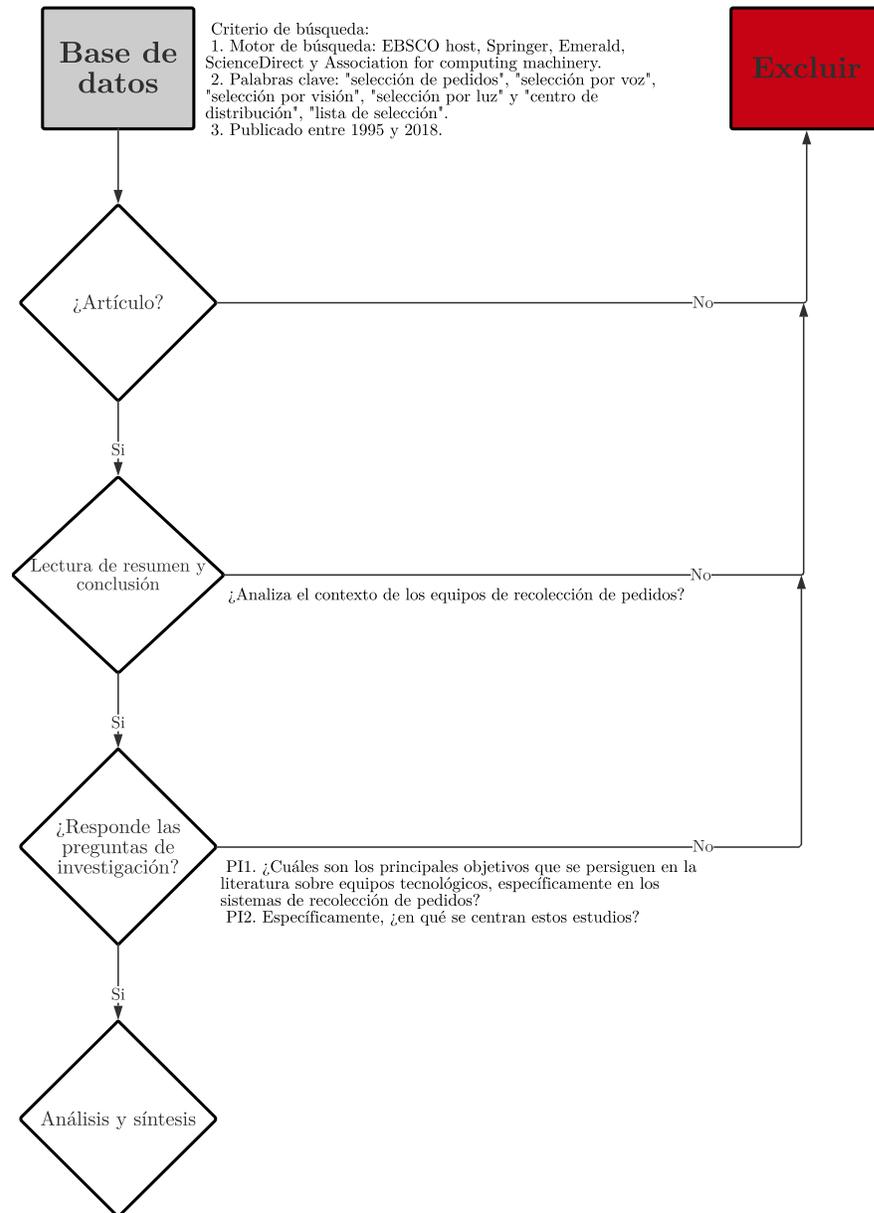


Figura 3.2: Revisión sistemática de la literatura.

- Síntesis y análisis. Se realizó una base de datos desarrollada en Excel, en el cual, se registraron los siguientes datos: nombre de los autores, año de publicación, título del artículo, nombre de la revista científica, tecnologías y criterios estudiados.

Los primeros siete criterios de selección fueron elegidos debido a la frecuencia

Tabla 3.1: Criterios considerados con respecto a tecnologías de recolección.

Criterios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
Precisión	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	14
Productividad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		13
Usabilidad	✓	✓				✓		✓	✓			✓		✓	7
Flexibilidad	✓	✓			✓			✓				✓		✓	6
Costo		✓			✓		✓	✓				✓			5
Funcionalidad					✓		✓	✓					✓	✓	5
Carga de trabajo mental	✓			✓						✓	✓				4
Comodidad		✓				✓		✓				✓			4
Motivación	✓			✓											2
Preferencia												✓			1
Confiabilidad					✓										1
Seguridad					✓										1

1. Reif y Günthner (2009), 2. Guo *et al.* (2014), 3. Schwerdtfeger *et al.* (2011), 4. Reif y Walch (2008), 5. Stoltz *et al.* (2017)
6. Weaver *et al.* (2010), 7. Battini *et al.* (2015b), 8. Baumann *et al.* (2011), 9. Wu *et al.* (2016)
10. Iben *et al.* (2009), 11. Wu *et al.* (2015), 12. Guo *et al.* (2015), 13. Berger y Ludwig (2007), 14. Andriolo *et al.* (2016)

encontrada y procurando mantener un número pequeño con el fin de permitir al usuario realizar de manera adecuada las comparaciones. Los criterios determinados se definen de siguiente forma:

1. Costo. Se refiere al precio total de adquisición de la tecnología. Los aspectos que se incluyen en la literatura acerca de este punto son:
 - a) Hardware
 - b) Software
2. Precisión. Hace mención al porcentaje de exactitud de los bienes seleccionados.
3. Productividad. Se describe como el número de líneas por hora que el operario recoge para su preparación.
4. Usabilidad. Se trata de la facilidad para que el operario adopte cierta tecnología. Se mide con respecto al tiempo de entrenamiento necesario. Cabe

mencionar que este criterio se optó por unirlo junto con *lernability* ya que son usados indistintamente.

5. Funcionalidad. Hace referencia a la utilidad práctica de las tecnologías con respecto a los diferentes contextos de recolección.
6. Flexibilidad. Este criterio indica la capacidad de adaptación de la tecnología en caso de que el almacén o centro de distribución sea reconfigurado.

3.2 PONDERACIÓN DE CRITERIOS Y JERARQUIZACIÓN ALTERNATIVAS

A continuación se desarrollan los cuatro pasos del PJA:

Paso 1. Estructurar el problema en un modelo jerárquico. Se organiza el árbol de jerarquía (ver Figura 3.3), donde se muestra en el primer nivel el objetivo del problema el cual es determinar la tecnología de recolección adecuada, siguiendo en el nivel dos en donde se agrupan los criterios en tres grupos homogéneos para cumplir con el axioma número dos del proceso de jerarquía analítica; costo, medidas de desempeño y características tecnológicas. En el nivel tres se observan los subcriterios obtenidos a través de la RSL. Dentro de costos se ubican los subcriterios hardware y software, mientras que en medidas de desempeño se ubican productividad y precisión, siguiendo con usabilidad, funcionalidad y flexibilidad pertenecientes a características tecnológicas. Por último, las alternativas: *pick list*, *pick by vision*, *pick by voice* y *pick by light*.

Paso 2. Hacer comparaciones por pares y obtener la matriz de juicios. Para recopilar la información requerida se realizó una encuesta, donde se efectuaron comparaciones por pares con respecto a los criterios, subcriterios y alternativas determinadas haciendo uso de la escala de Saaty (ver Tabla 2.2). De acuerdo con las

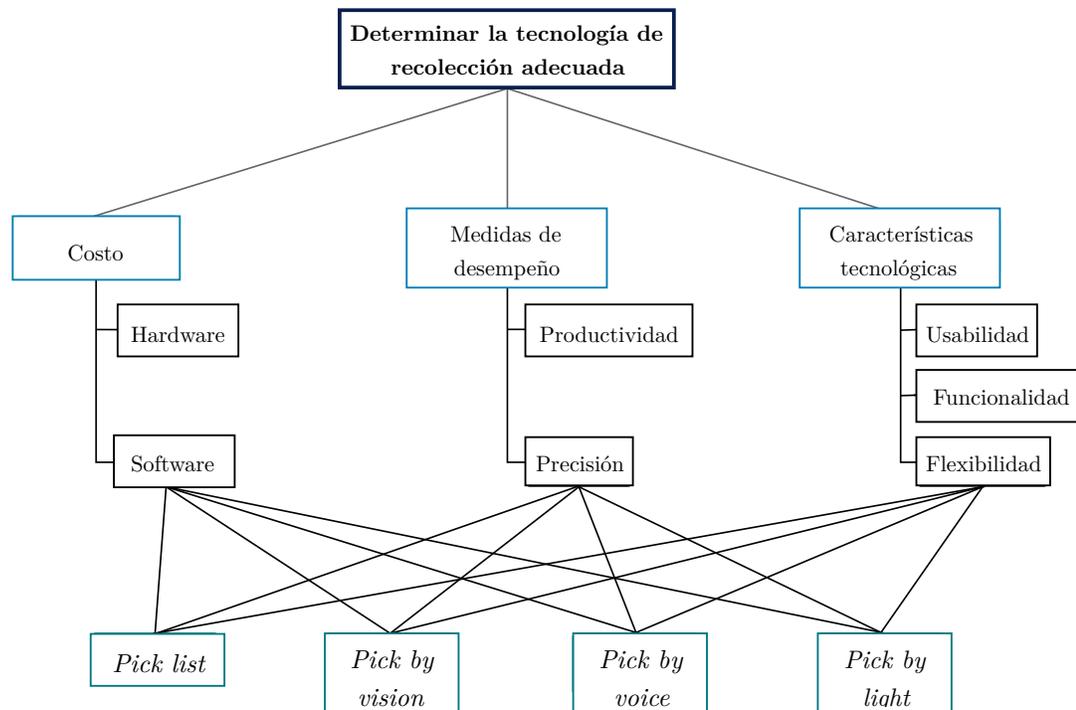


Figura 3.3: Modelo jerárquico del problema de investigación.

propuestas de Aznar Bellver y Guijarro Martínez (2008) se aseguró que la encuesta indicara claramente lo siguiente:

- Objetivo de la encuesta
- Justificación
- Metodología
- Encuesta propiamente realizada

La encuesta fue aplicada a personal que labora en diferentes centros de distribución o almacenes y, que se desempeñan en puestos medios o gerenciales. La finalidad fue conocer la importancia de un criterio frente a otro y de las alternativas con respecto a cada criterio, para de esta manera determinar la tecnología conveniente a cada contexto.

La encuesta se desarrolló por medio de la aplicación *Google form* y de esta manera, se hizo llegar a los encuestados, sin embargo, algunas fueron distribuidas de manera física. Los encuestados cumplieron con las siguientes características:

- Puesto gerenciales o medios en centros de distribución.
- 5 años de experiencia o más.

