

**ESTADO DEL ARTE DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA
LOGÍSTICA HOSPITALARIA**

DIANA KARINA BAUTISTA CHINCHILLA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA
2015**

**ESTADO DEL ARTE DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA
LOGÍSTICA HOSPITALARIA**

DIANA KARINA BAUTISTA CHINCHILLA

**Trabajo de investigación en modalidad “Tesis de Grado” presentado como
requisito parcial para optar al título de Ingeniera Industrial**

**Director
JAVIER EDUARDO ARIAS OSORIO
Ingeniero Industrial**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA
2015**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mis padres y hermana que han sido parte fundamental en este proceso de formación profesional, las personas más importantes de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero que todo a Dios por permitirme alcanzar este logro, por ser siempre mi fortaleza y mi motor, sin Él nada hubiese logrado.

A mi madre, por el hecho de ser el pilar de mi vida, por su amor y dedicación.

A mi hermana, por ser mi amiga y mi compañera de toda la vida.

A mi padre, por estar siempre y apoyarme cada vez que lo he necesitado.

A mi novio, por su compañía, cariño y comprensión

Finalmente a todas aquellas personas que contribuyeron de alguna manera a mi formación profesional.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
2. JUSTIFICACIÓN.....	21
3. OBJETIVOS.....	22
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4. MARCO TEÓRICO	23
4.1 ESTADO DEL ARTE	23
4.2 LOGÍSTICA HOSPITALARIA	27
4.2.1 Cadena de aprovisionamiento.....	29
4.2.2 Función de la logística hospitalaria	32
4.2.3 Complejidad y aporte de la logística hospitalaria	39
4.2.4 Dificultades en la logística hospitalaria.....	41
4.3 SÍNTESIS TEÓRICA DE LOGÍSTICA HOSPITALARIA	42
4.4 MODELOS DE OPTIMIZACIÓN.....	44
5. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	46
5.1 INTRODUCCIÓN CONCEPTUAL DE LA TEMÁTICA.....	46
5.1.1 Análisis Bibliométrico	47
5.2 FASE HEURÍSTICA	48
5.2.1 Búsqueda y selección de la información	48
5.2.2 Bases de Datos consultadas.....	49
5.2.3 Clasificación y categorización de la información	51

5.3	FASE HERMENÉUTICA	52
5.3.1	Estructuración y elaboración del estado del arte.....	52
5.4	FASE DE CONCLUSIÓN	53
5.5	ELABORACIÓN DEL ARTÍCULO DE CARÁCTER PUBLICABLE	53
6.	DESARROLLO DEL ESTADO DEL ARTE	54
6.1	ABASTECIMIENTO EN LA CADENA DE SUMINISTRO HOSPITALARIA ...	54
6.1.1	Gestión de inventarios farmacéuticos	54
6.1.2	Ruteo interno y externo de inventarios.....	58
6.2	SERVICIO DEL DEPARTAMENTO DE EMERGENCIA.....	60
6.2.1	Localización de centros de atención y puntos de distribución en situaciones de urgencia	60
6.2.2	Proceso de despacho de suministros ante una emergencia.....	65
6.2.3	Sistema de vehículos de emergencia.....	67
6.2.4	Programación del personal en urgencias y unidades médicas	74
6.3	LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE ATENCIÓN	76
6.4	PROGRAMACIÓN DE SALAS DE CIRUGÍA	78
6.5	ASIGNACIÓN DE RECURSOS MÉDICOS	82
6.6	PROGRAMACIÓN DE ADMISIONES	84
6.7	ATENCIÓN DE SALUD DOMICILIARIA.....	87
6.8	PROGRAMACIÓN DE TURNOS DE ENFERMERÍA	90
6.9	OTROS.....	103
7.	REVISIÓN LITERARIA EN EL CONTEXTO LATINOAMERICANO	105
7.1	INVESTIGACIONES RELACIONADAS SEGÚN PAÍS DE ESTUDIO.....	105
7.1.1	Brasil	105
7.1.2	Chile	107
7.1.3	Colombia	109
7.1.4	México.....	116
7.1.5	Argentina, Bolivia y Honduras	117

7.2 DESARROLLO INVESTIGATIVO DE LA LOGÍSTICA HOSPITALARIA EN PAÍSES DE AMÉRICA LATINA.....	118
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	127
ANEXOS.....	144

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relación de publicaciones recopiladas en base de datos	48
Tabla 2. Relación de publicaciones clasificadas según actividad logística.....	51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cadena de abastecimiento de un hospital.	31
Figura 2. Diagrama de funciones de la logística hospitalaria.	40
Figura 3. Áreas de la cadena de suministro que abarca la logística hospitalaria..	42
Figura 4. Desarrollo metodológico del trabajo de grado.....	46

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. ECUACIONES DE BÚSQUEDA (Primer análisis)	144
ANEXO B. TOP 10 PALABRAS MENCIONADAS CON MAYOR FRECUENCIA EN LAS PUBLICACIONES RECUPERADAS.....	145
ANEXO C. ECUACIÓN DE BÚSQUEDA (Segundo análisis)	146
ANEXO D ANÁLISIS DE INDICADORES BIBLIOMÉTRICOS	147
ANEXO E. MATRICES Y GRÁFICOS DE CORRELACIÓN DEL ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO.....	152
ANEXO F. ARTÍCULO PUBLICABLE.....	156
ANEXO G. RELACIÓN DE PUBLICACIONES RECUPERADAS	175
ANEXO H. INFORMACIÓN DE PUBLICACIONES RECUPERADAS SEGÚN TEMA LOGÍSTICO	187
ANEXO I. PUBLICACIONES RECUPERADAS POR TEMA LOGÍSTICO UNIFICANDO EL SISTEMA DE EMERGENCIAS MÉDICAS	189
ANEXO J. PUBLICACIONES RECUPERADAS SEGÚN AÑO DE PUBLICACIÓN	190
ANEXO K. PUBLICACIONES RECUPERADAS SEGÚN PAÍS DE ESTUDIO....	192
ANEXO L. PUBLICACIONES RECUPERADAS SEGÚN ENFOQUE DE SOLUCIÓN	193

ABREVIATURAS

- 2SFCA** Two-Step Floating Catchment Area
- 2-VRP** Two interconnected Vehicle Routing Problem
- AARC** Affinely Adjustable Robust Counterpart
- ABC** Artificial Bee Colony
- ACGME** Accreditation Council for Graduate Medical Education
- ACO** Ant Colony Optimization
- ACO-NR** Ant Colony Optimization for Nurse Rostering
- AHP** Analytic Hierarchy Process
- ANSP** Anesthesiology Nurse Scheduling
- BRKGA** Biased Random-Key Genetic Algorithms
- CG** Column Generation
- CGA** Cooperative Genetic Algorithm
- CP** Constraint Programming
- CTM** Cell Transmission Model
- CVRP** Capacitated Vehicle Routing Problem
- DSM** Double Standard Model
- DTA** Dynamic Traffic Assignment
- DU** Departamento de Urgencias
- EH** Exchange Heuristic
- ELSP** Economic Lot Scheduling Problem
- EMR** emergency medicine residents
- ERTPA** Emergency Relief Transportation Planning Algorithm
- FCCP** Fuzzy Chance Constrained Programming
- FGP** Fuzzy Goal Programming
- GA(s)** Genetic(s) Algorithm(s)

GAMS General Algebraic Modeling System
GGA Grouping Genetic Algorithms
GLDP Generalized Location and Distribution Problem
GP Goal Programming
GRASP Greedy Randomised Adaptive Search Procedure
HMCR Harmony Memory Considering Rate
ILP Integer Linear Programming
IRP Inventory Routing Problem
LRP Location and Routing Problem
LSCP Location Set Covering Problem
LTCFLP Long-Term Care Facility Location Problem
MA Memetic algorithms
MA Myopic Algorithm
MALP Maximum Availability Location Problem
MAPA Multi-Assignment Problem-Based Algorithm
MATLAB MATrix LABoratory
MCD Multiple Criteria Decision Analysis
MCLP Maximal Covering Location Problem
MCLP Modified Maximal Covering Location Problem
MCPA Minimum Cost Path Algorithm
MEXCLP Maximum Expected Covering Location Problem
MIP Mixed Integer Programming
MOGHS Multi-Objective Grouping Harmony Search
MSSP Master Surgical Schedule Problem.
NISE Non-Inferior Set Estimation
NS Neighborhood Search

NSGA-II Non-dominated Sorting Genetic Algorithm, version II

NSP Nurse Scheduling Problem

OUL Order Up – To Level

PAES Pareto Archived Evolution Strategy

PAR Pitch Adjusting Rate

PHCFL Preventive Health Care Facility Location

PROMETHEE Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluations

PSO Particle Swarm Optimization

RH Reduction Heuristic

RMP Restricted Master Problem

RO Robust Optimization

RPL Random Parameter Logit

RRSPA Round Robin Shortest Path Algorithm

RSR Random Selection Rate

RVN Reduced Variable Neighborhood Search

SA Simulated Annealing

SCAP Case Assignment Problem

SMPSO Speed constrained Multi-objective PSO

SPEA2 Strength Pareto Evolutionary Algorithm

TS Tabu Search

TSP Traveling salesman Problem

VarMOPSO Multi-Objective Particle Swarm Optimization with Variable Population Size

VNS Variable Neighbourhood Search

VRP Vehicle Routing Problem

VRPPD Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivery

RESUMEN

TÍTULO: ESTADO DEL ARTE DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA LOGÍSTICA HOSPITALARIA.*

AUTOR: Diana Karina Bautista Chinchilla.**

PALABRAS CLAVE: Logística hospitalaria, modelos de optimización, métodos de optimización, cuidado de la salud, hospital.

CONTENIDO:

Debido a la importancia y relevancia que en la actualidad posee la logística hospitalaria y los modelos de optimización aplicables en ella, se considera pertinente el continuo estudio investigativo en el sector de la salud y sus procesos, estableciendo como principal propósito de este trabajo la realización de una exhaustiva revisión bibliográfica de documentos relacionados con metodologías cuantitativas orientadas a mejorar los procedimientos de la logística en centros hospitalarios. En el documento, en primera instancia se aborda la conceptualización de los términos relacionados con el trabajo presentado como, estado del arte, modelos de optimización, logística hospitalaria, así como, sus aspectos, actividades que desarrolla, función, complejidad, dificultades, entre otros tópicos. A continuación es presentado el desarrollo metodológico empleado para la elaboración del trabajo de investigación.

Como desarrollo del cuerpo del trabajo, se muestra una revisión bibliográfica sobre los modelos de optimización en la logística hospitalaria, abarcando distintos problemas entre el abastecimiento en la cadena de suministro, planeación y prestación del servicio de atención de emergencias médicas, localización de centros de atención, programación de salas de cirugía, asignación de recursos médicos, programación de admisiones, atención de salud domiciliaria, programación de turnos de enfermería, entre otros relacionados con menos frecuencia. También, se enmarca el análisis y revisión literaria en el escenario latinoamericano, mencionando algunos trabajos recopilados según su país de desarrollo. Finalmente, se presentan conclusiones y análisis de los resultados obtenidos en la revisión hecha con el fin de identificar futuras oportunidades de investigación.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.
Director: Javier Eduardo Arias Osorio.

ABSTRACT

TITLE: STATE OF THE ART OF OPTIMIZATION MODELS FOR HOSPITAL LOGISTICS.*

AUTHOR: Diana Karina Bautista Chinchilla.**

KEYWORDS: hospital logistics, optimization models, optimization methods, health care, hospital.

DESCRIPTION:

Given the importance and relevance that currently owns the hospital logistics and optimization models applicable to it, is considered relevant ongoing research study in the health sector and its processes, establishing main purpose of this paper the performance of an exhaustive review of documents related to quantitative methodologies aimed at improving the logistics procedures in hospitals. This document initially contains a conceptualization of the terms related to the title: state of the art, optimization models and hospital logistics, as well as activities, objectives and complexity of the hospital logistics problem. Then is presented the methodological development used for the preparation of research project.

The search contains a literature review on hospital logistics optimization models, including supply in the logistic chain, planning and provision of medical emergency services, localization of medical care centers, operating room and nurse shifts scheduling, medical resources allocation, admissions programming, home health care among others problems.

Analysis and literature review on the Latin American hospital logistics scene is also framed by collecting some works developed in Latin America countries, as Brazil, Chile, Colombia, Mexico and others . Finally, the findings and analysis results of the revision are presented in order identify trends studies and future research opportunities.

* Bachelor thesis.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.
Director: Javier Eduardo Arias Osorio.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos de la cadena de suministro consiste en aplicar un enfoque sistémico al manejo de los flujos de información, materiales y actividades a través de proveedores, puntos de transformación, distribuidores, vendedores y usuario final dependiendo del tipo de sector al que pertenezca ya sea de productos o de servicio, bien sea de manufactura o de comercialización. Según Chase², en particular las cadenas de suministro de empresas prestadoras de servicios se enfocan en la interacción directa del cliente y el proveedor, mientras que las cadenas de suministro de manufactura se centran en la creación y entrada de un bien material.