Del total de encuestas distribuidas se obtuvieron 13 encuestas propiamente contestadas. Posteriormente, se toman los valores obtenidos, y con ayuda de la aplicación Excel se realiza una matriz de juicios donde se ubican dichos resultados y a su vez, sus valores recíprocos (axioma reciprocidad). Ver Tabla 3.2.

Pasos 3. Pesos locales y consistencias de las comparaciones. Para obtener los pesos locales es necesario realizar la matriz normalizada, la cual consiste en dividir cada valor de la matriz de juicios entre la suma de la columna. Cada columna de la matriz normalizada debe sumar la unidad (ver Tabla 3.3). El vector promedio se obtiene por medio del promedio de las filas de la matriz normalizada, este vector define el porcentaje de importancia de cada criterio al momento de determinar la tecnología de recolección adecuada.

Posteriormente, para conocer la congruencia de los juicios emitidos por los encuestados se hace uso de la razón de consistencia (ver ecuación 2.2). Como se observa se necesita el IC y el IA, que se obtienen de la siguiente manera:

- Hallar IC. Obtener $nmax$ mediante la multiplicación de la suma de la matriz de juicios por el promedio de la fila de la matriz normalizada. Una vez obtenido $nmax$ se resta del tamaño de la matriz (n).
- Se toma el IA de la Tabla 2.3 con referencia al tamaño de la matriz.
- Por último, se divide IC sobre IA. El resultado para ser considerado consistente debe ser inferior a 0.1 (ver Tablas 3.4 y 3.6).

Lo anterior se realiza para comparar los tres criterios, los tres grupos de subcriterios y las alternativas con respecto a cada subcriterio, para lo anterior se presenta en el cuestionario aplicado la Tabla 3.14 para que el usuario observe la información relevante y con base en ella, realice sus comparaciones.

Paso 4. Agregación de ponderaciones en varios niveles para obtener los pesos finales de las alternativas. Al determinar las preferencias relativas de cada criterio, subcriterio, así como el peso final de las alternativas en cada uno de ellos, se multiplican las valoraciones con el objetivo de obtener la jerarquización de las ya mencionadas tecnologías (ver Tabla 3.18).

En breve se describen las abreviaciones correspondientes a cada criterio, subcriterio y alternativas. Lo anterior para el entendimiento de las tablas siguientes.

Criterios y subcriterios

C1 Costo

SC1 Hardware

SC2 Software

C2 Medidas de desempeño

SC3 Productividad

SC4 Precisión

C3 Características tecnológicas

SC5 Usabilidad

SC6 Funcionalidad

SC7 Flexibilidad

Alternativas

Tabla 3.2: Matriz de juicios de los criterios.

Criterios	C1	C2	C3
C1	1.00	5.00	3.00
C2	0.20	1.00	0.33
C3	0.33	3.00	1.00
Sumas	1.53	9.00	4.33

Tabla 3.3: Matriz normalizada de los criterios.

Criterios	C1	C2	C3	Vector promedio
C1	0.6522	0.5556	0.6923	0.6333
C2	0.1304	0.1111	0.0769	0.1062
C3	0.2174	0.3333	0.2308	0.2605
Sumas	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

A1 *Pick by list*

A2 *Pick by vision*

A3 *Pick by light*

A4 *Pick by voice*

Tabla 3.4: Razón de consistencia para los criterios.

nmax	n	IC	IA	RC
3.0554	3	0.0277	0.58	0.0477

Tabla 3.5: Matriz de juicios de subcriterios con respecto a costo.

Subcriterios	SC1	SC2
SC1	1.00	0.20
SC2	5.00	1.00
Sumas	6.00	1.20

Tabla 3.6: Matriz normalizada de los subcriterios con respecto a costo.

Subcriterios	SC1	SC2	Vector promedio
SC1	0.1667	0.1667	0.1667
SC2	0.8333	0.8333	0.8333
Sumas	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla 3.7: Razón de consistencia para los subcriterios con respecto a costo.

nmax	n	IC	IA	RC
2.0000	2	0.0000	0.01	0.0000

Tabla 3.8: Matriz de juicios de subcriterios con respecto a medidas de desempeño.

Subcriterios	SC3	SC4
SC3	1.00	0.20
SC4	5.00	1.00
Sumas	6.00	1.20

Tabla 3.9: Matriz normalizada de los subcriterios con respecto medidas de desempeño.

Subcriterios	SC3	SC4	Vector promedio
SC3	0.1667	0.1667	0.1667
SC4	0.8333	0.8333	0.8333
Sumas	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla 3.10: Razón de consistencia para los subcriterios con respecto a medidas de desempeño.

nmax	n	IC	IA	RC
2.0000	2	0.0000	0.01	0.0000

Tabla 3.11: Matriz de juicios de subcriterios con respecto a características tecnológicas.

Subcriterios	SC5	SC6	SC7
SC5	1.00	0.14	0.20
SC6	7.00	1.00	3.00
SC7	5.00	0.33	1.00
Sumas	13.00	1.48	4.20

Tabla 3.12: Matriz normalizada de los subcriterios con respecto a características tecnológicas.

Criterios	SC5	SC6	SC7	Vector promedio
SC5	0.0769	0.0968	0.0476	0.0738
SC6	0.5385	0.6774	0.7143	0.6434
SC7	0.3846	0.2258	0.2381	0.2828
Sumas	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla 3.13: Razón de consistencia para los subcriterios con respecto a características tecnológicas.

nmax	n	IC	IA	RC
3.0967	3	0.0484	0.58	0.0834

Tabla 3.14: Datos para la evaluación.

Crterios	<i>Pick list</i>	<i>Pick by vision</i>	<i>Pick by light</i>	<i>Pick by voice</i>
SC1	Bajo	\$3,500 por usuario	\$120 por ubicación	\$3,000 por usuario
SC2	Muy bajo	Alto	Intermedio	Intermedio
SC3	150 líneas por hora	540 líneas por hora	450 líneas por hora	250 líneas por hora
SC4	96.5 %	99.9 %	99.5-99.7 %	99.7-99.8 %
SC5	1 hora de entrenamiento	15 minutos de entrenamiento	30-45 minutos de entrenamiento	30 minutos de entrenamiento
SC6	Selección de caja completa. Selección de unidades. Selección de equipo para ensamblaje	Selección de unidades desde estantería dinámica de caja de alta velocidad. Selección de caja completa desde estantería dinámica de tarimas. Selección de componentes para equipo de ensamblaje.	Selección de unidades desde estantería dinámica de caja de alta velocidad. Torre de luz en carrusel. Selección por lotes desde carruseles. Selección de caja completa desde estantería dinámica de tarimas. Selección de componentes para equipo de ensamblaje.	Selección de caja completa. Selección de unidades. Selección de equipo para ensamblaje. Selección en almacenamiento en frío. Ambientes que requieren protección especial para la ropa.
SC7	Muy alta	Alta	Poca	Alta

Tabla 3.15: Matriz de juicios de alternativas con respecto a hardware.

Hardware	A1	A2	A3	A4
A1	1.00	2.00	0.14	0.33
A2	5.00	1.00	0.33	1.00
A3	7.00	3.00	1.00	3.00
A4	3.00	1.00	0.33	1.00
Sumas	16.00	5.20	1.81	5.33

Tabla 3.16: Matriz normalizada de alternativas con respecto a hardware.

Hardware	A1	A2	A3	A4	Vector promedio
A1	0.0625	0.0385	0.0789	0.0625	0.0606
A2	0.3125	0.1923	0.1842	0.1875	0.2191
A3	0.4375	0.5769	0.5526	0.5625	0.5324
A4	0.1875	0.1923	0.1842	0.1875	0.1879
Sumas	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla 3.17: Razón de consistencia para las alternativas con respecto a hardware.

nmax	<i>n</i>	IC	IA	RC
4.0745	4	0.02484	0.89	0.0279

Tabla 3.18: Resultados de la evaluación de las alternativas.

Tecnologías	Criterios							Calificación final
	Hardware	Software	Productividad	Precisión	Usabilidad	Funcionalidad	Flexibilidad	
	0.11	0.53	0.02	0.09	0.02	0.17	0.07	
<i>Pick list</i>	0.06	0.22	0.21	0.04	0.05	0.12	0.31	0.17
<i>Pick by vision</i>	0.22	0.19	0.09	0.56	0.56	0.07	0.08	0.20
<i>Pick by light</i>	0.53	0.06	0.62	0.27	0.20	0.59	0.52	0.27
<i>Pick by voice</i>	0.19	0.54	0.08	0.13	0.18	0.22	0.08	0.36

3.3 SISTEMA INTELIGENTE DE DECISIÓN

La experimentación fue desarrollada en una computadora Macbook Pro A1278 con procesador 2.5 GHz Intel Core i5, memoria RAM de 4Gb 1600 MHZ DDR3 y 499.9 GB de disco duro, mediante el software comercial Matlab versión 2018b con ayuda del paquete para redes neuronales.

Nodos de entrada

Los nodos de entrada, se ingresan como una matriz 7×13 . Las filas hacen referencia a los siete criterios de selección, mientras que el número de columnas, en este caso trece, indica las ponderaciones de cada criterio proveniente del desarrollo del PJA.

Nodos ocultos

Para determinar el número de neuronas en la capa oculta, se prueban los cuatro métodos propuestos por Kuo *et al.* (2002), donde se determinan: 3, 6, 10 y 14 nodos (ver Figura 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7).

Nodos de salida

Las nodos de salida se representan en una matriz 4×13 , donde las filas atañen el tipo de tecnología, por su parte, las columnas representan la priorización de cada experto

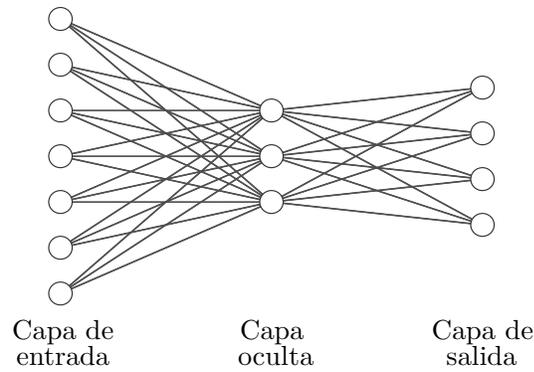


Figura 3.4: Estructura red neuronal artificial modelo 1.

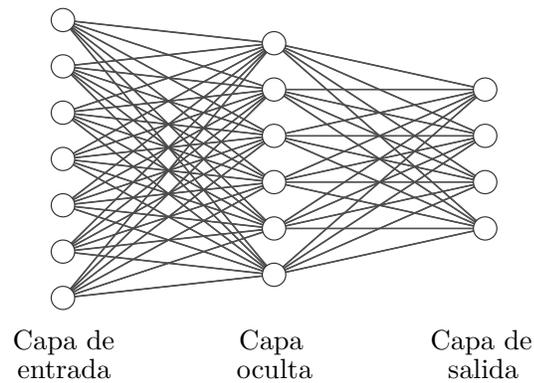


Figura 3.5: Estructura red neuronal modelo 2.

consultado.