Por otra parte Ballou³, dice que la logística representa la parte del proceso de la cadena de suministro que plantea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios, así como de la información relacionada con ellos, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes.

Ahora bien, cuando se habla de logística hospitalaria, el hospital es visto como una organización integrada por procesos, proveedores, servicios y beneficiarios (clientes), en donde se busca reflejar en el servicio prestado a éstos últimos, la efectividad asociada al funcionamiento de todos los eslabones de esta cadena de suministro. Según Aguirre et al.⁴, la logística hospitalaria es el término que reagrupa entonces todas las actividades hospitalarias de transformación y de flujo de recursos, información y pacientes, en donde el hospital representa el último

² CHASE, Richard; JACOBS, Robert y AQUILANO Nicholas. Administración de operaciones producción y cadena de suministros. 12 ed. Mc Graw Hill. 2009. p. 358.

³ BALLOU, Ronald H. Logística administración de la cadena de suministro. 5 ed. México: Pearson Educación, 2004. 816 p.

⁴ AGUIRRE, S. AMAYA, C. y VELASCO, N. Logística Hospitalaria: logística hospitalaria. En: Cuadernos PYLO. Diciembre, 2007. vol. 01, 4 p.

eslabón de la cadena de suministro con el fin de prestar un servicio médico, preferiblemente eficiente, de alta calidad y confiable.

Como todo proceso empresarial y con el fin de generar una ventaja competitiva, no siendo el sector de prestación de servicios de salud una excepción, uno de los propósitos de la organización es optimizar sus procesos mediante herramientas que proporcionen un análisis y soluciones óptimas a los problemas que se puedan presentar en la operación diaria del mismo, para una excelente gestión de la logística hospitalaria se hace necesario el uso de herramientas cuantitativas, modelos matemáticos de optimización cuyo objetivo principal es permitir la toma científica de decisiones a nivel táctico y estratégico principalmente, trayendo consigo beneficios como el aumento de la calidad el servicio médico prestado junto a una mayor cobertura de pacientes, un equilibrio entre la utilización de recursos hospitalarios y servicio brindado, situación que conlleva a la disminución de costos y a un mejoramiento continuo de procesos.

Debido a la importancia y relevancia que en la actualidad tiene el tema de logística hospitalaria y los modelos de optimización aplicables en ella, se considera pertinente el continuo estudio investigativo en el sector de la salud, estableciendo como principal propósito de este trabajo la realización de una exhaustiva revisión bibliográfica de documentos relacionados con los procedimientos de la logística en centros hospitalarios, en donde se compararán y expondrán las posiciones y aportes de distintos autores referentes al tema de investigación, buscando con esto registrar el tratamiento del mismo a través del tiempo, su condición actual y sus principales tendencias, con el fin de identificar futuras oportunidades de investigación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En consecuencia al entorno cambiante y exigente en que se desenvuelven los centros prestadores de servicios de salud en la actualidad, contemplando distintos factores como, el acelerado crecimiento poblacional, aumento de la demanda de los servicios médicos, avances tecnológicos que conllevan a la prestación de un portafolio más amplio de servicios por parte de los hospitales, los requisitos establecidos en el Sistema de Salud en el que se desarrollan los procesos, entre otros, se deja en evidencia las exigencias y características a los que deben responder los procesos de gestión dentro un centro de atención médica para brindar un servicio eficiente, oportuno y de alta calidad.

Dicha situación implica en la mayoría de los casos el requerimiento y la generación de nuevo conocimiento junto a la aplicación de métodos analíticos cuantitativos para la solución de problemas, razón por la que se considera pertinente el constante y continuo estudio de la logística hospitalaria y los modelos de optimización aplicados en esta. Partiendo de este punto, en el presente proyecto se pretende realizar la recuperación, recopilación, síntesis y análisis de información que abarque estudios relacionados con el tema, con el fin de generar un aporte investigativo reflejado finalmente mediante un documento publicable con al menos 50 referencias de artículos encontrados en las bases de datos indexadas disponibles a través de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander.

2. JUSTIFICACIÓN

Con relación a lo mencionado anteriormente en el planteamiento del problema referente al aumento diario de las exigencias que demandan los procesos logísticos hospitalarios para garantizar la prestación de un servicio de salud eficiente, el estudio y tendencia de dichos procesos, junto al registro de su avance e impacto a través del tiempo se consideran puntos clave para la comunidad investigativa. A pesar de todos los estudios e implementaciones que se ha venido haciendo referente a la logística hospitalaria es mucho lo que queda por hacer en este campo, razón por la cual el grupo OPALO (Grupo en Optimización y Organización de Sistemas Productivos, Administrativos y Logístico) en aras de expandir su espectro de investigación en temáticas logísticas puntuales y de actualidad inicia su inmersión investigativa en este tema y de esta forma orientar y servir como punto de partida para investigaciones futuras dirigidas a la solución óptima de problemas relacionados con el sector de la salud.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Construir un estado del arte de modelos de optimización en logística hospitalaria, obteniendo un análisis detallado de la evolución, tratamiento actual y tendencias del tema con el fin de identificar futuras oportunidades de investigación.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Abordar la conceptualización de los aspectos relacionados con la temática planteada.
- Realizar una revisión de la literatura sobre modelo de optimización en logística hospitalaria.
- Analizar los resultados de la revisión, clasificando e integrando los diferentes avances, planteamientos, propuestas y desarrollos relacionados con los modelos de optimización en logística hospitalaria.
- Enmarcar el análisis de la revisión de la literatura al contexto latinoamericano.
- Elaborar un artículo publicable sobre el tema investigado.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ESTADO DEL ARTE

Un estado del arte hace parte de una de una de las primeras etapas de desarrollo en la investigación de alguna temática, es un documento que sintetiza y organiza los resultados obtenidos en una búsqueda exhaustiva de la literatura existente acerca del tema que se desea investigar, en el que se asume un conocimiento general del área en la cual se inscribe el tema. Su esencia es la de “ir tras las huellas”, ya que permite determinar la forma en que se ha tratado el tema, el estado en el que se encuentra en el momento de realizar la propuesta de investigación y sus principales tendencias.

En la literatura se encuentran distintas definiciones de estado del arte, que aunque con diversas palabras inducen a la misma idea, por ejemplo, según Nieto⁵, la elaboración de un estado del arte, se manifiesta mediante una actividad investigativa que se realiza cuando un equipo investigador hace una selección temática dentro de un campo de trabajo específico con el objeto de facilitar la búsqueda de investigaciones realizadas. Por otra parte, Vargas y Calvo⁶, se refieren al estado del arte como un estudio analítico del conocimiento acumulado que hace parte de la investigación documental el cual tiene como objetivo inventariar y sistematizar la producción en un área del conocimiento, ejercicio que no se debe quedarse tan solo en el inventario, sino que debe trascender más allá, dando paso a una reflexión profunda sobre las tendencias y vacíos en un área específica.

Para el proceso de realización de un estado del arte existe una secuencia de pasos esenciales que van desde la búsqueda de textos bases, conceptuales y

⁵ NIETO, Luís Fernando. Estado del arte de la investigación en la Escuela de Idiomas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Julio, 2008. p. 31

⁶ VARGAS, G. y CALVO, G. Seis modelos alternativos de investigación documental para el desarrollo de la práctica universitaria en educación. Citado por MOLINA, Nancy Piedad. ¿Qué es el estado del arte? En: Ciencia y Tecnología para la salud Visual y Ocular : Herramientas Para Investigar. Julio–Diciembre, 2005. vol.5, p. 74.

teóricos, relacionados con la temática, en las que distintos autores han analizado y profundizado desde diferentes puntos de vista el tema de investigación, seguido de la apropiación de la lógica del texto, momento en el que se garantiza su entendimiento, para finalizar y darle trascendencia anclándolo en un afuera textual, paso que implica un proceso de escritura en el que es necesario superar la comprensión y dar paso a la explicación. Este sería el procedimiento esencial para la elaboración de un estado del arte, aunque podría ser estructurado por cada autor que se refiere al tema de manera distinta. Referente a esto, Creswell⁷ dice que en el proceso de localizar y resumir los estudios anteriores acerca de un tema, a menudo estudios de investigación, existen muchas maneras de llevarse a cabo y que por lo general se realiza de manera sistemática.

En este trabajo, se aborda la estructura de una revisión literaria propuesta por Vélez y Calvo⁸ quienes dividen las partes del proceso en tres, la primera denominada contextualización, en donde se plantea el problema de estudio, sus límites, el material documental que se utilizará en la investigación y algunos criterios para la contextualización, el segundo paso es la clasificación, en la que se determinan los parámetros a tener en cuenta para la sistematización de la información, la clase de documentos a estudiar, así como aspectos cronológicos, objetivos de los estudios, disciplinas que enmarcan los trabajos, líneas de investigación, nivel conclusivo y el alcance de los mismos. Por último se realiza la categorización, fase en la que se jerarquiza y clasifica la información obtenida para su tratamiento y facilitar el estudio del tema a investigar permitiendo la práctica hermenéutica, fase que se incluiría en la siguiente metodología descrita de manera más detallada y precisa.

⁷ CRESWELL, John W. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. 2 ed. s.l.: Sage Publications, 2002. p. 37.

⁸ VÉLEZ, A. y CALVO, G. Estado del Arte Maestría en Educación. Citado por MOLINA, Nancy Piedad. ¿Qué es el estado del arte? *En: Ciencia y Tecnología para la salud Visual y Ocular : Herramientas Para Investigar*. Julio–diciembre, 2005. vol. 5, p. 74

a. Fase heurística: Fase que inicia con algunos pasos introductorios, el primero es la “iniciación”, en el que se identifica la carencia de conocimiento o comprensión de una temática específica, que como menciona Torres Carrillo⁹, la necesidad misma de iniciar un estado del arte es el hecho de establecer un tema de estudio o problema a investigar, lo que implica un esfuerzo por reconocer los límites de lo ya sabido y atreverse a preguntar lo inédito, pero susceptible de ser pensado e investigado desde el acumulado en el campo del conocimiento. El siguiente paso es la “selección”, en donde se asegura que dicho tema tenga suficiente material investigativo registrado con el que sea posible la redacción de un artículo bien estructurado y fundamentado. Para el entendimiento a grandes rasgos del tema se realiza la “exploración” y con base a esto se hace la “formulación” de la verdadera problemática. En el desarrollo de estos pasos iniciales es importante la asignación del título que se le dará a la investigación, el cual debe transmitir completamente la idea central del estudio, al respecto, Wilkinson¹⁰ brinda algunos consejos útiles para la creación del título, por ejemplo que éste sea breve evitando el desperdicio de palabras, eliminar palabras innecesarias, utilización un solo título o un doble título no más de doce palabras, eliminar la mayoría de los artículos y preposiciones, entre otros.

Siguiente a estos pasos, se realiza la búsqueda, recopilación y un breve análisis documental preliminar del mayor número de fuentes de información posibles, que traten la temática de interés. Según Danhke¹¹ existen tres tipos básicos de fuentes de información para llevar a cabo una revisión de la literatura, las fuentes primarias, secundarias y terciarias. Es recomendable para una buena revisión de la literatura acudir directamente a fuentes originales o primarias, para ello, se debe

⁹ TORRES CARRILLO, Alfonso. El planteamiento de problemas de investigación social. Citado por PANTOJA VILLARREA, María. Construyendo El Objeto de Estudio e Investigando lo Investigado. En: Memorias : Reflexión Investigativa. Junio, 2005. vol. 5, no, 8.

¹⁰ WILKINSON. Citado por CRESWELL, John W. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. 2 ed. s./: Sage Publications, 2002. p. 30.

¹¹ DANHKE, G. Investigación y comunicación. Citado por HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. 4 ed. México: McGraw-Hill. 2006. p. 66

establecer un criterio de búsqueda, por medio de una ecuación de palabras claves que acote dicha información del tal manera que garantice la selección de aquella que se considere de gran aporte al proceso investigativo. Con respecto a esto, Sampieri¹² menciona que es aconsejable iniciar la revisión de la literatura consultando a uno o varios expertos en el tema y acudir a fuentes secundarias o terciarias como directorios, motores de búsqueda, sitios Web para así localizar y recopilar estas fuentes primarias. Para finalizar, se clasifican y categorizan estas fuentes obtenidas según el análisis estructural del tema para así facilitar su comprensión y contribuir a la siguiente fase.

b. **Fase hermenéutica:** Etapa que implica un proceso de lectura y análisis en el que se garantiza la interpretación y comprensión de la información obtenida en el desarrollo de la fase anterior, se considera una de las fases más complejas del proceso por lo que es recomendable el apoyo de un software especializado que facilite el desarrollo y organización del nuevo conocimiento generado.

c. **Fase de conclusión o transferencia:** Fase final en la que se elabora un artículo crítico, el cual resume y organiza los resultados obtenidos en el análisis y comprensión de la literatura y que genera conclusiones, perspectivas y tendencias con el fin de crear nuevo conocimiento que contribuya a futuros estudios o toma de decisiones. En la redacción del documento se recomienda la utilización de un lenguaje claro y conciso, ser breve e ir directamente al punto que se va a tratar, además, es clave el uso de palabras precisas, es decir la utilización apropiada de la terminología técnica, ya que ésta posee significados muy concretos. También es importante definir todos los símbolos y abreviaturas utilizados, tener bien diseñadas las figuras y mostrar mucha claridad en las tablas. Con relación a esto, Creswell¹³ menciona que ésta es una etapa en donde se enmarca la respuesta de

¹² HERNANDEZ, Roberto; FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. 4 ed. México: McGraw-Hill. 2006. p. 66.