Los datos anteriores, se utilizan para diseñar y entrenar el modelo de red neuronal propuesto. Los valores se separan en tres grupos: 60 % para entrenamiento, mientras que 20 % y 20 % para validación y prueba, respectivamente.

Función de entrenamiento

Usualmente una red neuronal de propagación hacia atrás (*backpropagation*) consta de tres o más capas; capa de entrada, oculta y de salida. En primer lugar, la red recibe el patrón de los datos de entrada y los pasa hacia la capa oculta; cada elemento de la capa oculta calcula un valor de activación, que se obtiene a través de la suma ponderada de los datos de entrada consecuentemente se transforma lo anterior de acuerdo a la función de transferencia. Cada elemento de la capa de salida se utiliza para calcular un valor de activación sumando las entradas ponderadas atribuidas

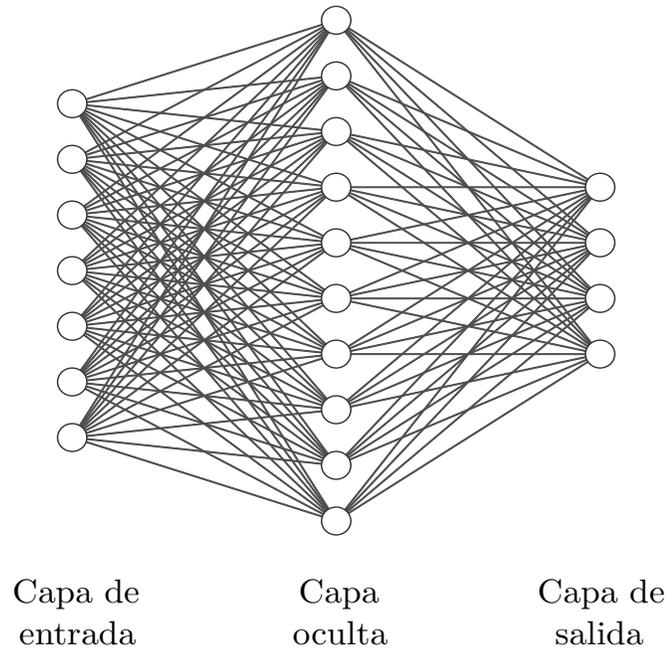


Figura 3.6: Estructura red neuronal artificial modelo 3.

a la capa oculta. Posteriormente, la salida real de la red se compara con el valor objetivo. En caso de surgir una diferencia, es decir, un término de error, el algoritmo de descenso de gradiente se utiliza para ajustar los pesos conectados. Si no surge ninguna diferencia, no se procede al aprendizaje (Su y Hsieh, 1998).

Función de activación

Si bien, Marín (2011) menciona que la función de activación va en dependencia del tipo de tarea impuesta, autores como Yazgan *et al.* (2009), Tang (2009) y Taha y Rostam (2011) realizaron experimentación con las funciones sigmoideas y, en las tres investigaciones, la función tangente hipérbolica demuestra mejores resultados. Por esto, se utilizan tanto la función logística - o bien, LOGSIG- (ver ecuación 3.1) como la tangente hiperbólica -referenciada como TANSIG- (ver ecuación 3.2).

$$\text{Logsig}(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (3.1)$$

$$\text{Tansig}(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1 \quad (3.2)$$

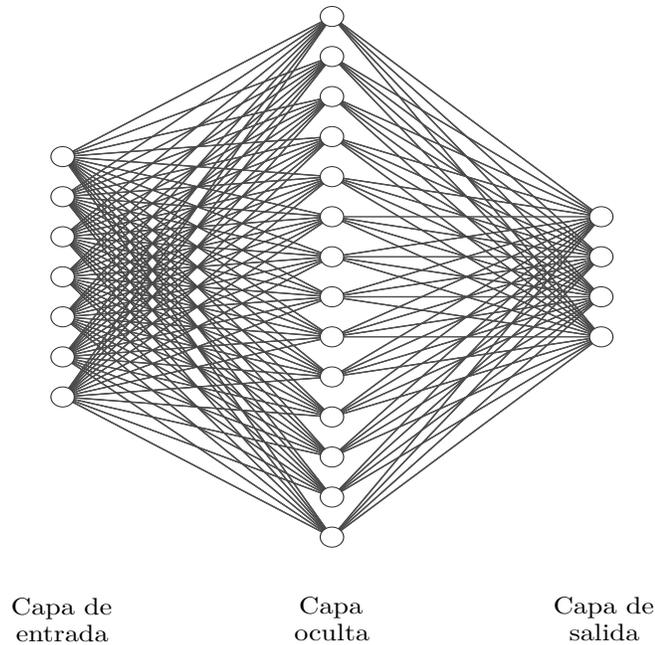


Figura 3.7: Estructura red neuronal artificial modelo 4.

Tasa de aprendizaje y factor momento

El valor de la tasa de aprendizaje suele estar comprendido entre los valores 0.05 y 0.5, ya que se debe recordar, que un valor demasiado pequeño puede desencadenar una disminución notable en la velocidad de convergencia, mientras que un valor demasiado grande puede ocasionar que se evite la convergencia (Marín, 2011). Para este caso específico se utiliza una tasa de aprendizaje de 0.07.

Por otro lado, hablando específicamente del factor momento, suele utilizarse un valor próximo a 1, sin embargo, Yazgan *et al.* (2009) emplea un valor de 0.5 y por ello, se selecciona el mismo, ya que dicho autor resuelve un problema similar.

Desempeño

Para medir el desempeño de los resultados obtenidos por la experimentación de las diferentes estructuras de la red neuronal artificial, se toma el criterio del error cuadrático medio (ECM):

$$ECM = \frac{1}{2} \sum_{i=1} (\bar{Y}_i - Y_i)^2$$

donde:

\bar{Y}_i = valor de predicción

Y_i = valor real

De acuerdo a Marín (2011), se utiliza normalmente el ECM cuando se trata de estimar una función.

3.4 SELECCIÓN RED NEURONAL ARTIFICIAL

Como se observa en la Tabla 3.19, el mejor desempeño se logró con la estructura del modelo cuatro de la red neuronal artificial, así como con la función de entrenamiento TRAINGCB y con la función de transferencia TANSIG.

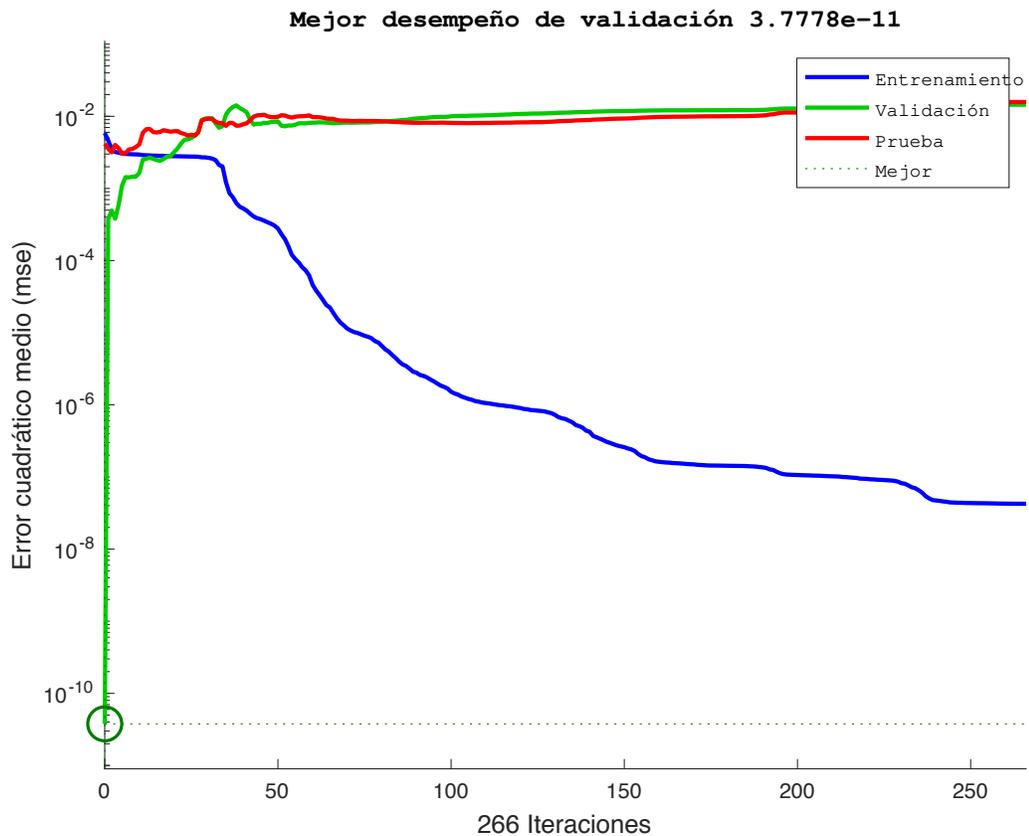


Figura 3.8: Mejor desempeño.

Tabla 3.19: Parámetros de la red neuronal artificial.

Nodos de entrada	Nodos ocultos	Nodos de salida	Función de entrenamiento	Función de activación	Tasa de aprendizaje	Factor momento	Iteraciones	Desempeño
7	3	4	TRAINGCB	LOGSIG	0.07	0.5	2000	0.017382
7	6	4	TRAINGCB	LOGSIG	0.07	0.5	603	0.011528
7	10	4	TRAINGCB	LOGSIG	0.07	0.5	735	1.01e-10
7	14	4	TRAINGCB	LOGSIG	0.07	0.5	141	5.97e-11
7	3	4	TRAINGCB	TANSIG	0.07	0.5	950	0.032486
7	6	4	TRAINGCB	TANSIG	0.07	0.5	656	0.020243
7	10	4	TRAINGCB	TANSIG	0.07	0.5	524	8.3907e-10
7	14	4	TRAINGCB	TANSIG	0.07	0.5	266	3.7778e-11
7	3	4	TRAINGDM	LOGSIG	0.07	0.5	3,021	0.013528
7	6	4	TRAINGDM	LOGSIG	0.07	0.5	6,232	0.030438
7	10	4	TRAINGDM	LOGSIG	0.07	0.5	10,000	0.017502
7	14	4	TRAINGDM	LOGSIG	0.07	0.5	10,000	0.0027
7	3	4	TRAINGDM	TANSIG	0.07	0.5	10,000	0.018572
7	6	4	TRAINGDM	TANSIG	0.07	0.5	10,000	0.018655
7	10	4	TRAINGDM	TANSIG	0.07	0.5	1,000	0.01623
7	14	4	TRAINGDM	TANSIG	0.07	0.5	5,268	0.0025615

En la Figura 3.8, se observa en el eje de las x el número de iteraciones y en el eje de las y el error cuadrático medio. El color azul representa el conjunto de entrenamiento, el color rojo el conjunto de prueba, mientras que el color verde el conjunto de validación.