¹³ CRESWELL, John W. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. 2 ed. s.l : Sage Publications, 2002.

una pregunta, reflejando en un estudio o investigación, con el objetivo que demás investigadores puedan comprender fácilmente el significado del proyecto, por lo que debe redactarse de manera sencilla clara y directa.

4.2 LOGÍSTICA HOSPITALARIA

Dentro de los campos estudiados por la gerencia interna de una empresa la logística es relativamente una de las más recientes, definida de distintas formas por autores que aunque con diferentes palabras introducen a la misma idea como lo hace Magee¹⁴, quien se refiere a ésta como una técnica de control y de gestión de flujos de materias primas y de productos desde sus fuentes de aprovisionamiento hasta sus puntos de consumo. Por su parte, Ballou¹⁵ menciona que la logística es la parte del proceso de la cadena de suministro que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo. Así mismo y de manera similar, Fontena¹⁶ define la logística como el flujo de materiales desde un punto de origen a un consumidor y que involucran procesos de planificación, previsión, ejecución y satisfacción de necesidades para permitir que la empresa alcance sus objetivos.

Por otra parte, Franco¹⁷ mira la logística como la gestión eficiente del flujo de los materiales, información y/o personas asociados a una empresa, aportando una definición que implica una función sistemática, mientras que Antún¹⁸ ya da un punto de vista más enfocado hacia los costos, como un progreso técnico que las empresas emplean para atenuar los efectos de baja tasa de ganancias,

¹⁴ MAGEE J. F. physical Distribution systems. Citado por el INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, secretaría de comunicaciones y transporte. Logística: Una Visión Sistemática. México, D.F. : Sanfandilia, Qro. 1995. p. 2. (ISSN 0188-7114).

¹⁵ BALLOU, Ronald H. Logística. Administración de la cadena de suministro. 5 ed. México: PEARSON EDUCACION, 2004. p.4.

¹⁶ FONTENA FAUNDEZ, Hugo. Situación actual de la logística. En: Revista de Marina : Escenarios de la actualidad. 2003, vol. 5, p. 2.

¹⁷ FRANCO I. Logística. Citado por AGUIRRE, S; AMAYA, Ciro y VELASCO, Nubia. Logística Hospitalaria : logística hospitalaria. En: Los Cuadernos de PYLO . Diciembre, 2007. vol. 01 p. 2.

¹⁸ INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, secretaría de comunicaciones y transporte. Logística: Una Visión Sistemática. México, D.F. : Sanfandilia, Qro. 1995. p. 2. (ISSN 0188-7114).

asegurando la implantación de acciones a nivel interno. Cada una de estas definiciones enmarca un proceso amplio y complejo que involucra a cada parte de la empresa, como un aspecto dinámico que se aplica en cada organización de distintas formas dependiendo de las características de ésta. Es un proceso flexible que ha evolucionado a través de los años, ajustándose a los entornos y condiciones cambiantes en los que la empresa se desenvuelve, abarcando temas como flujo de materiales, información, eliminación de procesos que no generen valor, todo con el fin de mantener la satisfacción del cliente generando la mayor utilidad posible.

Al igual que estos sistemas logísticos tradicionales, el proceso para la prestación de servicio en un centro hospitalario requiere una elevada utilización de recursos, en donde se incluye un manejo de inventario que se pretende tener tan bajo como sea posible, reducir los tiempos de operaciones, e implementar distintas mejoras en pro de brindar un servicio de calidad que cumpla con los requerimientos del cliente, en este caso pacientes. En todo proceso de planeación y gestión que debe realizar una unidad hospitalaria, se enfrenta a situaciones que implican toma de decisiones y asignación de recursos, arrojando resultados que repercuten directamente en la calidad del servicio brindado. Situaciones mencionadas tales como, la ubicación de las clínicas médicas y de vehículos de emergencia para proporcionar máxima cobertura sanitaria a una población determinada; el número de dichos vehículos con el fin de incurrir en el menor tiempo de recorrido, la planificación de tratamientos para reducir al mínimo el tiempo de aplicación en un paciente, la planificación de la capacidad, programación del personal como enfermeros, médicos, especialistas etc., programación de instalaciones como salas de urgencias y sala de operaciones para mantener un nivel de servicio adecuado y oportuno, programación de admisiones y de materiales, el abastecimiento y gestión de inventario de insumos farmacéuticos, entre otras actividades, son abarcadas por la logística hospitalaria.

Por todo estos elementos y con base en las definiciones de logística mencionadas anteriormente, Aguirre et al.¹⁹, define a la logística hospitalaria como el desarrollo de todas las actividades hospitalarias de transformación así como de flujo de recursos y pacientes en la institución prestadora de servicios médicos abarcando al mismo tiempo la toma de decisiones relacionadas con la forma en que se asignará cada recurso y en que se manejará cada necesidad, en otras palabras, según Ruiz²⁰, este proceso es el encargado de alcanzar los recursos de materiales y de servicios en la cantidad, calidad y oportunidad requerida por los usuarios tanto internos como externos para el cumplimiento de los objetivos estratégicos y funcionales del hospital.

La logística hospitalaria es clasificada en interna y externa, definiendo como interna a aquella que abarca el flujo de pacientes, recursos e información al interior del hospital, y externa, a la que contempla el estudio de las relaciones entre hospitales de una misma red. La aplicación cualquiera de estas logísticas en los centros hospitalarios se realizan principalmente con el fin de reducir los costos administrativos y operativos, aumentar la eficiencia en la gestión de los recursos, optimizar los flujos en el sistema, brindar sostenibilidad de un alto nivel de calidad del servicio con mejoramiento constante y mejorar la usabilidad de un buen sistema de información clave para garantizar la mejor toma de decisión cuando se requiera.

4.2.1 Cadena de aprovisionamiento

La administración de la logística está estrechamente relacionada a la gestión de la cadena de aprovisionamiento, en donde Ballou²¹ define la relación de estos dos términos como un conjunto de actividades funcionales que se repiten muchas

¹⁹ AGUIRRE, S; AMAYA, C. y VELASCO, N. Logística Hospitalaria: logística hospitalaria. En: Cuadernos PYLO. Diciembre, 2007. vol. 01 p. 2.

²⁰ RUIZ MUÑOZ, David. Nuevas tendencias en la logística sanitaria. En: Revista Administración Sanitaria. fall. 2005. vol. 3, no. 3, p. 506.

²¹ BALLOU, Ronald H. Logística. Administración de la cadena de suministro. 5 ed. México: PEARSON EDUCACION, 2004.

veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor, siendo en el caso de un hospital la realización de actividades con el fin de prestar un servicio médico oportuno y confiable en lugar de productos.

Cuando se habla de centro hospitalario se hace referencia al último eslabón de dicha cadena de aprovisionamiento, que como cualquier otra cadena de suministro de una empresa manufacturera ésta tiene un origen en un fabricante y finalización en un cliente, con la particularidad de contar con productos como insumos médicos, productos farmacéuticos, productos alimenticios, mantenimiento y aseo, entre otros. Según Ruiz²² y como se muestra en la Figura 1, los principales eslabones de esta cadena son: el fabricante, el distribuidor, el almacén o almacenes hospitalarios (farmacia), las unidades hospitalarias y el paciente, ubicando en estos últimos tres eslabones el desarrollo y aplicación de la logística hospitalaria.

Dentro de este contexto el hospital es visto como una organización integrada por procesos, proveedores, servicios y beneficiarios (clientes) que tiene como propósito optimizar el funcionamiento de los eslabones en toda la cadena de servicio²³. Según los estudios realizados por *European Court of Human Rights*²⁴ (EHCR), en este campo se estima que en el eslabón de la unidad hospitalaria se incurre aproximadamente en el 41% de los costos operativos y administrativos asociados a toda la cadena, razón por la cual se intuye que una buena implementación en la logística hospitalaria tendría un alto impacto en la disminución de costos y eficiencia de las operaciones, situación que permitiría la

²² RUIZ MUÑOZ, David. Nuevas tendencias en la logística sanitaria. En: Revista Administración Sanitaria. fall. 2005. vol. 3, no. 3 p. 2.

²³ S. Aguirre, C.A. Amaya, N. Velasco. Logística Hospitalaria. Cuadernos de PyLo. P 2007 01. Universidad de Los Andes, Diciembre 2007.

²⁴ CSC Consulting. (1996). EHCR, Efficient Healthcare Consumer Response, Improving the Efficiency of the Healthcare Supply Chain. Citado por LANDRY, Sylvain. PHILIPPE, Richard. How Logistics Can Service Healthcare En: Supply Chain Forum An International Journal. fall. 2004. vol. 5, no. 2 p. 25

redistribución del presupuesto agregando valor a la cadena de suministro y aumentando la calidad del servicio de atención médica prestada.

Según Ruiz²⁵ actualmente uno de los mayores problemas que dificulta la optimización de esta cadena de aprovisionamiento, es la poca gestión logística, ya que en muchos centros hospitalarios su acercamiento operacional está relacionado en mayor medida a la gestión de inventarios, enfocando su proceso de planeación en procesos administrativos o a la clasificación de los servicios que se brindarán, dejando a un lado el cómo se desarrollarán las actividades de logística hospitalaria que estos servicios demandan, siendo tan solo después de puesta en marcha las operaciones, en donde se empieza dicha gestión de logística.

Figura 1. Cadena de abastecimiento de un hospital.



Figura 1. Cadena de aprovisionamiento de un hospital.

Fuente: RUIZ MUÑOZ, David. Nuevas tendencias en la logística sanitaria. En: Revista Administración Sanitaria. vol. 3, No. 3.

²⁵ Ibid., p. 506.

4.2.2 Función de la logística hospitalaria

Sintetizando lo anterior, el principal objetivo de la logística hospitalaria es optimizar los recursos con los que cuenta un centro hospitalario con el fin de hacer más eficiente las operaciones que se realizan al disminuir los costos y aumentar el nivel de servicio médico prestado, enmarcándose en la siguiente estructura de funciones.

a. Programación de actividades

Los procesos que se desarrollan en un centro hospitalario se hacen sumamente complejos ya que en el desarrollo de la prestación del servicio de salud se evidencian distintas actividades de producción como, lavandería, cocina, esterilización, gestión de exámenes, entre muchas otras actividades, desarrolladas generalmente de forma simultánea y relacionadas entre sí. Una de las mayores dificultades que se presentan en la realización de estas actividades es la falta de programación previa, pues según Landry²⁶, estas actividades en muchas ocasiones son realizadas por personal sin capacitación, por ejemplo se estima que del total del tiempo que el personal de enfermería debería emplear en atención médica al paciente el 10% es empleado en actividades logísticas.

b. Programación y asignación de recursos

El objetivo principal en este contexto es la programación y asignación de recursos tanto físicos como humanos, identificando entre los físicos, la programación de sala de operaciones, material quirúrgico, instalaciones, insumos médicos y farmacéuticos, órganos, camillas, alimento, indumentaria, entre muchos otros recursos tangibles involucrados en las distintas actividades realizadas para la prestación oportuna del servicio médico. Como manejo de recurso humano se incluye la programación del personal administrativo, médico, enfermería, de laboratorio, etc.

²⁶ LANDRY, Sylvain. PHILIPPE, Richard. How Logistics Can Service Healthcare En: Supply Chain Forum An International Journal. Fall, 2004. vol. 5, no. 2, p. 26.