El mejor desempeño representado por el ECM que se obtuvo fue $3.778e-11$, el cuál muestra, la exactitud y el poder del sistema propuesto. Por lo tanto, el sistema de apoyo a la decisión que combina el proceso de jerarquía analítica y redes neuronales artificiales puede utilizarse como una herramienta de apoyo para el tipo de incógnitas similares.

Modelo

- Número de nodos de entrada: 7.
- Número de nodos ocultos: 14.
- Número de nodos de salida: 4.
- Función de activación: Tangente hiperbólica.
- Función de entrenamiento: *Conjugate gradient backpropagation with Powell-Beale restarts.*
- Porcentaje de separación: 60 % entrenamiento, 20 % prueba y 20 % validación.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

El capítulo detalla los resultados obtenidos en la primer etapa de la metodología, así como la comparación de los resultados de los métodos PJA y RNA para validación del sistema propuesto, además, para observar la priorización de las tecnologías ante un nuevo escenario, se presenta un caso de estudio.

4.1 RSL

Los resultados obtenidos de la RSL muestran que los artículos que hacen referencia a las preguntas de investigación previamente planteadas se despliegan a partir del año 2007, observando que en el año 2015 se acrecenta el número de estos (ver Figura 4.1).

Referente a los motores de búsqueda, se visualiza que en su mayoría los artículos que conforman este estudio pertenecen a *Association for computing machinery* (ver Figura 4.2).

Por último, las tecnologías más mencionadas se presentan en la Figura 4.3, donde es importante mencionar que las tecnologías denominadas *pick by vision* y *head up display* hacen referencia al mismo tipo de tecnología, siendo estas las más mencionadas con un porcentaje de 32% de manera acumulada, siguiendo con *pick*

by list. Se observa que existen tecnologías que combinan dos tipos de estas.

Contestando las preguntas de investigación planteadas en el Capítulo 3 se tiene que:

P11. Los principales objetivos que se buscan en la literatura acerca de las tecnologías de recolección, son la comparación entre ellas, la evaluación de alguna en específico y la evaluación económica, con un 57 %, 36 % y 7 %, respectivamente.

P12. Mientras que en los aspectos principales en los que se concentran estos estudios se tienen: la precisión, la productividad, usabilidad, flexibilidad, costo, funcionalidad, carga de trabajo mental, comodidad, motivación, preferencia, confiabilidad y seguridad.

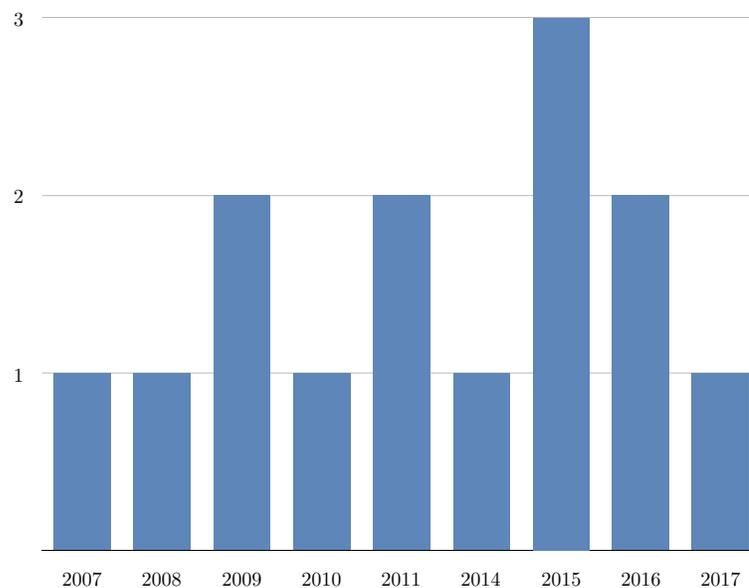


Figura 4.1: Distribución de artículos científicos.

4.1.1 EJEMPLO

A manera de ejemplificar el funcionamiento del sistema creado, se utiliza de manera aleatoria las ponderaciones del encuestado número cuatro (ver Tabla 4.1).

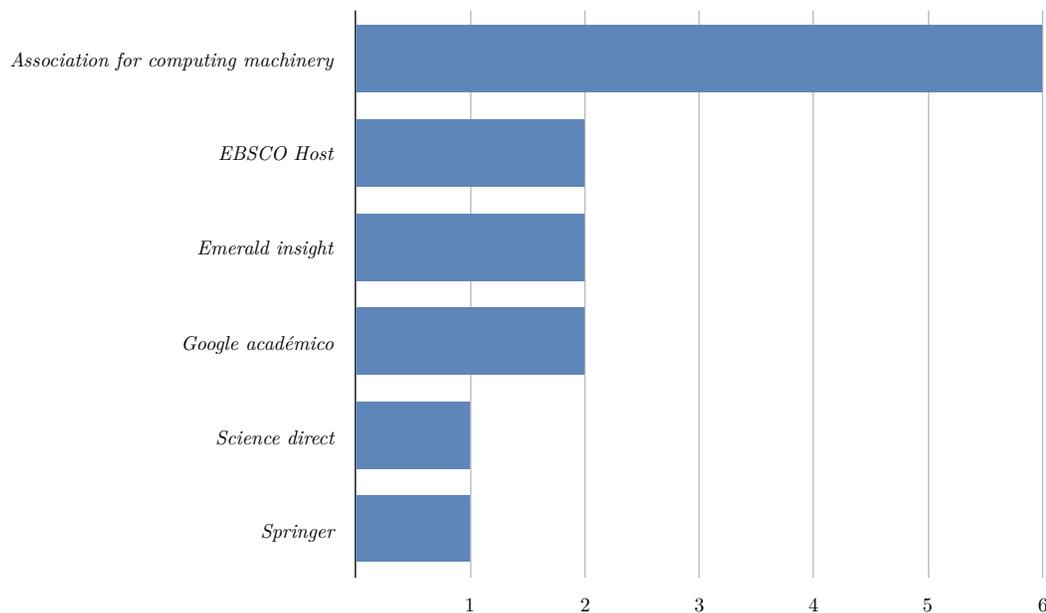


Figura 4.2: Motor de búsqueda artículos científicos.

Estos valores se ingresan como valores de entrada y posteriormente el sistema arrojará la prorización de las tecnologías.

La comparación de los resultados obtenidos tanto en el PJA y del modelo RNA se muestran en la Tabla 4.2, en donde se observa que la priorización de las alternativas son iguales para ambos métodos. En el PJA *pick by vision* tiene una ponderación de 0.5011, seguido por *pick by voice* con 0.2543, *pick by light* con 0.1834 y por último, *pick by list* con 0.0613, por otra parte, en el modelo RNA *pick by vision* se pondera con 0.50065, posteriormente *pick by voice* con 0.25465, *pick by light* con 0.18335 y finalmente, *pick by list* con 0.06167.

En la Figura 4.4, se observa que ambos métodos recomiendan en primer lugar *pick by vision*, seguido por *pick by voice*, *pick by light* y por último, *pick by list*.

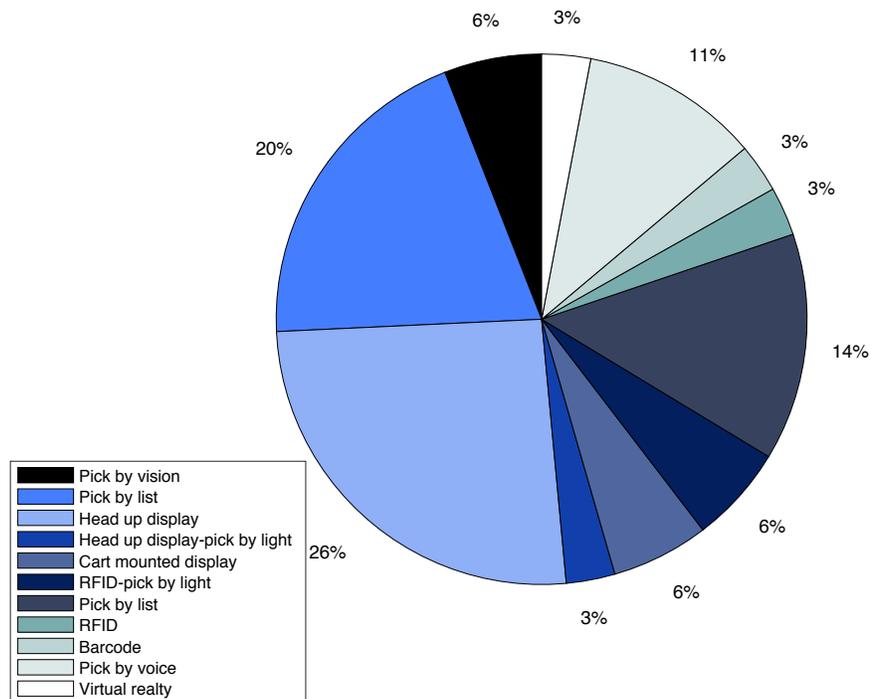


Figura 4.3: Porcentaje de artículos científicos por tecnologías.

4.2 CASO DE ESTUDIO

La empresa pertenece al sector comercial del país, la red logística se compone por 14 centros de distribución (Cedis) ubicados en diferentes puntos estratégicos de la República Mexicana. El Cedis de este caso de estudio, se encuentra ubicado en la región centro del estado de Nuevo León (ver Figura 4.5) y distribuye los bienes a diferentes nichos de mercado que se atienden por medio de diversos tipos de formatos, lo anterior con la finalidad de satisfacer las necesidades de consumo existentes en el mercado nacional. Un total de 212 tiendas de autoservicios ubicados a lo largo de los estados de Nuevo León, Chihuahua, Coahuila, Durango, Tamaulipas y Zacatecas son los clientes internos del Cedis en cuestión.

El Cedis actualmente cuenta con dos tipos de tecnologías de recolección que apoyan a distintas familias de productos, sin embargo, no atienden en totalidad la

Tabla 4.1: Valores de entrada para la RNA.

Criterios	Valores de entrada
Hardware	0.1610
Software	0.0322
Productividad	0.3618
Precisión	0.3618
Usabilidad	0.0088
Funcionalidad	0.0528
Flexibilidad	0.0217

Tabla 4.2: Comparación entre PJA y RNA.