Específicamente la programación de sala de cirugías es considerada de gran importancia ya que representan el centro de mayor costo, al mismo tiempo que la mayor fuente de ingresos para la mayoría de los hospitales²⁷. Teniendo en cuenta las listas de espera de pacientes y diversa información sobre las características y el estado de salas de operaciones, este problema tiene como objetivo la optimización de varias medidas de desempeño, incluyendo la utilización de la sala, su rendimiento, uso de horas extras, retrasos, etc.²⁸

Relacionado con la programación del personal asistencial, es notable el interés que presenta la programación de turnos del personal de enfermería en gran parte del mundo²⁹, el proceso consiste en estructurar horarios diarios para las enfermeras en un horizonte de planeación determinado, con los principales objetivos de aumentar la eficiencia del servicio, disminuir costos, reducir el uso de horas extras, fortalecer el equilibrio de cargas laborales, contemplar las preferencias y bienestar del personal, entre otros, bajo el requerimiento de satisfacer las restricciones duras establecidas e intentando violar al mínimo las restricciones blandas presentadas según las políticas y condiciones del centro de atención, que pueden variar de uno a otro junto a los objetivos de la programación. Además de esto, se considera de gran importancia el manejo de este problema ya que comprende una gran parte de los costos operacionales.³⁰ Estas características del problema, representan la principal razón por lo que gran parte de la investigación de programación del personal sanitario se ha dedicado al caso de la programación de turnos de enfermería, en donde a pesar de los esfuerzos,

²⁷ DENTON, Brian; VIAPIANO, James y VOGL, Andrea. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. En: Health Care Manage Sci. Febrero, 2007. vol. 10, p. 13-24.

²⁸ AGNETIS, A., et al. Long term evaluation of operating theater planning policies. En: Operations Research for Health Care. Diciembre, 2012. vol. 1, p. 95-1042.

²⁹ JIE-JUN, Wu, et al. An Ant Colony Optimization Approach for Nurse Rostering Problem. En: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). (13-16, Octubre, 2013: Manchester, Reino Unido). IEEE, 2013. p.1.

³⁰ MAENHOUT, Broos y VANHOUCKE, Mario. An integrated nurse staffing and scheduling analysis for longer-term nursing staff allocation problems. En: Omega. Abril, 2013. vol. 41, no. 2, p. 485.

en la práctica, la programación de turnos de enfermeras automatizada no es común todavía en la mayoría de hospitales.³¹

c. Abastecimiento

La gestión de inventario farmacéutico se ha convertido en un reto importante para la industria del cuidado de la salud, ya que al mismo tiempo se trata de reducir los costos y mejorar el nivel de servicio en un entorno comercial cada vez más competitivo.³² Este proceso incluye el abastecimiento de insumos necesarios en la cantidad, momento y lugar requerido por los usuarios internos y externos, para el funcionamiento del hospital, logro de los objetivos y metas establecidas. Se contemplan actividades de compra de bienes y recursos, almacenamiento y gestión de inventario, tanto en la bodega central, como en cada piso o área del hospital de acuerdo a la atención brindada.

Esta actividad como muchas otras, está presente durante toda la cadena de suministro, contemplándose como logística hospitalaria las actividades abarcadas desde el momento en que la bodega central del hospital realiza el pedido de insumos a su distribuidor externo, el que una vez recibido, se almacena y distribuye por lotes según requiera y demande cada unidad interna, las cuales, de nuevo realizan el proceso de almacenamiento y distribución, esta vez, según requiera el paciente. El diseño de la red de centros de almacenamiento dentro de las instituciones orientadas al cuidado de la salud se caracteriza principalmente por la existencia de una bodega central y varias farmacias filiales en donde la bodega es el puente de conexión entre la cadena interna y externa de abastecimiento de insumos médicos en la industria.³³

³¹ BURKE, Edmund K, et al. Metaheuristics for handling time interval coverage constraints in nurse scheduling. En: Applied Artificial Intelligence. Octubre, 2006. vol. 20, p. 743-766.

³² UTHAYAKUMAR R. y PRIYAN S. Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital. En: Operations Research for Health Care. Agosto, 2013. vol. 2, No. 3, p. 52 – 64.

³³ HERNÁNDEZ, P.C.; AMAYA, Ciro y VELASCO, Nubia. Modelo de coordinación de inventarios en la cadena de abastecimiento de medicamentos de un hospital público. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Julio, 2007, vol. 04, p. 1.

Todas estas actividades y decisiones en este proceso están relacionadas con la política de inventarios que maneja cada centro hospitalario según la clasificación del de producto y cantidades que se requieran, buscando mantener un mínimo nivel de existencias en *stock* necesarias para la operación de los servicios asistenciales y administrativos. Las actividades de almacenamiento de la logística hospitalaria según el *Council of logistic management. Logistic in service industries 2000*³⁴ abarcan, almacenes exteriores de suministros médicos y quirúrgicos, almacenes interiores de suministros médicos y quirúrgicos, servicio de almacenaje farmacéutico hospitalario y almacenamiento de material quirúrgico en sala de operaciones

d. Distribución y transporte

Una de las funciones que demanda mayor actividad en la gestión de la logística hospitalaria es el diseño de rutas para un flujo de material eficiente y la optimización de las rutas de reparto. En este punto las actividades de transporte son tanto internas como externas, dentro de las cuales se encuentra, rutas de entrada de suministros quirúrgicos al almacén, rutas de entrada de medicamentos a la farmacia central, rutas de entrada de productos valiosos, tales como implantes, apartados ortopédicos y órganos, movimientos desde el almacén central a unidades y clínicas, transferencia de pacientes, traslado de expedientes clínicos entre unidades y clínicas, rutas de distribución de medicamentos desde la farmacia central hasta satélites, unidades y clínicas, servicio de reparto de alimentos a las habitaciones, movimiento de muestras y resultados de análisis entre laboratorios y unidades o clínicas y movimiento de radiografías desde radiología (central o satélite) hasta unidades o clínica.

Actividades en donde la tecnología desempeña un papel fundamental, ya que al hacer un buen uso de ella en el desarrollo de muchas de estas actividades de transporte, el hospital estaría reduciendo el tiempo en que incurre en el traslado de

³⁴ LYNCH, Clifford F. Logistics outsourcing : a management guide. Ed 01. Illinois : Council of Logistics Management, 2000. 319 p.

algún material o insumo, por ejemplo, al emplearse sistemas de trasportes automatizados para cargas grandes como lo es el vehículo de sistema automático (AGV) los cuales se programan de acuerdo al diseño de programa que tenga la distribución de cada material relacionado con cantidades y lugar, además de estos existen sistemas para cargas pequeñas como los flujos neumáticos que contribuyen a un uso más eficiente de los recursos como el tiempo.

e. Gestión y planeación de la demanda

En el proceso de prestación de servicio de salud están inmersas dos tipos de demandas, una independiente y otra dependiente. La demanda de insumos es aquella que se presenta en cuanto a la cantidad de recursos que necesita la unidad de salud para la oportuna prestación del servicio la cual depende completamente de la demanda de pacientes. La demanda independiente está relacionada con la cobertura de atención que brinde el hospital, la cual se determina según el sistema de gestión hospitalaria que enmarque los procesos del hospital, involucrando el tamaño, el nivel en que se encuentre clasificado, la características de los pacientes que son atendidos y los tipos y cantidad de servicios que se brinda.

f. Localización y ruteo de vehículos de emergencia

El servicio de transporte de pacientes es un componente vital de muchos sistemas de salud, sin embargo, la creciente demanda y los recursos limitados imponen en éstos grandes retos.³⁵ Es por ello, que además del proceso de ruteo de insumos interno y externo de un hospital, está presente el diseño de rutas y coordenadas de ubicación de vehículos de emergencia, con el propósito de prestar la mayor cobertura posible a la población en el menor tiempo posible. Incidentes de emergencia, como desastres naturales, ataques terroristas, epidemias de salud pública, y los accidentes industriales, mineros, como otros, dan lugar a graves

³⁵ BOWERS, John; LYONS, Bob y MOULD, Gillian. Developing a resource allocation model for the Scottish patient transport service. En: Operations Research for Health Care. Diciembre, 2012. vol. 1, p. 84-94.

pérdidas de vidas humanas y pérdidas materiales , por lo que ubicación de instalaciones y ruteo de vehículos de emergencia, que proporcionan materiales y servicios de socorro, juegan un papel importante en la gestión de rescate y atención.³⁶ Adicional a esto, los departamentos de emergencia de un hospital son unidades que tienen como característica la atención de un gran flujo de pacientes que requieren atención médica inmediata en el menor tiempo posible, por lo que para reforzar el servicio, en la práctica, todos los sistemas de emergencia están integrados unos con otros a través de una llamada teniendo un punto centralizado.³⁷

g. Distribución de planta

Es el proceso que involucra la ubicación de las distintas subunidades pertenecientes a un centro hospitalario. Las unidades internas pueden hacer referencia a farmacias, así como a áreas del hospital, ya sea el departamento de urgencia, área de administración, prestación de servicio de citas, puntos de almacenaje para cada unidad, salas de operaciones, salas de espera, etc. En la ejecución del proceso se intenta buscar una adecuada y estratégica ubicación de los sectores, con el objetivo de agilizar y aumentar la eficiencia del desarrollo de las actividades que se requieran en la asistencia médica, considerando su gran efecto y contribución en la calidad de las operaciones y servicios.³⁸

h. Localización de plantas

Proceso en el que se busca la eficiente de ubicación de los centros hospitalarios y sus instalaciones satélites para la asistencia médica y almacenaje, con el fin de optimizar la utilización de todos los recursos involucrados en desarrollo de la prestación del servicio. En este aspecto es de aclarar que la unidad hospitalaria es

³⁶ MENGHAO, Xi, et al. A Modified p-Median Model for the Emergency Facilities Location Problem and Its Variable Neighborhood Search-Based Algorithm. En: Journal of Applied Mathematics. Abril, 2013. vol. 2013, 10 p.

³⁷ COSKUN, Nusin y EROL, Rizvan. An Optimization Model for Locating and Sizing Emergency Medical Service Stations. En: Journal of Medical Systems. Febrero, 2010. vol. 34, p. 43.

³⁸ ARISH, Ibrahim. A Framework for Genetic Algorithm Application in Hospital Facility Layout Design. En: The IUP Journal of Operations Management. Diciembre, 2012. vol. 11, no. 4, p. 16-21.

la encargada de gestionar dicho proceso de localización dependiendo del sistema en el que desarrolle, si un centro hospitalario hace parte del sistema público, este proceso estará sujeto principalmente condiciones y restricciones implantadas por el estado mediante el plan de desarrollo y organización territorial, situación que incide directamente en el desarrollo de todas las actividades mencionadas anteriormente y por lo que hace necesario su tratado.

Un caso especial se presenta cuando se hace referencia a la ubicación de centros de atención de emergencia, ya que como característica principal, presenta el requerimiento de una atención a un gran número de pacientes bajo el limitante del tiempo. Los problemas de asignación de los servicios médicos de emergencia generalmente se encargan de localizar las instalaciones entre sitios potenciales con el fin de proporcionar un servicio eficiente y eficaz para cubrir una amplia zona con una distribución de demanda especial³⁹.

i. Atención de salud domiciliaria

Este servicio se basa en una red de distribución en donde los pacientes son hospitalizados en sus hogares y los proveedores de salud deben brindar una atención médica coordinada a cada uno de ellos⁴⁰ quienes requieren del servicio varias horas a la semana durante varias semanas consecutivas. Inicialmente el servicio se centró en cuidados de enfermería y se ha extendido a cuidados complejos y técnicos, tales como cuidados crónicos, rehabilitación, cuidados de analgésicos, quimioterapia, entre otros.⁴¹ Aunque los pacientes suelen ser asistidos por enfermeras, según el caso, pueden requerir también otras figuras, como fisioterapeutas, médicos o psicólogos. La planificación de este servicio se

³⁹ XUEPING, Li, et al. Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. En: Mathematical Methods of Operations Research. Julio, 2011. vol. 74, p. 281–310.

⁴⁰ GUTIÉRREZ, E. Valentina; GUTIÉRREZ, Valentina y VIDAL, Carlos. Home Health Care Logistics Management: Framework and Research Perspectives. En: International Journal of Industrial Engineering and Management. 2013. vol. 4, no. 3, p. 173-182.

⁴¹ LIU, Ran, et al. Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care. En: European Journal of Operational Research. Noviembre, 2013. vol. 230, p. 475-486.

dificulta ya que en lugar de ser brindado en un punto estacionario, requiere del transporte de un equipo médico de paciente en paciente, además de contemplar algunas condiciones presentadas como las preferencias del usuario y atención continua por enfermeras. La gestión logística por lo tanto, implica establecer horarios de atención, programación de actividades y procesos de enrutamiento con el fin optimizar la utilización de los recursos involucrados en este particular servicio.

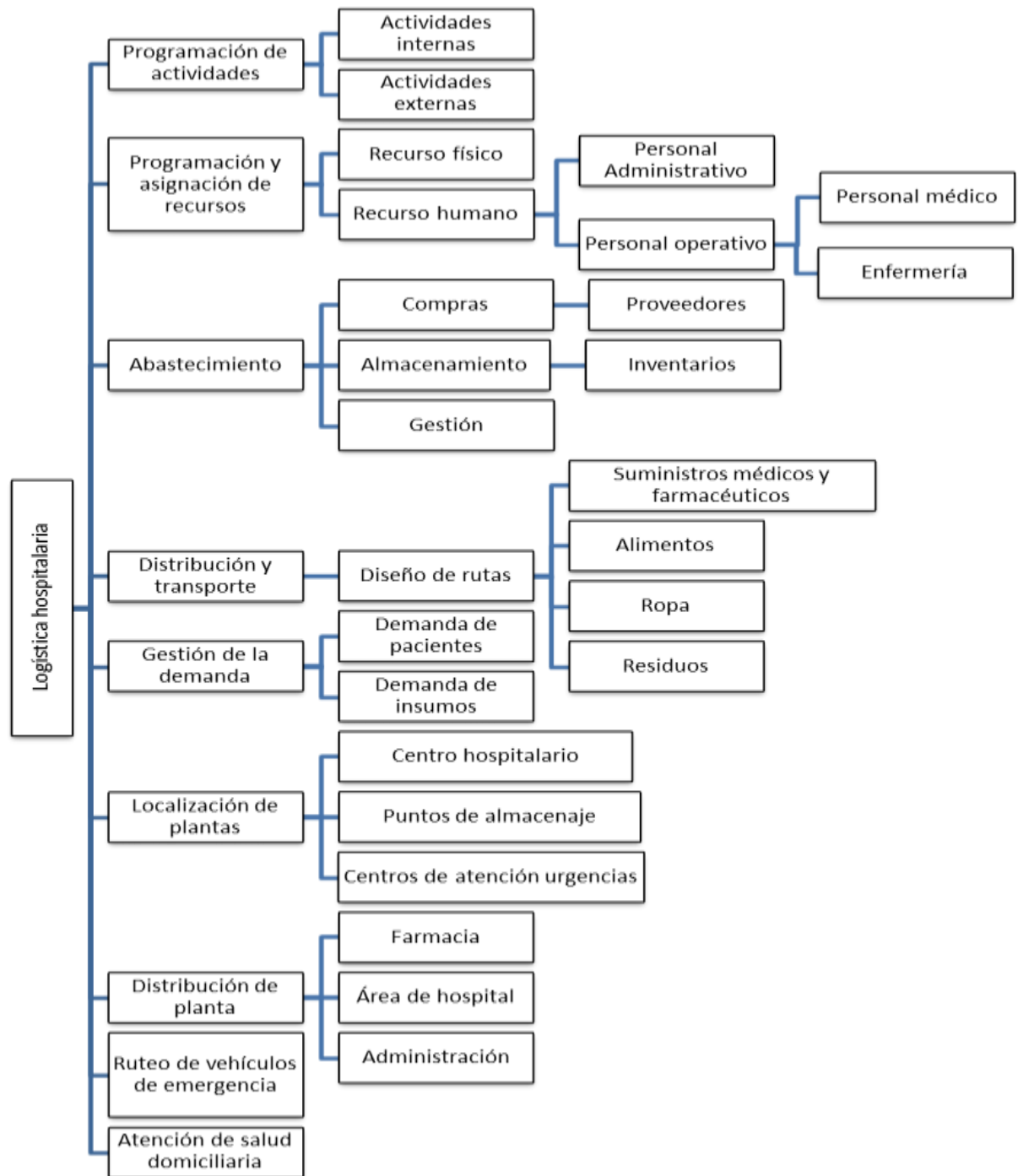
4.2.3 Complejidad y aporte de la logística hospitalaria

Es evidente la influencia de la logística hospitalaria en el desempeño que la entidad pueda llegar a tener, por lo que Landry y Beaulieu⁴² presentan una clasificación de cuatro estados en los que podría estar un centro hospitalario dependiendo del manejo que ésta tenga, clasificando su medida de contribución desde un nivel operativo a uno estratégico. En el primer estado la logística hospitalaria no se considera como un factor de éxito y en gran medida es implementada para manejar impactos negativos con inversiones a corto plazo, en el segundo estado, se busca un poco más de eficiencia con adquisición de tecnología e innovaciones aunque olvidando la inversión en recurso humano interno para su manejo, en el tercer estado la logística hospitalaria es vista como un medio para mejora continua de desempeño, se hacen mejoras en la capacidad interna y se invierte en beneficios a largo plazo, y por último, el cuarto estado tiene un enfoque más estratégico, en el que la logística hospitalaria es apoyada por todas las áreas del hospital, involucrando un cambio radical, anticipándose a avances logísticos, invirtiendo en tecnología y en recurso humano para su manejo. Una de las cosas que se busca con esta clasificación de estados es evidenciar el impacto que puede generar la logística hospitalaria según la forma en que se

⁴² LANDRY, S.; BEAULIEU, M. "La logistique hospitalière : un remède aux maux du secteur de la santé?" En: AMAYA, Ciro., et al. Potenciando la contribución de la logística hospitalaria: tres casos, tres trayectorias. En: Management international / International Management / Gestión Internacional. Enero, 2010. vol.14, No. 4, p. 85-98.

manejo o el nivel de importancia que se le dé, concluyendo finalmente como funciones involucradas en ella, las presentadas en la Figura 2.

Figura 2 . Diagrama de funciones de la logística hospitalaria.



4.2.4 Dificultades en la logística hospitalaria

Una vez mencionados todos los procesos involucrados en la gestión de la logística hospitalaria en la prestación de un servicio eficiente, confiable y humano, se puede generar una idea de qué tan complejo pueden llegar a ser su planificación, gestión y control. En la actualidad existen factores que conllevan al aumento de los requerimientos y exigencias que estos procesos exigen, factores como el aumento de la densidad poblacional que implica un incremento de la demanda de servicios médicos, el avance tecnológico que obliga a los hospitales a ofrecer un portafolio de servicios médicos mucho más amplio que el de hace unas décadas, las condiciones y leyes gubernamentales bajo la cual se desenvuelven las cuales varían de un sistema a otro, de un país a otro. La gestión de la logística hospitalaria de igual forma debe su complejidad a las características de las necesidades particulares de cada institución, teniendo en cuenta las diferencias que puedan existir en el marco de la regulación legal, de la cantidad de servicios que ofrece el hospital, el nivel tecnológico aplicado a sus procesos, el volumen y características de usuarios que la entidad atiende y su presupuesto, por mencionar algunos aspectos.

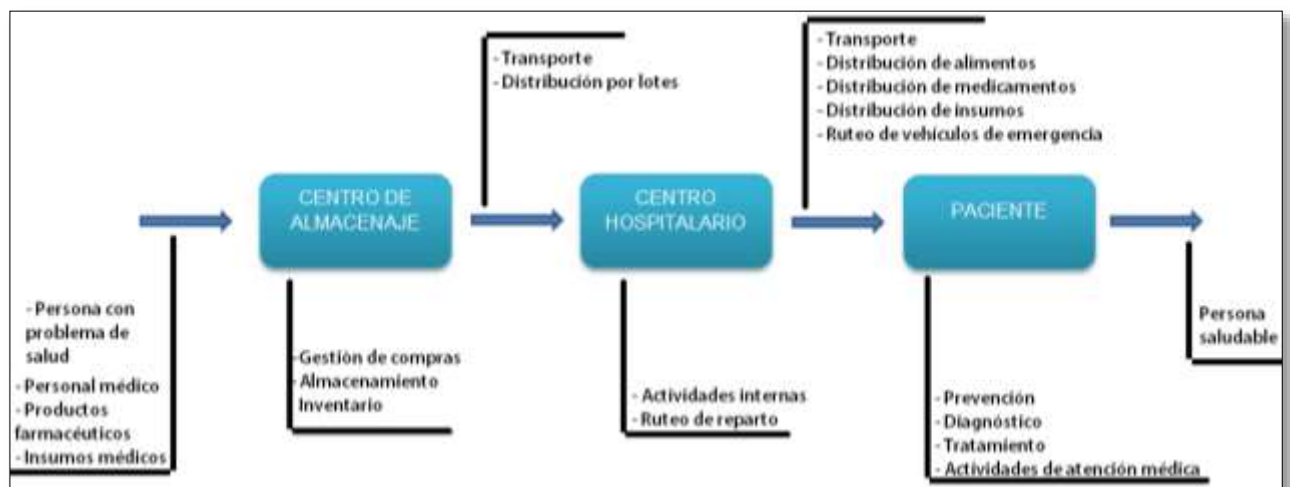
Según Landry y Beaulieu ⁴³ otra dificultad para implantar prácticas que mejoren el desempeño del proceso de gestión de la logística hospitalaria, se presenta al contemplar que muchas de las actividades logísticas son compartidas por múltiples áreas (farmacia, aprovisionamiento, servicios complementarios), adicional a esto, en la actualidad por lo general el personal responsable de dicha gestión está enfocado ante todo a respetar los procedimientos más que mejorarlos.

⁴³ BEAULIEU, Martin y LANDRY, Sylvain. Comment gérer la logistique hospitalière? Deux pays, deux réalités. Citado por AMAYA, Ciro., et al. Potenciando la contribución de la logística hospitalaria: tres casos, tres trayectorias. En: Management international / International Management / Gestión Internacional. Enero, 2010. vol.14, No. 4, p. 85.

4.3 SÍNTESIS TEÓRICA DE LOGÍSTICA HOSPITALARIA

Dentro del contexto de organización y empresa, un centro hospitalario es visto como aquel órgano perteneciente al sistema de atención a la salud cuyo objetivo principal es la prestación de un servicio dirigido a prevenir, diagnosticar y tratar las afectaciones de la salud humana. Para la prestación adecuada y oportuna de este servicio, el centro hospitalario es el encargado de realizar y relacionar una serie de actividades tanto internas como externas planificadas y programadas previamente, en las cuales se involucra una gran cantidad de recursos e información actuando continuamente de forma sistemática y estructurada entre sí a lo largo de una cadena de suministros. La planificación, ejecución y control del flujo y almacenamiento de bienes, así como la información relacionada con estas actividades que se llevan a cabo en estos últimos eslabones de la cadena de aprovisionamiento mencionada es denominada logística hospitalaria, representada en la siguiente Figura 3.

Figura 3. Áreas de la cadena de suministro que abarca la logística hospitalaria



La logística hospitalaria abarca procesos como la programación de actividades que enmarcan tanto las actividades realizadas al interior del establecimiento hospitalario como las realizadas externamente, esto con el fin de planear y

coordinar de manera eficiente antes de poner en marcha el proceso para prestación del servicio. Adicional a esta programación de actividades, la logística hospitalaria abarca la programación y asignación de recursos, físicos y humanos, referentes a todos aquellos recursos involucrados a lo largo del canal de flujo de esta cadena de suministro. Con relación a los recursos físicos, la logística hospitalaria es la encargada de la compra, almacenamiento y gestión de los mismos, con el objetivo de establecer una política de compra e inventario eficiente que contribuya a la agregación de valor al servicio brindado, los recursos que se manejan en gran parte en un centro hospitalario son los insumos farmacéuticos, alimenticios, de textiles e instrumentos médicos, entre otros, los cuales demandan un tratamiento especial según sea el caso. Adicional a esto se hace necesario un sistemático y coordinado proceso de distribución y transporte de estos recursos, obligando a un diseño de rutas establecidas con el objetivo de minimizar tiempos y a su vez de reducir costos.

Además del transporte y la gestión de los recursos físicos, se hace necesario el transporte y flujo de pacientes ya sea desde el lugar que se demande mediante una atención de emergencia o desde un centro hospitalario a otro centro con distinta capacidad o especialización. Es entonces donde la logística hospitalaria se encarga de la planeación de rutas o ubicación de puntos en donde los vehículos de emergencia deben estar disponibles con el objetivo de incurrir en el menor tiempo posible de asistencia y abarcando el mayor área geográfica y volumen de población posible. Para el desarrollo eficiente de todas estas actividades hospitalarias que hasta el momento se han mencionado, es necesario tener en cuenta uno de los factores más influyentes como la demanda de personas que acuden al servicio, ya que ésta, finalmente es la que determina el alcance que las actividades deben soportar.

Para finalizar con la actividades que hacen parte de la logística hospitalaria, se incluyen la localización de los centros de atención satélites y centrales de hospitales junto a la distribución de planta física que cada uno de ellos debe tener,

procesos que se deben planear mucho antes que cualquier otra actividad. Ahora bien, enmarcando estas actividades dentro de un mismo contexto, se ratifica la complejidad e importancia que la logística hospitalaria y su avance, tienen al momento de proporcionar un servicio de salud oportuno, efectivo y con altos estándares de calidad, enfocada en la reducción de costos totales, eficiencia de gestión de los recursos, minimización de tiempos y mejoramiento constante.