Alternativas	PJA	RNA
<i>Pick list</i>	0.0613	0.06167
<i>Pick by vision</i>	0.5011	0.50065
<i>Pick by light</i>	0.1834	0.18335
<i>Pick by voice</i>	0.2543	0.25465

cantidad de los bienes. Es importante hacer mención que al ya contar con este tipo de tecnologías cuentan con un sistema de gestión de almacenes robusto que puede adaptarse a la integración de una nueva tecnología. Por otra parte, los operarios se encuentran familiarizados con el manejo de diversos hardware para realizar dicha tarea.

La productividad y precisión son factores importantes para este centro de distribución por la cantidad de clientes internos a los que deben de enviar producto, a su vez, por el nivel de impacto que un pedido incompleto o equivocado pudiera generar en términos de satisfacción del cliente o pérdidas económicas.

El producto se localiza en racks donde se almacenan los bienes en cajas que contienen códigos de barra que permite al operario conocer el contenido, los pedidos

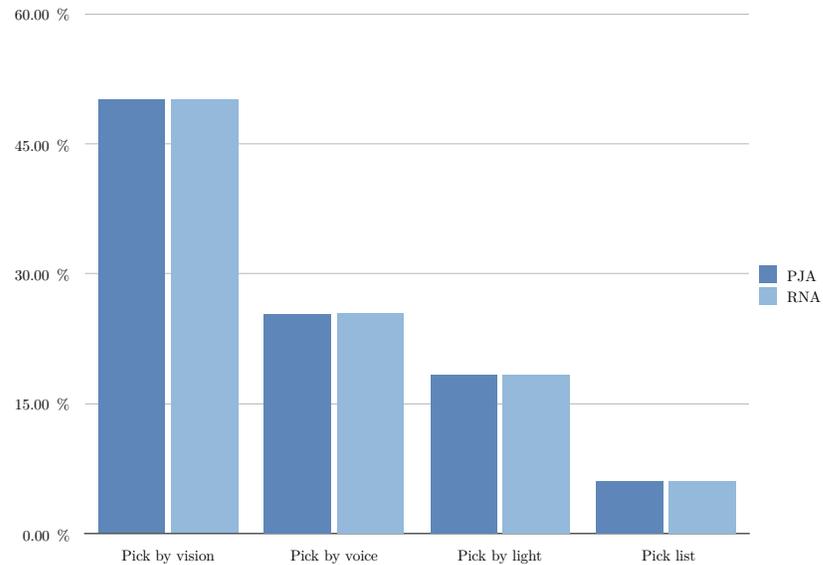


Figura 4.4: Comparación entre PJA y RNA.

se conforman de cajas completas o piezas determinadas. Si bien la flexibilidad es importante, la inversión que se ha realizado dificulta la reconfiguración del Cedis por lo que este último criterio, no implica gran interés a la empresa.

El tomador de decisión cuenta con más de 7 años de experiencia y funge como mando medio en el Cedis estudiado, a continuación en la Figura 4.6 se visualiza la ponderación de los criterios determinados en el árbol de jerarquía, siendo 63.33 % para costo, 26.05 % para medidas de desempeño y por último, características tecnológicas con un 10.62 %.

En la Figura 4.7, se observa las ponderaciones de los subcriterios pertenecientes a la categoría de costos, que se obtuvieron por medio de las comparaciones por pares, representando el costo de software lo más relevante para el tomador de decisión con un 87.5 %, mientras que el costo de hardware representa un 12.5 %.

Por otro lado, hablando de la categoría medidas de desempeño, se observa en la Figura 4.8 las ponderaciones de los subcriterios productividad y precisión, siendo estos 16.67 % y 83.33 %, respectivamente, lo que indica que al tomador de decisión le interesa más asegurarse que los bienes enviados a las diferentes tiendas



Figura 4.5: Ubicación Cedis.

de autoservicios sean los requeridos.

Por último, en la categoría de características tecnológicas, la importancia que tienen estos subcriterios indican que al decisor le interesa de mayor manera la característica de flexibilidad, siguiendo con usabilidad y por último, funcionalidad (ver Figura 4.9).

Una vez realizado lo anterior, se procede a agregar las diferentes ponderaciones en los diversos niveles, y así obtener los datos de entrada para la RNA (ver Tabla 4.3).

Como resultado, en el caso de estudio, la tecnología con ponderación más alta con 49.39 % y por ende, la recomendada es la denominada *pick by light*, observando que la ponderación es significativamente más alta que la que le precede, *pick by vision* con un 14.098 %. En tercer lugar se posiciona *pick by voice* y por último, *pick by list* (ver Tabla 4.10).

Para concluir, se hace notar que los resultados de la RSL muestran que existe interés acerca de evaluar diversas tecnologías de apoyo al proceso de recolección, no obstante, pocas metodologías estructuradas y replicables se encontraron para una

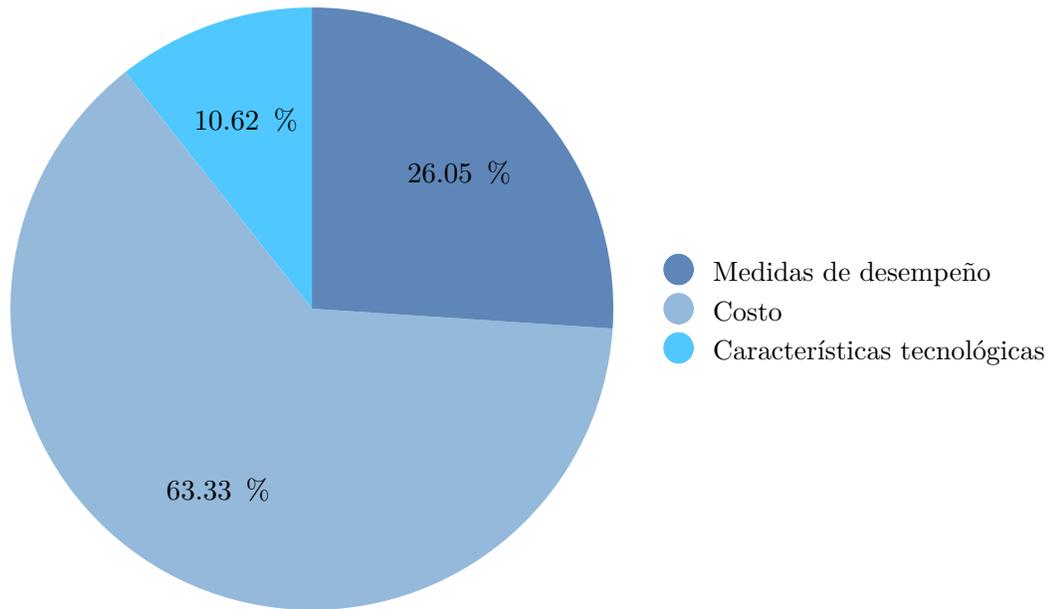


Figura 4.6: Ponderación criterios.

toma de decisión de tal magnitud. De tal forma que, la pertinencia de este estudio recae en brindar un sistema de apoyo a la decisión, que como se observó a lo largo de este Capítulo, confirma la precisión al combinar el PJA y RNA. Al brindar resultados confiables, el sistema puede ser utilizado para un nuevo proceso de decisión.

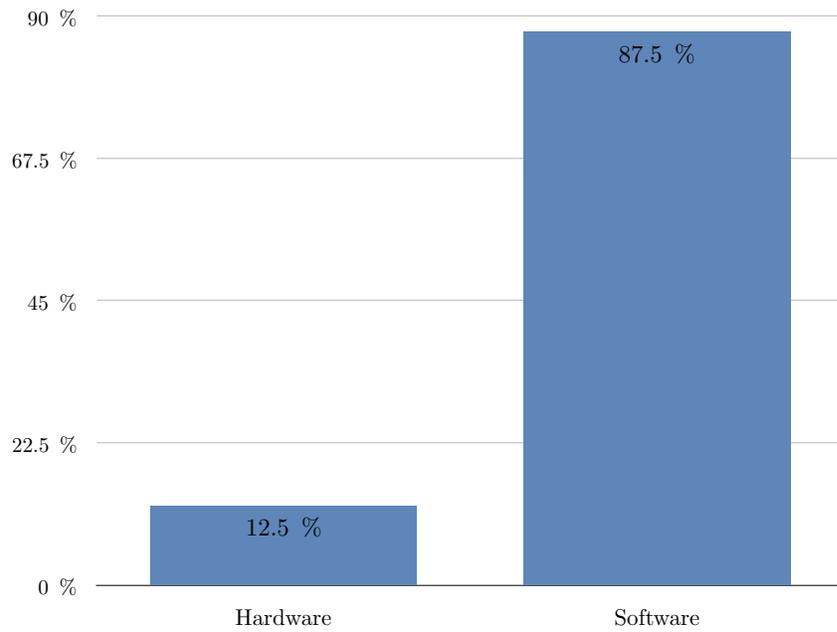


Figura 4.7: Ponderación subcriterios costo.

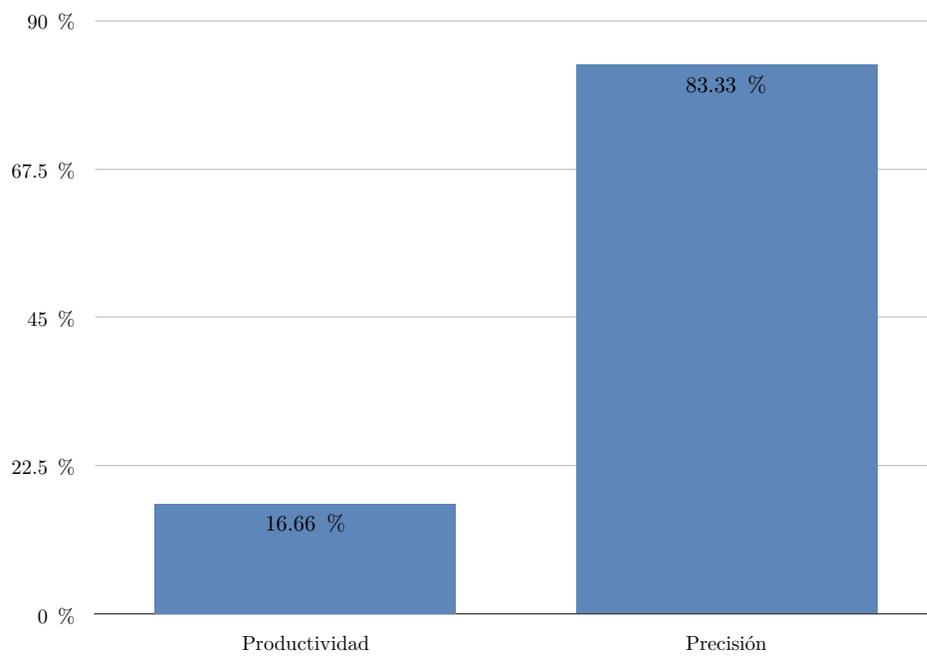


Figura 4.8: Ponderación subcriterios medidas de desempeño.

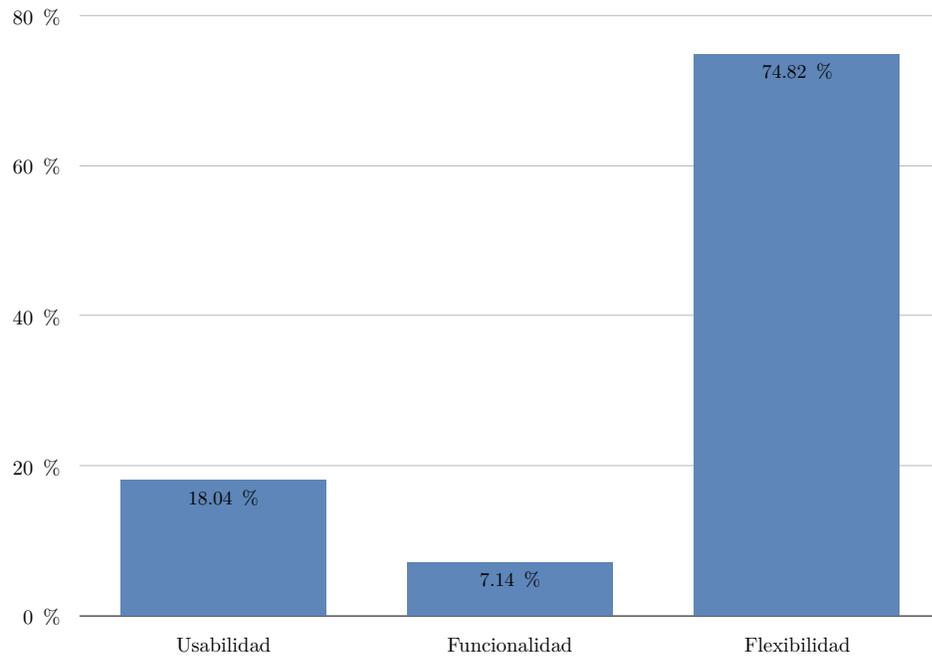


Figura 4.9: Ponderación subcriterios características tecnológicas.

Tabla 4.3: Valores de entrada caso de estudio.

Subcriterios	Valores de entrada
Hardware	0.0792
Software	0.5542
Productividad	0.0434
Precisión	0.2171
Usabilidad	0.0192
Funcionalidad	0.0076
Flexibilidad	0.0794

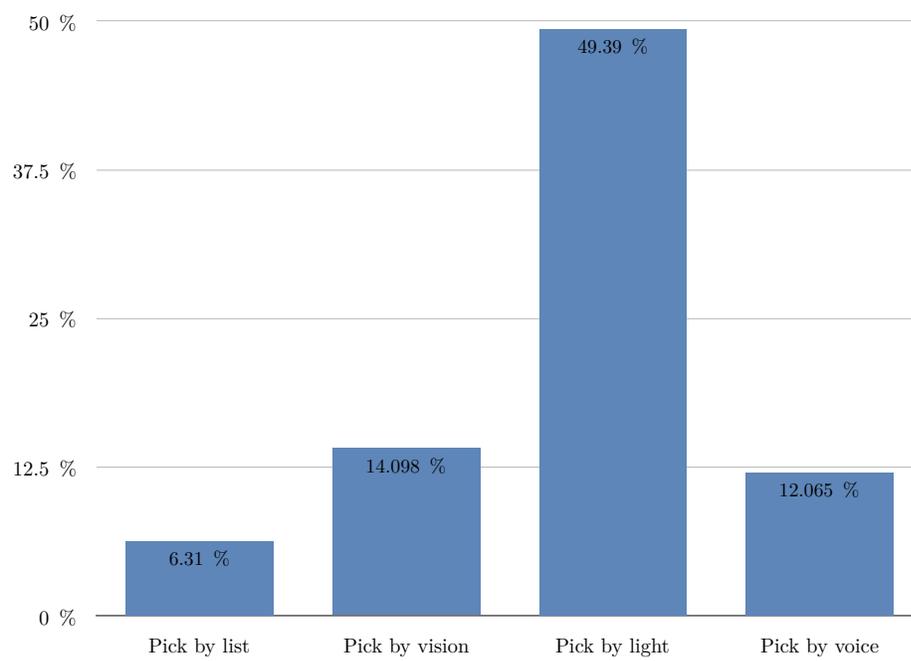


Figura 4.10: Priorización tecnologías.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

El capítulo que a continuación se presenta expone las resoluciones finales acerca del tema estudiado, así como el análisis de las aportaciones de este trabajo y la identificación de futuras líneas de investigación.

5.1 CONCLUSIONES GENERALES

Las tecnologías de recolección funcionan como apoyo para aumentar la productividad y calidad del proceso de selección de pedidos. Pese a que existen distintos tipos de estas, cada una presenta características, ventajas y desventajas. Por lo tanto, la evaluación de estas tecnologías para seleccionar la adecuada en un contexto específico, representa una decisión que de no realizarse de manera correcta, puede impactar de manera radical a la empresa.

Por ello, la búsqueda explícita de información pertinente, otorga mayor conocimiento del estado actual y de las brechas referentes a este tema. Dentro de los resultados de esta indagación se señala que existe un interés acerca de la evaluación de criterios con el fin de conocer cuál de ellas presenta mejores resultados, lo anterior, como se observó a lo largo de este estudio, debido a que un error en este proceso, repercute en la calidad y relación entre las entidades que conforman la

cadena de suministro. Sin embargo, existen pocos estudios que presenten una metodología estructurada para apoyar el proceso de decisión evaluando diversos criterios y contextos.

Identificando que este tipo de inquietudes refleja un problema de decisión multicriterio, se conoce que es preciso determinar acertadamente los criterios de decisión para poder evaluar el conjunto de tecnologías. La elección adecuada de los elementos que conforman los intereses y la integración del grupo de decisión, son partes fundamentales del proceso de resolución del problema.

En consecuencia, y haciendo mención a que usualmente la evaluación de los criterios frente al conjunto de alternativas es un proceso complejo y suele ser afectado por la subjetividad, inexcusablemente debe asignarse una solución científica para mejorar el proceso de evaluación. El proceso jerárquico analítico presenta un sustento matemático así como la admisión de criterios tanto cualitativos como cuantitativos.

Debido a lo anterior, debe recalcar que los métodos de toma de decisiones de criterios múltiples son herramientas fundamentales para asegurarse que las consideraciones realizadas por los expertos son realizadas de manera analítica y confiables.

Oz (2001) menciona que la toma de decisión en las empresas debe llevarse a cabo de forma oportuna, rápida, eficiente y con bajo costo. Por esto, la propuesta de facilitar el proceso de decisión a través de la inteligencia artificial es en sí, una decisión que favorece a las organizaciones.

La proposición final de el uso de redes neuronales, es que evidentemente son una herramienta que reduce en términos de tiempo y dificultad el problema abordado, ya que la admisión de la opinión de un solo tomador de decisión puede considerarse objetiva por la capacidad del sistema propuesto de aprender información que habilita sus respuestas como decisiones acertadas.

Finalmente, una vez desarrollado el presente estudio se acepta la hipótesis que define que mediante la exploración de patrones y con el apoyo de criterios cuantitati-

vos y cualitativos, es posible establecer un sistema de apoyo a la decisión que permita determinar la tecnología de recolección en un centro de distribución de acuerdo a sus requerimientos y necesidades.

5.2 CONTRIBUCIONES

Puntualmente, las aportaciones en el campo del conocimiento brindadas por esta investigación se resumen en dos principales: metodología estructurada como soporte para la toma de decisión con respecto a las tecnologías de recolección y sistema inteligente que sintetiza el juicio de personas expertas.

Hablando específicamente de la metodología estructurada, indicamos que esta se basa en una herramienta que incorpora criterios tanto cuantitativos como cualitativos y que hacen referencia a los criterios más mencionados en la literatura. De esta manera, dicha metodología será adaptable a diversas empresas ya que permite la evaluación en base a sus necesidades particulares. Es esencial recalcar que de esta manera se simplifica el proceso de decisión.

Por su parte, el sistema inteligente sintetiza los juicios de los expertos consultados, que a su vez, hacen alusión a diferentes empresas e industrias. Por lo que, si una organización se encuentra en la etapa de selección de tecnologías de recolección de pedidos puede hacer uso del sistema inteligente, siempre que se mantenga la estructura del árbol de jerarquía propuesto.

La reducción de la dificultad que el sistema presenta radica en que es posible establecer un equipo de tomadores de decisión basado en sus respuestas individuales y por ello, no será necesario reducir dichos resultados a un solo valor, o bien, si solo se cuenta con un tomador de decisión, la respuesta reflejará la experiencia del sistema inteligente.

En conjunto, la metodología estructurada y el sistema inteligente proponen

una herramienta que combina recursos intelectuales y que reduce en términos de tiempo, costo y dificultad el proceso de decisión. El sistema puede ser utilizado por empresas que se encuentren ante una incógnita similar siempre y cuando los criterios sean los mismos.

5.3 TRABAJO FUTURO

La importancia que representa la calidad de la recolección de pedidos ha sido motivo por el cual hoy en día existen una diversidad de tecnologías para su apoyo. Si bien, en esta investigación se abordan las principales, no debe obviarse que otras tecnologías pueden representar opciones viables para las empresas, y por ello, ampliar las alternativas del problema enriquecería la presente investigación.

Por otro lado, las opiniones de los expertos consultados representa un elemento clave en el sistema planteado, sin embargo, se propone ampliar la cantidad de expertos consultados para enriquecer la información y desarrollar una herramienta más robusta. De esta manera, se logra una mejor capacidad de generalización y por ende, aumenta la precisión de predicción en diversos contextos.

Como ya se mencionó, el diseño del sistema se realizó en el paquete de red neuronal que el software Matlab ofrece, y aunque se obtuvieron resultados favorables en su desempeño, existen otros algoritmos de entranamiento que pudieran ser abordados.

Por último, se propone crear una interfaz gráfica que sea interactiva con el usuario final, de esta manera, la utilización del sistema será amigable y podrá ser empleado por personas que no tengan conocimientos particulares del software.

APÉNDICE A

APÉNDICE

Como se menciona en el Capítulo 3, se realizaron 13 encuestas, sin embargo, en el capítulo mencionado solo se muestra uno a manera de ejemplo. A continuación, se muestran las ponderaciones de los criterios y subcriterios, así como la priorización de las alternativas por cada experto encuestado.