4.4 MODELOS DE OPTIMIZACIÓN

Desarrollados con el fin de generar una solución óptima que facilite la toma de la mejor alternativa de decisión y practicidad en el tratamiento de los procesos, por lo que tienen un sinnúmero de aplicaciones. Estos modelos, constituyen un área importante de la Investigación de Operaciones cuyo objetivo principal es la toma científica de decisiones mediante el empleo de técnicas cuantitativas, donde, según Taha⁴⁴, un elemento principal de la investigación de operaciones es el modelado matemático. Aunque la solución del modelo matemático establece una base para tomar una decisión, se deben considerar factores intangibles o no cuantificables, por ejemplo el comportamiento humano, estimándolo para poder así llegar a una decisión final. Los modelos de optimización entonces, son aquellos donde existe un conjunto de variables de decisión que permiten maximizar o minimizar una función objetivo sometida a un conjunto de restricciones, modelos que generalmente se estructuran en tres componentes:

- **Función objetivo:** Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar).
- **Variables de decisión:** Representan las decisiones asociadas con incógnitas a resolver y que se pueden tomar para afectar el valor de la función objetivo. Desde un punto de vista funcional se pueden clasificar en variables

⁴⁴ TAHA, Handy A. Investigación de operaciones. 7 ed. México: Pearson educación, 2004. 848 p.

independientes, principales o de control, y variables dependientes, auxiliares o de estado, aunque matemáticamente todas son iguales.

- **Restricciones/Condiciones:** Representan el conjunto de relaciones (expresadas mediante ecuaciones o inecuaciones) que ciertas variables están obligadas a satisfacer.

Según Ramos⁴⁵, resolver un problema de optimización reta a encontrar el valor que debe tomar cada una de las variables para alcanzar el valor óptimo de la función objetivo satisfaciendo el conjunto de restricciones. Una solución del modelo es factible si satisface todas las restricciones, es óptima si, además de ser factible, produce el mejor valor (máximo o mínimo) de la función objetivo. Aunque los modelos de investigación de operaciones deben “optimizar” determinado criterio objetivo sujeto a un conjunto de restricciones, la calidad de la solución que se obtenga depende de la exactitud del modelo para representar el sistema real.

⁴⁵ RAMOS, Andrés. Sánchez Pedro; Ferrer José María y Barquín Julián. Linares Pedro. Modelos Matemáticos de Optimización. Septiembre, 2010. Universidad Pontificia Comillas. p. 6.

5. DESARROLLO METODOLÓGICO

Para la elaboración del trabajo de grado se establecieron las actividades a realizar y los objetivos a alcanzar, enmarcando un desarrollo metodológico en seis fases principales como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Desarrollo metodológico del trabajo de grado.



5.1 INTRODUCCIÓN CONCEPTUAL DE LA TEMÁTICA

Para dar cumplimiento al primer objetivo específico del trabajo de grado, la iniciación de esta primera fase como su nombre lo indica, busca establecer, definir y comprender los conceptos claves de la temática a investigar y lo que se pretende alcanzar con la elaboración del trabajo de grado, realizando una revisión superficial de fuentes bibliográficas como libros, revistas, publicaciones indexadas,

base de datos, tesis, artículos técnicos entre otros, en donde se establecen las definiciones de Estado de Arte, Logística Hospitalaria y Modelos de Optimización. En la continuación de esta etapa se pretende hacer una breve introducción sobre el tema principal a tratar en el estado del arte, en este caso se identifica según criterio del autor una clasificación de las actividades ejecutadas en la logística hospitalaria, con base en la cual se realizará la futura búsqueda y análisis de modelos de optimización aplicables a cada una de ellas.

5.1.1 Análisis Bibliométrico

Con el fin de contar con una visión macro del panorama de la investigación, de analizar y de cierta forma calificar el proceso de generación de conocimiento relacionado con la temática dentro de una ventana de tiempo comprendida entre los años 2001 y 2014, se realizaron dos análisis bibliométricos necesarios para la identificación de focos de investigación emergentes, instituciones, países líderes y autores relevantes, relacionados con el tema. Todo esto a través del software para la minería de texto llamado *Vantage Point*. El primer análisis bibliométrico se realiza con el propósito de hacer una revisión general, basada en la investigación hecha para la introducción conceptual del tema, se establecieron así algunas primeras ecuaciones de búsqueda transitorias (ver Anexo A), de las que cuyo análisis, el software arrojaría un ranking de palabras claves mencionadas con mayor frecuencia en las publicaciones recuperadas de la base de datos *WEB OF SCIENCE* (ver Anexo B).

Esta lista de palabras se toma como base para establecer una nueva ecuación de búsqueda más precisa (ver Anexo C) y así realizar una segunda revisión bibliométrica con el fin de enmarcar con mayor exactitud el alcance y las relaciones existentes en la temática de interés. Procesando esta ecuación en el software *Vantage Point* se obtuvo un banco de **988** publicaciones relacionadas con el tema, para los cuales se realizó un segundo análisis bibliométrico teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- **Indicadores bibliométricos:** Con los datos estadísticos obtenidos se relacionaron: la dinámica de publicación, Ranking de las 30 *key words* mayor citadas en las publicaciones y top diez de las instituciones, países, revistas y autores relacionados con el tema. (Ver descripción del análisis de indicadores bibliométricos en el Anexo D.)
- **Matrices y gráficos de correlación:** Son cruces simétricos o asimétricos de dos (2) variables o campos independientes con el fin de medir y mostrar la interdependencia en relaciones asociadas o entre cada pareja de variables y todas al mismo tiempo. Esto con el objetivo de permitir un análisis con mayor profundidad de la dinámica del área de investigación. (Ver descripción del análisis de Matrices y gráficos de correlación en el Anexo E.)

5.2 FASE HEURÍSTICA

Se prosigue a realizar la búsqueda y recopilación de diferentes fuentes bibliográficas relacionadas con el tema, haciéndose necesario establecer un criterio de búsqueda, con la ayuda de las palabras claves arrojadas en los anteriores análisis bibliométricos, con el fin de acotar la información a la que se accederá y asegurar la recopilación de una información precisa y apropiada.

5.2.1 Búsqueda y selección de la información

Esta fase de la investigación se apoya principalmente en las bases de datos digital de la Universidad Industrial de Santander como, PROQUEST, EBSCO HOST, SCIENCE DIRECT, SCOPUS, SPRINGER y WEB OF SCIENCE, relacionando en la Tabla 1, la cantidad de publicaciones relevantes recuperadas de cada una.

Tabla 1. Relación de publicaciones recopiladas en base de datos

BASE DE DATOS	No PUBLICACIONES DESCARGADAS
WEB OF SCIENCE	60
PROQUEST	55
EBSCO HOST	51

BASE DE DATOS	No PUBLICACIONES DESCARGADAS
SCIENCE DIRECT	49
SPRINGER	30
SCOPUS	20
TOTAL	265

5.2.2 Bases de Datos consultadas

▪ EBSCO HOST

EBSCO es una base de datos multidisciplinaria que ofrece más de 375 textos completo, bases de datos secundarias de investigación y más de 550.000 libros electrónicos, además de los servicios de gestión de suscripciones de 360.000 revistas electrónicas, paquetes de revistas electrónicas y revistas impresas.⁴⁶

▪ PROQUEST

ProQuest es una compañía editorial socio clave para los autores de contenidos de todo tipo, preservando y permitiendo el acceso a su información abundante y variada. Estas alianzas han construido una creciente colección de contenido que ahora abarca 90 mil fuentes autorizadas, 6 mil millones de páginas digitales, incluye la mayor colección del mundo de disertaciones y tesis; 20 millones de páginas y colección de tres siglos de periódicos a nivel mundial, nacional y regional; más de 450.000 libros electrónicos; ricas colecciones agregadas de las revistas académicas y publicaciones periódicas más importantes del mundo⁴⁷. Indiza revistas de renombre mundial en las diferentes áreas del conocimiento, contenidas en 27 bases de datos.⁴⁸

⁴⁶ EBSCO. About EBSCO. [en línea]. <<http://www.ebsco.com/about>> consultado el 23 de sep. de 2014.

⁴⁷ PROQUEST. Who We Are. [en línea]. <<http://www.proquest.com/about/who-we-are.html>> consultado el 10 de sep. de 2014.

⁴⁸ UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. [en línea]. <<http://tangara.uis.edu.co/>> consultado el 11 de julio. de 2014.

- **SCIENCE DIRECT**

ScienceDirect es una plataforma electrónica que ofrece artículos en texto completo escritos por investigadores de renombre internacional, con acceso a 1.800 revistas científicas Elsevier, más de 9 millones de artículos en las áreas científica, tecnológica y médica, representando aproximadamente 25% de la producción científica mundial.⁴⁹ Más de 2000 títulos de revistas electrónicas con información científica que cubre todas las áreas del conocimiento, publicadas por Elsevier, uno de los principales editores internacionales.⁵⁰

- **SCOPUS**

Scopus es una herramienta para estudios bibliométricos y evaluaciones de producción científica, contiene: perfil de autor, perfil de institución, rastreador de citas, y analizador de revistas científicas. Engloba una colección multidisciplinaria a nivel mundial de resúmenes, referencias e índices de literatura científica, técnica y médica.⁵¹

- **SPRINGER**

SpringerLink es una de las principales bases de datos interactivas del mundo en los campos de las ciencias, la técnica, la medicina y la recopilación de archivos en línea. Contenido de 1.300 títulos de revistas electrónicas del alto impacto en texto completo con cobertura desde 1997 hasta la fecha y aproximadamente 9.300 títulos de libros electrónicos de 13 colecciones en todas las áreas científicas desde el año 2005 hasta el 2012 con derecho completo y perpetuo de la propiedad de estos libros.⁵²

⁴⁹ ELSEVIER. Science Direct [en línea].

<http://www.americalatina.elsevier.com/corporate/es/science_direct.php> consultado el 11 de julio. de 2014.

⁵⁰ UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. [en línea]. <<http://tangara.uis.edu.co/>> consultado el 11 de julio. de 2014.

⁵¹ UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. [en línea]. <<http://tangara.uis.edu.co/>> consultado el 11 de julio. de 2014.

⁵² UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. [en línea]. <<http://tangara.uis.edu.co/>> consultado el 11 de julio. de 2014.

▪ WEB OF SCIENCE

Base de Datos Multidisciplinaria que permite el acceso referencial a información científica internacional, editadas por el *Institute for Scientific Information (ISI)*. Cubre todas las áreas del conocimiento. Base de datos líder en la citación con la cobertura multidisciplinaria de más de 10.000 revistas de alto impacto en las Ciencias, Ciencias Sociales y Artes y Humanidades, así como la cobertura de los procedimientos internacionales de más de 120.000 conferencias. Las potentes herramientas incluyen búsqueda de referencias citadas, *Citation Maps* y herramienta de análisis.⁵³

5.2.3 Clasificación y categorización de la información

En la última parte de esta etapa se organiza, clasifica y categoriza la información recuperada de acuerdo al tipo de actividad relacionada en la logística hospitalaria y en orden cronológico, esto con el fin de facilitar el estudio y el alcance de los objetivos establecidos.

En la Tabla 2. se relaciona la cantidad de artículos clasificados finalmente según la actividad logística a la que haga referencia, obteniendo un total de **254** artículos considerados relevantes para el desarrollo de la investigación, a partir de los cuales, se escogerán los definitivos para referenciar en el trabajo final.

Tabla 2. Relación de publicaciones clasificadas según actividad logística

TEMA	CANTIDAD DE ARTÍCULOS
Abastecimiento	23
Atención domiciliaria	9
Departamento de emergencia	43
Distribución de planta	1
Distribución y transporte	8
Gestión de demanda	4

⁵³ UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. [en línea]. <<http://tangara.uis.edu.co/>> consultado el 11 de julio. de 2014.

TEMA	CANTIDAD DE ARTÍCULOS
Localización de plantas	5
Predicción	9
Programación de actividades	25
Programación y asignación de recursos	43
Ruteo y ubicación de vehículos de emergencia	10
Enfermería	50
General	24
Total artículos	254

5.3 FASE HERMENÉUTICA

Esta fase hermenéutica se emplea con el objetivo de proponer rutas para el análisis, comprensión e interpretación de la información encontrada y organizada previamente en el contenido de los documentos recolectados. En esta fase se pretende develar el sentido de las estructuras que constituyen cada documento en relación a la hipótesis que plantea el estado del arte, entender, interpretar e integrar el contenido de un conjunto de textos de distintos autores para revelar datos pertinentes que permitan detectar nuevos espacios de estudio y constituyan nuevas perspectivas de análisis relacionadas con el tema investigado.

5.3.1 Estructuración y elaboración del estado del arte

La estructuración del cuerpo del trabajo de grado es organizado y elaborado con base en las actividades que incluye la logística hospitalaria identificadas y relacionadas previamente, en este proceso se realizó la lectura y análisis de los documentos seleccionados finalmente en orden cronológico, con el fin de evidenciar una secuencia y evolución en el área de investigación. Los problemas logísticos relacionados en el cuerpo del estado del arte se estructuraron según la cantidad y relevancia de información recopilada de cada uno de ellos, presentando así, los modelos abarcados en el abastecimiento ejecutado en la cadena de suministro hospitalaria, servicio del departamento de emergencia, localización de

plantas, programación de salas de cirugía, asignación de recursos médicos, programación de admisiones, atención domiciliaria, programación de turnos de enfermería, otras actividades logísticas, y por último, los modelos recopilados y organizados enmarcados en el ámbito latinoamericano.