Tabla A.1: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 2.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.6333	Hardware	0.5000
		Software	0.5000
Medidas de desempeño	0.2605	Productividad	0.1250
		Precisión	0.8750
Características tecnológicas	0.1062	Usabilidad	0.1062
		Funcionalidad	0.6333
		Flexibilidad	0.2605

Tabla A.2: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 2.

Alternativas	Priorización
A1	0.59
A2	0.07
A3	0.16
A4	0.18

Tabla A.3: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 3.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.6000	Hardware	0.1667
		Software	0.8333
Medidas de desempeño	0.2000	Productividad	0.1250
		Precisión	0.8750
Características tecnológicas	0.2000	Usabilidad	0.2605
		Funcionalidad	0.6333
		Flexibilidad	0.1062

Tabla A.4: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 3.

Alternativas	Priorización
A1	0.40
A2	0.17
A3	0.21
A4	0.22

Tabla A.5: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 4.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.1429	Hardware	0.5000
		Software	0.5000
Medidas de desempeño	0.7143	Productividad	0.5000
		Precisión	0.5000
Características tecnológicas	0.1429	Usabilidad	0.2000
		Funcionalidad	0.6000
		Flexibilidad	0.2000

Tabla A.6: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 4.

Alternativas	Priorización
A1	0.46
A2	0.28
A3	0.11
A4	0.16

Tabla A.7: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 5.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.1932	Hardware	0.8333
		Software	0.1667
Medidas de desempeño	0.7235	Productividad	0.5000
		Precisión	0.5000
Características tecnológicas	0.0833	Usabilidad	0.1062
		Funcionalidad	0.6333
		Flexibilidad	0.2605

Tabla A.8: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 5.

Alternativas	Priorización
A1	0.06
A2	0.50
A3	0.18
A4	0.25

Tabla A.9: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 6.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.4866	Hardware	0.1667
		Software	0.8333
Medidas de desempeño	0.4353	Productividad	0.8333
		Precisión	0.1667
Características tecnológicas	0.0782	Usabilidad	0.1932
		Funcionalidad	0.7235
		Flexibilidad	0.0833

Tabla A.10: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 6.

Alternativas	Priorización
A1	0.07
A2	0.16
A3	0.32
A4	0.45

Tabla A.11: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 7.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.2605	Hardware	0.1667
		Software	0.8333
Medidas de desempeño	0.6333	Productividad	0.1667
		Precisión	0.8333
Características tecnológicas	0.1062	Usabilidad	0.0782
		Funcionalidad	0.4866
		Flexibilidad	0.4353

Tabla A.12: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 7.

Alternativas	Priorización
A1	0.16
A2	0.32
A3	0.20
A4	0.32

Tabla A.13: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 8.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.1804	Hardware	0.75
		Software	0.25
Medidas de desempeño	0.7482	Productividad	0.75
		Precisión	0.25
Características tecnológicas	0.0714	Usabilidad	0.0833
		Funcionalidad	0.7235
		Flexibilidad	0.1932

Tabla A.14: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 8.

Alternativas	Priorización
A1	0.13
A2	0.21
A3	0.22
A4	0.44

Tabla A.15: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 9.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.0882	Hardware	0.1667
		Software	0.8333
Medidas de desempeño	0.6687	Productividad	0.1250
		Precisión	0.8750
Características tecnológicas	0.2431	Usabilidad	0.0701
		Funcionalidad	0.5094
		Flexibilidad	0.4205

Tabla A.16: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 9.

Alternativas	Priorización
A1	0.08
A2	0.18
A3	0.21
A4	0.54

Tabla A.17: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 10.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.1578	Hardware	0.1667
		Software	0.8333
Medidas de desempeño	0.1867	Productividad	0.1250
		Precisión	0.8750
Características tecnológicas	0.6555	Usabilidad	0.0738
		Funcionalidad	0.6434
		Flexibilidad	0.2828

Tabla A.18: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 10.

Alternativas	Priorización
A1	0.17
A2	0.17
A3	0.25
A4	0.41

Tabla A.19: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 11.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.0738	Hardware	0.2500
		Software	0.7500
Medidas de desempeño	0.6434	Productividad	0.5000
		Precisión	0.5000
Características tecnológicas	0.2828	Usabilidad	0.1062
		Funcionalidad	0.2605
		Flexibilidad	0.6333

Tabla A.20: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 11.

Alternativas	Priorización
A1	0.09
A2	0.45
A3	0.20
A4	0.26

Tabla A.21: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 12.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.7482	Hardware	0.1667
		Software	0.8333
Medidas de desempeño	0.1804	Productividad	0.1667
		Precisión	0.8333
Características tecnológicas	0.0714	Usabilidad	0.6333
		Funcionalidad	0.2605
		Flexibilidad	0.1062

Tabla A.22: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 12.

Alternativas	Priorización
A1	0.08
A2	0.31
A3	0.49
A4	0.12

Tabla A.23: Pesos locales de criterios y subcriterios encuestado 13.

Criterios	Vector promedio	Subcriterios	Vector promedio
Costo	0.0738	Hardware	0.1667
		Software	0.8333
Medidas de desempeño	0.6434	Productividad	0.8333
		Precisión	0.1667
Características tecnológicas	0.2828	Usabilidad	0.0887
		Funcionalidad	0.6584
		Flexibilidad	0.2529

Tabla A.24: Resultados de la evaluación de las alternativas encuestado 13.

Alternativas	Priorización
A1	0.10
A2	0.41
A3	0.30
A4	0.19

BIBLIOGRAFÍA

(), URL <https://www.bastiansolutions.com/solutions/technology/supply-chain-software>

ANDRIOLO, A., D. BATTINI, M. CALZAVARA, M. GAMBERI, U. PERETTI, A. PERSONA, F. PILATI y F. SGARBOSSA (2016), «New RFID pick-to-light system: Operating characteristics and future potential», *International Journal of RF Technologies*, **7**(1), págs. 43–63.

ARRIETA POSADA, J. G. (2011), «Aspectos a considerar para una buena gestión en los almacenes de las empresas (Centros de Distribución, CEDIS)», *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, **16**(30), págs. 83–96.

AYHAN, M. B. (2013), «A fuzzy AHP approach for supplier selection problem: A case study in a Gear motor company», *arXiv preprint arXiv:1311.2886*.

AZNAR BELLVER, J. y F. GUIJARRO MARTÍNEZ (2008), «Nuevos métodos de valoración», *Modelos multicriterio. Universidad Politécnica de Valencia. España*.

BAECHLER, A., L. BAECHLER, S. AUTENRIETH, P. KURTZ, T. HOERZ, T. HEIDENREICH y G. KRUELL (2016), «A Comparative Study of an Assistance System for Manual Order Picking—Called Pick-by-Projection—with the Guiding Systems Pick-by-Paper, Pick-by-Light and Pick-by-Display», en *System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on*, IEEE, págs. 523–531.

BARTHOLDI, J. J. y S. T. HACKMAN (2008), *Warehouse & Distribution Science: Release 0.89*, Supply Chain and Logistics Institute.

- BATTINI, D., M. CALZAVARA y F. PERSONA, ALESSANDRO Y SGARBOSSA (2015a), «A comparative analysis of different paperless picking system», **115**(3), págs. 483–503.
- BATTINI, D., M. CALZAVARA y F. PERSONA, ALESSANDRO Y SGARBOSSA (2015b), «A comparative analysis of different paperless picking systems», *Industrial Management & Data Systems*, **115**(3), págs. 483–503.
- BAUMANN, H., T. STARNER, H. IBEN, A. LEWANDOWSKI y P. ZSCHALER (2011), «Evaluation of graphical user-interfaces for order picking using head-mounted displays», *Proceedings of the 13th international conference on multimodal interfaces - ICMI '11*, pág. 377.
- BELTRÁN, Ó. (2005), «Revisiones sistemáticas de la literatura», *Revista Colombiana de Gastroenterología*, **20**(1).
- BERGER, S. M. y T. D. LUDWIG (2007), «Reducing warehouse employee errors using voice-assisted technology that provided immediate feedback», *Journal of Organizational Behavior Management*, **27**(1), págs. 1–31.
- BERUMEN, S. A. y F. LLAMAZARES REDONDO (2007), «La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente», *Cuadernos de administración*, **20**(34).
- BHUTTA, K. S. y F. HUQ (2002), «Supplier selection problem: a comparison of the total cost of ownership and analytic hierarchy process approaches», *Supply Chain Management: an international journal*, **7**(3), págs. 126–135.
- BUSCEMA, P. M., G. MASSINI, M. BREDI, W. A. LODWICK, F. NEWMAN y M. ASADI-ZEYDABADI (2018), «Artificial neural networks», en *Artificial Adaptive Systems Using Auto Contractive Maps*, Springer, págs. 11–35.
- ÇAKIR, E. (2009), «Logistics outsourcing and selection of third party logistics service provider (3PL) via fuzzy AHP», .

- CARON, F., G. MARCHET y A. PEREGO (2000), «Optimal layout in low-level picker-to-part systems», *International Journal of Production Research*, **38**(1), págs. 101–117.
- CASTAÑEDA, J., M. DE LA TORRE, J. MORÁN y L. LARA (2002), «Metodología de la Investigación», *Mc. Graw Hill. México, DF*.
- CHEN, C.-T. (2001), «A fuzzy approach to select the location of the distribution center», *Fuzzy sets and systems*, **118**(1), págs. 65–73.
- CHOPRA, S. y P. MEINDL (2008), *Administración de la cadena de suministro*, Pearson educación.
- COOK, D. J., N. L. GREENGOLD, A. G. ELLRODT y S. R. WEINGARTEN (1997), «The relation between systematic reviews and practice guidelines», *Annals of internal medicine*, **127**(3), págs. 210–216.
- COUNSELL, C. (1997), «Formulating questions and locating primary studies for inclusion in systematic reviews», *Annals of internal medicine*, **127**(5), págs. 380–387.
- DALLARI, F., G. MARCHET y M. MELACINI (2009), «Design of order picking system», *The international journal of advanced manufacturing technology*, **42**(1-2), págs. 1–12.
- DAVARZANI, H. y A. NORRMAN (2015), «Toward a relevant agenda for warehousing research: literature review and practitioners' input», *Logistics Research*, **8**(1), pág. 1.
- DE KOSTER, R., T. LE-DUC y K. J. ROODBERGEN (2007), «Design and control of warehouse order picking: A literature review», *European journal of operational research*, **182**(2), págs. 481–501.
- DE VRIES, J., R. DE KOSTER y D. STAM (2016), «Exploring the role of picker personality in predicting picking performance with pick by voice, pick to light and