5.4 FASE DE CONCLUSIÓN

Punto de la investigación en el que se generan análisis y conclusiones de perspectivas y tendencias en el área de la temática investigada, que a la vez puedan contribuir a toma de decisiones o estudios futuros. Este paso se realiza con el objetivo de aportar un avance al proceso de investigación del tema y compartirlo.

5.5 ELABORACIÓN DEL ARTÍCULO DE CARÁCTER PUBLICABLE

La elaboración del artículo se realiza con el fin de enmarcar los principales resultados del trabajo de investigación de manera clara y objetiva, con el fin de alcanzar a cabalidad los objetivos del proyecto (Ver artículo en el Anexo F).

6. DESARROLLO DEL ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se relacionan las publicaciones recopiladas referentes a los modelos de optimización en la logística hospitalaria, clasificados según actividades logísticas en las que son desarrollados.

6.1 ABASTECIMIENTO EN LA CADENA DE SUMINISTRO HOSPITALARIA

6.1.1 Gestión de inventarios farmacéuticos

Abdul, Gutiérrez y Sicilia⁵⁴ presentan un método heurístico de solución al problema de gestión y política de inventarios estacionaria, con tiempo de entrega despreciable, ausencia de devoluciones o pérdidas por ventas y una relación de número entero entre los tiempos de reposición de los minoristas y el almacén central. Modelo en el que se consideran como variables de decisión el intervalo de tiempo de reorden y el número de órdenes ejecutadas durante un ciclo de reposición, buscando incurrir en el menor costo promedio de mantenimiento y de preparación por unidad de tiempo. En el estudio se demuestra la eficiencia de esta heurística propuesta en comparación con las heurísticas presentadas por, Schwarz⁵⁵, quien propone una solución en caso de minoristas idénticos y en una cantidad menor a diez, Graves y Schwarz⁵⁶, en el que sugieren el método exacto de Branch and Bound, y por último, con el método de solución denominado “Política de Potencia de Dos” propuesto por Muckstadt and Roundy⁵⁷.

⁵⁴ ABDUL, Beatriz; GUTIÉRREZ, José y SICILIA, Joaquín. Single cycle policies for the one-warehouse N-retailer inventory/distribution system. *En: Omega : The International Journal of Management Science*. Octubre, 2004. no. 36, p. 196–208.

⁵⁵ SCHWARZ LB. A simple continuous review deterministic one warehouse N-retailer inventory problem. *En: Management Science*. 1973;19 p. 555–66.

⁵⁶ GRAVES SC y SCHWARZ LB. Single cycle continuous review policies for arborescent production/inventory systems. *Management Science* 1977;23 p. 529–40.

⁵⁷ MUCKSTADT JA, ROUNDY RO. Analysis of multistage production systems. *Handbooks in OR & MS*, vol. 4; 1993.

Un problema de gestión de inventarios similar, también con demanda constante y conocida es presentado por **Hernández, Velasco y Amaya**.⁵⁸, en donde buscan una solución óptima que minimice los costos totales del sistema, a partir de un modelo con enfoque de solución del ELSP (*Economic Lot Scheduling Problem*), coordinando los tiempos de reabastecimiento entre los distintos niveles, de manejo multiproducto. Por efecto de disminución en el espacio factible de solución y complejidad en la formulación del modelo propuesto, se incorporan heurísticas de búsqueda local y la utilización de Algoritmos Genéticos (GAs) desarrollados utilizando la herramienta de programación MATLAB, en el que se evidencia una reducción del 32.14% en los costos totales mensuales, respecto a los incurridos en el escenario real sobre el cual se realiza el análisis, principalmente gracias a la disminución en los niveles de inventario promedio mantenidos en bodega.

Frente a otro enfoque, **Lawrence, Asoo, y Selcuk**⁵⁹ analizan la conveniencia de la externalización de gestión de inventarios de productos no críticos mediante la comparación de dos escenarios de acción, el primero con una gestión interna de tres eslabones, y el segundo, enfocado a la consolidación de funciones de almacenamiento y abastecimiento operado por un distribuidor externo en una red de dos eslabones. En ambos casos se implementa una política de inventario de revisión periódica (*OUL*) para atender una demanda que sigue un comportamiento de distribución normal conocida en cada departamento.

Para cada modelo se determina como primera aproximación de solución, un óptimo local por medio de la ejecución de LINGO, en donde cada escenario es desarrollado por separado con distintos parámetros ajustados, como última medida de solución se desarrollan heurísticas viables en cada escenario,

⁵⁸ HERNÁNDEZ, P.C.; AMAYA, Ciro y VELASCO, Nubia. Modelo de coordinación de inventarios en la cadena de abastecimiento de medicamentos de un hospital público. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Julio, 2008. vol. 04, p. 1-14.

⁵⁹ NICHOLSON, Lawrence. VAKHARIA, Asoo J. y ERENGUC, S. Selcuk. Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application. En: European Journal of Operational Research. 2004. p. 271–290.

encontrando en la implementación de la externalización, un ahorro en los costos incurridos y el mantenimiento de un alto nivel de servicio eficiente sin afectar la calidad de los productos. Por otro lado, de manera análoga, **Guerrero, Yeung y Guéret**⁶⁰ presentan una propuesta de modelo de inventarios, por medio de un sistema desarrollado como una cadena de Markov, con el objetivo de optimizar la gestión de la cadena de suministro minimizando el costo de mantenimiento de inventarios en el sistema en general. Para su desarrollo y solución es empleado un algoritmo heurístico con el que se consigue una reducción de aproximadamente del 45% en el costo total de mantenimiento de inventarios actual, sin alterar los requisitos de niveles de servicio.

La propuesta de éste estudio se basa en la modificación de una cadena de suministro de productos no críticos, con tres eslabones que incluye un almacén central y N-minoristas, en otra cadena de abastecimiento de dos niveles, diseñada para que los productos lleguen directamente a la unidades de atención desde la farmacia central omitiendo un eslabón intermediario. El modelo también establece una política de control de inventario (*OUL*) con una distribución por lotes, conocido en la literatura como la política (nQ, r, T) , así mismo, atiende un nivel mínimo de servicio hacia una demanda estocástica con un comportamiento que sigue una distribución de Poisson.

Como complemento de estos estudios ya registrados e incluyendo el proceso de fabricación, **Uthayakumar y Priyan**⁶¹ formulan un modelo de inventario no lineal para la producción y distribución de múltiples productos farmacéuticos entre una compañía de fabricación y un hospital con una demanda estocástica que sigue un comportamiento de Distribución Normal, el objetivo consiste en minimizar el costo total del sistema, que incluye los costos del hospital (transporte fijos,

⁶⁰ GUERRERO; YEUNG, T. y GUÉRET, C. Joint-optimization of inventory policies on a multi-product multi-echelon pharmaceutical system with batching and ordering constraints. *En: European Journal of Operational Research*. Junio, 2013. vol. 231, p. 98–108.

⁶¹ UTHAYAKUMAR R. y PRIYAN S. Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital. *En: Operations Research for Health Care*. Agosto, 2013. vol. 2, No. 3, p. 52–64.

administración y por producto vencido) y costos de la compañía farmacéutica (manejo y mantenimiento de la materia prima, producción y oportunidad en el caso de no pago por parte del hospital).

El modelo es resuelto a través del método algorítmico del Multiplicador de Lagrange, en donde en primera instancia, se omiten las restricciones de espacio disponible y nivel de servicio, teniéndolas en cuenta en la solución final al incluir los dos multiplicadores de Lagrange determinados. Algo particular en este modelo, es la consideración de demoras permisibles en el pago por parte del hospital, ya que la compañía farmacéutica brinda un periodo de plazo para el pago de las órdenes ejecutadas sobre cualquier producto, práctica que se considera habitual en la industria de la atención a la salud⁶².

De otro modo, bajo un sistema de colaboración de la salud, en donde se comparten y entregan recursos médicos entre redes de hospitales, **Zheng, Yoon y Lu**⁶³ desarrollan un modelo matemático no lineal con el fin de disminuir la probabilidad de escases de inventario y los costos totales de transporte, junto a los de mantenimiento, sin afectar la fiabilidad deseada. Frente a la propuesta de éste modelo, un GA es desarrollado para hallar la solución óptima dentro un tiempo de ejecución aceptable, presentando en los resultados experimentales, que los costos la red de hospitales con un sistema centralizado pueden ser reducidos hasta en un 8% en comparación con una red manejada bajo una estrategia de no colaboración. Por último, se desarrolla un diseño experimental basado en la simulación, con el fin de probar el modelo y analizar su sensibilidad frente a distintas circunstancias relacionadas con la capacidad de almacenamiento, requisito de fiabilidad establecido y capacidad de los vehículos de transporte.

⁶² Ibid., p. 55.

⁶³ ZHENG, Bichen; YOON, Sang Won y LU, Susan. An optimization model for reliable healthcare inventory sharing network. *En*: Conferencia de Investigación de Ingeniería Industrial y de Sistemas. (2013, Universidad Estatal de Nueva York, Binghamton). Actas. A. Eds, Krishnamurthy y W.K.V. Chan, 2013. p. 1542-1551.

Incluyendo el diseño de una completa cadena de suministros, **Costantino, et al.**⁶⁴ formulan un modelo multiobjetivo basado en el método de grafos, solucionado por medio de la creación de un dígrafo referente al sistema diseñado, en que emplean nodos y aristas como representación de cada actor de la cadena y la relación existente entre cada uno de ellos respectivamente. Una vez estructurado el dígrafo se plantea la modelación del problema basada en la Programación Entera Mixta (MIP) definiendo las tres funciones objetivos para minimizar sólo el costo de la cadena de suministro, minimizar sólo tiempo de ejecución y por último, minimizar el costo y tiempo conjuntamente. En el modelo se registran restricciones de limitaciones estructurales, demanda (limitaciones de producción de proveedores), pedidos de emergencia y existencias en la cadena (inclusión de variables binarias).

6.1.2 Ruteo interno y externo de inventarios

En estudios realizados por **Dongjiu, et al.**⁶⁵ se presenta un modelo matemático enfocado en la construcción de una cadena de frío de productos farmacéuticos en una red de transporte de tipo *hub-and-spoke*. En el modelo se contemplan los nodos básicos y líneas transporte como principales factores para minimizar el costo total de transporte en toda la cadena de suministro, dividiendo el proceso de optimización en una primera fase que incluye la determinación de los candidatos para la selección de un único centro de distribución en donde una vez éste es seleccionado, su problema de localización es resuelto mediante el método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP). En la segunda fase, se determina el conjunto de candidatos para puntos de distribución, resolviendo el problema de ubicación y determinación de la cantidad de los puntos de salida de la mercancía, junto a su proceso de entrega mediante el ruteo de vehículos empleando la teoría de Grafos.

⁶⁴ COSTANTINO, et al. A model for the optimal design of the Hospital Drug Distribution Chain. *En: Health Care Management (WHCM)*, 2010 IEEE Workshop on. Febrero, 2010. p.1-6.

⁶⁵ IEEE NOVENA CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE INGENIERÍA DE NEGOCIOS ELECTRÓNICO. (9: 9-11, Septiembre, 2012: Hangzhou, China). Transport Hub-and-spoke Network Optimization Model Construction of Pharmaceuticals Cold-chain Logistics. Hangzhou : Zhejiang University, 2012. p. 304-307.

En cuanto a distribución interna, con una demanda promedio estimada, **Lamar, et al.**⁶⁶ realizan estudios relacionados con un problema de ruteo de inventarios (IRP), con el fin optimizar el sistema de entrega de ropa limpia en un hospital público para reducir costos y tiempos de ejecución, la idea principal es reducir al mínimo el desabastecimiento de estos recursos, así como, la distancia recorrida por los operarios de lavandería y distribución. La solución del modelo incluye un algoritmo de inserción para seleccionar las áreas tenidas en cuenta y otro algoritmo de la ruta más corta para indicar la ruta de distribución de cada área. Por otro lado, **Amaya Ciro, et al.**⁶⁷ desarrollan un modelo de simulación, en el que se evalúa el impacto de las mejoras realizadas en distintos escenarios modelados, a través del Software de simulación ARENA, la fase inicial del modelo incorpora el proceso de recorrido y entrega de ropa limpia a cada piso, la siguiente por su parte, indica el servicio que realizan los auxiliares de enfermería en la entrega de ropa limpia.