- RF-terminal picking», *International journal of production research*, **54**(8), págs. 2260–2274.
- DENYER, D. y D. TRANFIELD (2009), «Producing a systematic review.», .
- DWEIRI, F. y F. M. AL-OQLA (2006), «Material selection using analytical hierarchy process», *International journal of computer applications in technology*, **26**(4), págs. 182–189.
- ERRASTI, A., C. CHACKELSON y M. ARCELUS (2010), «Estado del arte y retos para la mejora de sistemas de preparación en almacenes-Estudio Delphi», *Dirección y Organización*, (40), págs. 78–85.
- FRAZELLE, E. (2002), *Supply chain strategy: the logistics of supply chain management*, McGraw Hill.
- FREITAG, M. (2018), «Wireless Pick-by-Light: Usability of LPWAN to Achieve a Flexible Warehouse Logistics Infrastructure», en *Dynamics in Logistics: Proceedings of the 6th International Conference LDIC 2018, Bremen, Germany*, Springer, pág. 273.
- GISBERT, J. P. y X. BONFILL (2004), «Cómo realizar, evaluar y utilizar revisiones sistemáticas y metaanálisis?», *Gastroenterología y hepatología*, **27**(3), págs. 129–149.
- GOETSCHALCKX, J., MARC Y ASHAYERI (1989), «Classification and design of order picking», *Logistics World*, **2**(2), págs. 99–106.
- GONZÁLEZ, I. F., G. URRÚTIA y P. ALONSO-COELLO (2011), «Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación», *Revista española de cardiología*, **64**(8), págs. 688–696.
- GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, I., M. IGLESIAS-OTERO, M. ESTEKI, O. MOLDES, J. MEJUTO y J. SIMAL-GANDARA (2018), «A critical review on the use of artificial neural networks in olive oil production, characterization and authentication», *Critical reviews in food science and nutrition*, págs. 1–14.

- GOVINDAN, K., M. KALIYAN, D. KANNAN y A. N. HAQ (2014), «Barriers analysis for green supply chain management implementation in Indian industries using analytic hierarchy process», *International Journal of Production Economics*, **147**, págs. 555–568.
- GRECO, S., J. FIGUEIRA y M. EHRGOTT (2016), *Multiple criteria decision analysis*, Springer.
- GROSSE, E. H., C. H. GLOCK, M. Y. JABER y W. P. NEUMANN (2015), «Incorporating human factors in order picking planning models: framework and research opportunities», *International Journal of Production Research*, **53**(3), págs. 695–717.
- GROSSE, E. H., C. H. GLOCK y W. P. NEUMANN (2017), «Human factors in order picking: a content analysis of the literature», *International Journal of Production Research*, **55**(5), págs. 1260–1276.
- GUO, A., S. RAGHU, X. XIE, S. ISMAIL, X. LUO, J. SIMONEAU, S. GILLILAND, H. BAUMANN, C. SOUTHERN y T. STARNER (2014), «A comparison of order picking assisted by head-up display (HUD), cart-mounted display (CMD), light, and paper pick list», en *Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers*, ACM, págs. 71–78.
- GUO, A., X. WU, Z. SHEN, T. STARNER, H. BAUMANN y S. GILLILAND (2015), «Order Picking with Head-Up Displays», *Computer*, **48**(6), págs. 16–24.
- HILL, A. V. (2012), *The encyclopedia of operations management: a field manual and glossary of operations management terms and concepts*, FT Press.
- HUANG, I. B., J. KEISLER y I. LINKOV (2011), «Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends», *Science of the total environment*, **409**(19), págs. 3578–3594.
- HURTADO, T. y G. BRUNO (2005), «El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores», *Trabajo*

- de grado (Licenciado en Investigación Operativa), Universidad Nacional de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. EAP de Investigación Operativa., Lima.*
- IBEN, H., H. BAUMANN, C. RUTHENBECK y T. KLUG (2009), «Visual based picking supported by context awareness», *Proceedings of the 2009 international conference on Multimodal interfaces - ICMI-MLMI '09*, pág. 281.
- JIMÉNEZ, J. M. M. (2002), «El proceso analítico jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones», *Caballero, R. y Fernández, GM Toma de decisiones con criterios múltiples. RECT@. Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA. Serie Monografías*, (1), págs. 21–53.
- KUO, R. J., S.-C. CHI y S.-S. KAO (2002), «A decision support system for selecting convenience store location through integration of fuzzy AHP and artificial neural network», *Computers in industry*, **47**(2), págs. 199–214.
- LAMBERT, D. M., M. C. COOPER y J. D. PUGH (1998), «Supply chain management: implementation issues and research opportunities», *The international journal of logistics management*, **9**(2), págs. 1–20.
- LOS SANTOS, I. S. (2006), *Logística y marketing para la distribución comercial*, Esic Editorial.
- MARCHET, G., M. MELACINI y S. PEROTTI (2015), «Investigating order picking system adoption: a case-study-based approach», *International Journal of Logistics Research and Applications*, **18**(1), págs. 82–98.
- MARÍN, J. (2011), «Introducción a las redes neuronales aplicadas», .
- MATICH, D. J. (2001), «Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones», *Universidad Tecnológica Nacional*.
- MENTZER, J. T., W. DEWITT, J. S. KEEBLER, S. MIN, N. W. NIX, C. D. SMITH y Z. G. ZACHARIA (2001), «Defining supply chain management», *Journal of Business logistics*, **22**(2), págs. 1–25.

- MIN, H. y G. ZHOU (2002), «Supply chain modeling: past, present and future», *Computers & industrial engineering*, **43**(1-2), págs. 231–249.
- MINIS, I. (2010), *Supply Chain Optimization, Design, and Management: Advances and Intelligent Methods: Advances and Intelligent Methods*, IGI Global.
- OSMAN, I. H. (2013), *Handbook of research on strategic performance management and measurement using data envelopment analysis*, IGI Global.
- OZ, E. (2001), «Administración de Sistemas de Información, 2da», *Edición. Thomson: México*.
- PERERA, H. y W. COSTA (2008), «Analytic hierarchy process for selection of ERP software for manufacturing companies», *Vision*, **12**(4), págs. 1–11.
- POON, T., K. L. CHOY, H. K. CHOW, H. C. LAU, F. T. CHAN y K. HO (2009), «A RFID case-based logistics resource management system for managing order-picking operations in warehouses», *Expert Systems with Applications*, **36**(4), págs. 8277–8301.
- RAZI, M. A. y K. ATHAPPILLY (2005), «A comparative predictive analysis of neural networks (NNs), nonlinear regression and classification and regression tree (CART) models», *Expert Systems with Applications*, **29**(1), págs. 65–74.
- REIF, R. y W. A. GÜNTNER (2009), «Pick-by-vision: augmented reality supported order picking», *The Visual Computer*, **25**(5-7), págs. 461–467.
- REIF, R. y D. WALCH (2008), «Augmented & Virtual Reality applications in the field of logistics», *The Visual Computer*, **24**(11), págs. 987–994.
- RICHARDS, G. (2017), *Warehouse management: a complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse*, Kogan Page Publishers.
- RUSHTON, A., P. CROUCHER y P. BAKER (2014), *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*, Kogan Page Publishers.

- SAATY, T. L., P. C. ROGERS y R. PELL (1980), «Portfolio selection through hierarchies», *The journal of portfolio management*, **6**(3), págs. 16–21.
- SCHWERDTFEGER, B., R. REIF, W. A. GÜNTNER y G. KLINKER (2011), «Pick-by-vision: There is something to pick at the end of the augmented tunnel», *Virtual Reality*, **15**(2-3), págs. 213–223.
- STOLTZ, M. H., V. GIANNIKAS, D. MCFARLANE, J. STRACHAN, J. UM y R. SRINIVASAN (2017), «Augmented Reality in Warehouse Operations: Opportunities and Barriers», *IFAC-PapersOnLine*, **50**(1), págs. 12 979–12 984.
- SU, C.-T. y K.-L. HSIEH (1998), «Applying neural network approach to achieve robust design for dynamic quality characteristics», *International Journal of Quality & Reliability Management*, **15**(5), págs. 509–519.
- TAHA, Z. y S. ROSTAM (2011), «A fuzzy AHP–ANN-based decision support system for machine tool selection in a flexible manufacturing cell», *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **57**(5-8), pág. 719.
- TANG, Y.-C. (2009), «An approach to budget allocation for an aerospace company—Fuzzy analytic hierarchy process and artificial neural network», *Neurocomputing*, **72**(16-18), págs. 3477–3489.
- TRIANTAPHYLLOU, E. (2000), «Multi-criteria decision making methods», en *Multi-criteria decision making methods: A comparative study*, Springer, págs. 5–21.
- VIEIRA, J. G. V., M. R. TOSO, J. E. A. R. DA SILVA y P. C. C. RIBEIRO (2017), «An AHP-based framework for logistics operations in distribution centres», *International Journal of Production Economics*, **187**, págs. 246–259.
- WASUSRI, T. y P. THEERAWONGSATHON (2016), «An Application Of Discrete Event Simulation On Order Picking Strategies: A Case Study Of Footwear Warehouses.», en *ECMS*, págs. 121–127.

- WEAVER, K. A., H. BAUMANN, T. STARNER, H. IBEN y M. LAW (2010), «An empirical task analysis of warehouse order picking using head-mounted displays», *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems - CHI '10*, pág. 1695.
- WU, X., M. HAYNES, A. GUO y T. STARNER (2016), «A comparison of order picking methods augmented with weight checking error detection», *Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers - ISWC '16*, págs. 144–147.
- WU, X., M. HAYNES, Y. ZHANG, Z. JIANG, Z. SHEN, A. GUO, T. STARNER y S. GILLILAND (2015), «Comparing order picking assisted by head-up display versus pick-by-light with explicit pick confirmation», *Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers - ISWC '15*, págs. 133–136.
- YAJURE, C. A. (2015), «Comparación de los métodos multicriterio AHP y AHP Difuso en la selección de la mejor tecnología para la producción de energía eléctrica a partir del carbón mineral.», *Scientia et Technica*, **20**(3).
- YAZGAN, H. R., S. BORAN y K. GOZTEPE (2009), «An ERP software selection process with using artificial neural network based on analytic network process approach», *Expert Systems with Applications*, **36**(5), págs. 9214–9222.
- ZHANG, G., B. E. PATUWO y M. Y. HU (1998), «Forecasting with artificial neural networks:: The state of the art», *International journal of forecasting*, **14**(1), págs. 35–62.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Gabriela Villarreal Zapata

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

SISTEMA INTELIGENTE PARA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
RECOLECCIÓN DE PEDIDOS

Nació en Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, el 23 de agosto de 1991, hija de Cesar Villarreal Nieto y Ma. de Lourdes Zapata Perez. Es egresada de la carrera de Ingeniería Comercial de la Facultad de Comercio y Administración Victoria de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.