Adicional a esto, combinando el problema de distribución interna y externa, **Kergosien Y, et al.**⁶⁸ comparan los métodos metaheurísticos GA y Búsqueda Tabú (TS), para resolver un problema de enrutamiento de vehículos interconectados en un sistema hospitalario denominado 2-VRP (*Two interconnected Vehicle Routing Problem*). El problema enmarca la distribución de múltiple mercancía en una red de hospitales, en donde cada uno de éstos cuenta con un centro de distribución para cada recurso en flujo, ubicados en distintos edificios internos. La primera etapa del trabajo consiste en determinar la ruta óptima para la distribución entre hospitales, la segunda, dependiendo de las fechas de entregas arrojadas en la primera fase, establece las rutas de los

⁶⁶ LAMAR, et al. Optimización del sistema de entrega de linos en un hospital público por medio de un problema de ruteo de inventarios. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 18, p. 1-16.

⁶⁷ AMAYA, Ciro, et al. Simulación Del Proceso De Entrega De Ropa Limpia En Un Hospital De Bogotá. Diciembre 2008. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 6, p. 1-22.

⁶⁸ KERGOSIEN, Y, et al. Metaheuristic algorithms for solving two interconnected vehicle routing problems in a hospital complex. En: Computers & Operations Research. Enero, 2013. vol. 40, p. 2508–2518.

trabajadores en la distribución de los recursos entre los edificios del hospital, en tercera instancia, se calcula el mínimo número de trabajadores para la ejecución del sistema establecido. Por último, en el estudio es evaluada la calidad de las soluciones, comprando los métodos de solución seleccionados por medio de experimentos computacionales basados en datos reales.

6.2 SERVICIO DEL DEPARTAMENTO DE EMERGENCIA

6.2.1 Localización de centros de atención y puntos de distribución en situaciones de urgencia

Coskun y Erol⁶⁹ formulan un modelo de MIP, en el que se presenta un enfoque particular y de tipo estratégico al abarcar los costos que implica instalar cada estación, la compra de ambulancias y el valor presente neto de los gastos de funcionamiento de todo el sistema relacionado con el crecimiento poblacional a lo largo del horizonte de planificación. Las decisiones de localización son tomadas involucrando la densidad poblacional, distancias entre las regiones y número de la cobertura necesaria de cada estación según la región, el modelo además, es capaz de producir soluciones óptimas para grandes ciudades con hasta 130 distritos o regiones, desarrollado en un tiempo razonable gracias a la utilización del software de optimización LINGO. Distinto a este estudio, contemplando la localización en zonas rurales, **Landa Torres, et al.**⁷⁰ solucionan el problema mediante la formulación de un modelo en el que se contempla la accesibilidad geográfica para demandas estimadas según registros históricos o densidad poblacional de cada región, también se presenta como objetivo minimizar el costo total del sistema y la distancia recorrida sujeto a restricciones relacionadas con la

⁶⁹ COSKUN, Nusin y EROL, Rizvan. An Optimization Model for Locating and Sizing Emergency Medical Service Stations. En: Journal of Medical Systems. Febrero, 2010. vol. 34, p. 43-49.

⁷⁰ LANDA TORRES, et al. A multi-objective grouping Harmony Search algorithm for the optimal distribution of 24-hour medical emergency units. En: Expert Systems with Applications : An International Journal. 2013. vol. 40, p. 2343–2349.

distancia máxima recorrida, nivel máximo de capacidad de cada punto de emergencia y políticas del sistema.

En esta investigación, con el fin de reducir la dimensión del espacio de búsqueda, se emplea un enfoque heurístico que incluye la combinación de un algoritmo de búsqueda armónica con agrupación multiobjetivo (MOGHS) y la estrategia de clasificación de las soluciones arrojadas según el principio de Pareto-óptimo. En el modelo, además de los parámetros HMCR (Consideración de la Tasa de Memoria Armónica) y PAR (Intensidad de la Tasa de Ajuste), que por lo general controla el algoritmo de búsqueda armónica, se incluye un tercer parámetro denotado RSR (Tasa de Selección Aleatoria) que permite un mayor control y manejo probabilístico mediante el perfeccionamiento progresivo de las armonías.

De otra manera, basados en la MIP y enfocados en minimizar el número de instalaciones y distancias recorridas en la red de atención, **Menghao Xi, et al.**⁷¹ emplean una técnica metaheurística relacionada con la modificación del algoritmo de Búsqueda de Vecindad Variable (VNS) como solución al problema de instalación de varios puntos de centros de emergencia modelado como un problema de p -mediana básico y p -mediana modificado, teniendo en cuenta en éste último la restricción del tiempo y se incluye en la función objetivo el costo de instalación. Adicional a esto, la variación del algoritmo VNS se estructura en cuatro sub algoritmos, que combinan con éxito el esquema de VNS con mecanismos aleatorios o estocásticos. Referente al tema, **Xueping Li, et al.**⁷² realizan un revisión literaria, en el que citan los modelos y técnicas de solución, para distintos problemas como, el Problema de Localización de Cobertura Conjunta (LSCP), Problema De Localización de Cobertura Máxima (MCLP), Modelo de Estándar Doble (DSM), Problema de Localización de Máxima Cobertura Esperada

⁷¹ MENGHAO, Xi, et al. A Modified p -Median Model for the Emergency Facilities Location Problem and Its Variable Neighbourhood Search-Based Algorithm. En: Journal of Applied Mathematics. Abril, 2013. vol. 2013, 10 p.

⁷² XUEPING, Li, et al. Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. En: Mathematical Methods of Operations Research. Julio, 2011. vol. 74, p. 281–310.

(MEXCLP), Problema de Localización Máxima Disponibilidad (MALP), modelos de colas hipercubo, modelos dinámicos de asignación, modelos de cobertura gradual y modelos de cobertura cooperativa.

Ahora bien, teniendo en cuenta la ubicación de los puntos de atención y distribución de suministros ante una situación de emergencia así como la condición de incertidumbre de la demanda, **Weimin Ma** y **Zhi Zheng**⁷³ emplean un modelo de grafos no dirigidos para la localización de un punto de distribución de bienes, usando un algoritmo de optimización relativamente robusto, que tiene como objetivo hallar la mínima distancia total recorrida entre las instalaciones de emergencia y todos los nodos de demanda bajo las condiciones del tiempo de respuesta. La ubicación final de la instalación es determinada mediante la desviación relativa mínima entre el resultado de la optimización robusta y el resultado de optimización estándar en todas las situaciones posibles. Para el mismo problema aunque con un enfoque distinto, **Zhang, et al.**⁷⁴ aplican un Modelo de Optimización *Fuzzy* Multinivel, haciendo uso de la entropía de la información y del método AHP para calcular los pesos combinados de los índices que refleja el impacto de los diversos factores en el proceso de toma de decisión, en el estudio se valida la viabilidad y la veracidad del método utilizado, incluyendo como factores influyentes, la seguridad y fiabilidad del sistema logístico, condiciones de transporte, situación de la zona de desastre y entorno natural, a partir de los cuales se establece un sistema de índices de evaluación valorados subjetivamente según el criterio de expertos. Por último se estructura la matriz *fuzzy* de cada nivel para seleccionar el punto de ubicación óptimo dentro de las opciones dadas.

⁷³ SOFTWARE ENGINEERING AND SERVICE SCIENCE (ICSESS), IEEE 2nd International Conference on. (2: 15-17, Julio 2011: Beijing, China). A Relatively Robust Optimization Algorithm for Emergency Facility Location. Beijing International Convention Center. Julio, 2011. p. 243-246.

⁷⁴ International Conference on Energy and Environment Technology. (16-18, Octubre; Guilin, China). ZHANG, Jinhui, et al. Location Decision Model on Distribution Center of emergency Logistics for Emergency Event Based on Multilayer Fuzzy Optimization. 2009, p. 385-388.

Aumentando el número de instalaciones ubicadas, **Min Zhang y Jun Yang**⁷⁵ diseñan un Modelo de Redes para el suministro de productos perecederos, con el fin minimizar los costos de transporte y costos por pérdida de los productos que no pueden ser recuperados, para facilitar el modelamiento del problema, éste es transformado en un problema de complejidad media básica bajo ciertas restricciones y se ejecuta para su solución un algoritmo de remarcado que incluye ocho pasos iniciando con la aplicación del algoritmo de Dijkstra para obtener la ruta de la menor distancia dentro de la red. En la aplicación de éste algoritmo de remarcado mediante la marcación de nuevos vértices o con los vértices originales conectados a nuevos puntos de marcación, se limitan los posibles puntos de ubicación óptima, haciendo la solución del modelo relativamente más sencilla, se contempla que las instalaciones pueden estar situadas tanto en los puntos como en las aristas de la red y se asegura que un punto de demanda es atendido por una sola instalación.

Adicional a estos aportes, **Lee Eva, et al.**⁷⁶ describen en su investigación, el diseño y la implementación de un software sistemático de apoyo para decisiones relacionadas con la planeación estratégica y operativa de un sistema de distribución de suministros, acompañada de una optimización dinámica en tiempo real, mediante la integración de modelación matemática, simulación a gran escala, motores de optimización de gran alcance, herramientas de gráficos automáticos y una interfaz fácil de usar. Se modela el problema de asignación de recursos en los centros de distribución y se desarrolla una heurística de búsqueda local, teniendo en cuenta las restricciones de capacidad y de tiempo de respuesta, igualmente, se describe el modelamiento del problema de localización de los puntos de distribución con el fin de minimizar las distancias recorridas, empleando una heurística especializada enfocada en las características de un GA y una búsqueda

⁷⁵ Conference: Natural Computation, 2007. Third International Conference on, Volume: 1 (3: 24-27, Agosto, 2007: Hainan, China). Optimization Modeling and Algorithm of Facility Location Problem in Perishable Commodities Emergency System. 2007, 5 p.

⁷⁶ LEE, Eva K, et al. Modeling and Optimizing the Public-Health Infrastructure for Emergency Response. En: Interfaces. Septiembre - Octubre, 2009. vol. 39, p. 476–490.

voraz adaptiva. La herramienta presentada muestra una mayor eficiencia en casos reales debido al acoplamiento de los procesos de simulación y optimización desarrollado, situación que sigue siendo un reto para la comunidad científica debido a sus desafíos y condiciones.

Chunguang, et al.⁷⁷ en situaciones de ruteo que soporten la distribución de insumos ante incidentes de gran escala, exponen un modelo de programación no lineal multiobjetivo combinando mediante parámetros de ponderación en una sola función objetivo, intentando, maximizar la cantidad de productos transportado por rutas, minimizar el parámetro de repetición de la red y mantener el balance de la cantidad de flujo de carga en todo el sistema. El modelo es resuelto empleando el método de grafos y aplicando un GA en el que se adopta un cruce simétrico y una mutación de posición aleatoria para mejorar la capacidad de búsqueda del mismo. Para finalizar, mediante ejecución numérica el algoritmo propuesto es validado.

Por otro lado, teniendo en cuenta una demanda estimada según datos históricos, **Chao Zhao, et al.**⁷⁸ proponen un algoritmo heurístico de dos etapas para un problema de localización-ruteo que busca maximizar la satisfacción del cliente incurriendo en el menor costo total posible. Este método de solución se fija en un algoritmo de cobertura denominado *d-Cover Algorithm*, que incluye un conjunto de círculos cuyos radios son determinados a partir del tiempo de respuesta para cada demanda local. La intensidad media de estas demandas locales son definidas mediante la aplicación de la Convolución de Gauss, análisis que se ha aplicado eficientemente en diversos campos de prácticas, tales como el procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, teoría de la información, entre otros.

⁷⁷ CHANG, Chunguang, et al. Logistics Routes Optimization Model under Large Scale Emergency Incident. En: International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management (ICLSIM). (3: 9-10, Enero, 2010: Harbin, China). IEEE, 2010. p.1471-1475.

⁷⁸ ZHAO, Yan-Chao, et al. d-Cover Algorithm for Location in Urban Emergency Systems. En: 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT). (2: 17-18, Julio, 2010: Wuhan, China). IEEE, 2010. p. 434-437.

6.2.2 Proceso de despacho de suministros ante una emergencia

Con ánimos de mejorar la eficiencia de una política de despacho de recursos en una situación de emergencia, **Chen, Zhou, y Bai**⁷⁹ establecen un modelo matemático multiobjetivo con el propósito de minimizar el número de depósitos de despacho y el tiempo de respuesta después de ocurrida la emergencia, empleando la teoría de conjuntos difusos con la aplicación de un modelo de optimización *Fuzzy* resuelto a través de un algoritmo propuesto en cinco pasos, considerando las restricciones de capacidad de transporte, de almacenamiento y tiempo de respuesta. De otra manera, derivado del VRP y con el fin de minimizar la utilización de vehículos de emergencia, **López, Lanzarini y De Giusti**⁸⁰ incluyen un modelo de Optimización Evolutivo multiobjetivo resuelto mediante el uso de metaheurísticas como las técnicas NSGA II, SPEA2, PAES, varMOPSO, OMOPSO y SMPPO, el modelo es contemplado para tres escenarios dependiendo del tamaño del sistema, en donde además, un operador de perturbación es introducido para mejorar la veracidad de los resultados arrojados.

En un escenario más realista, **Zhao y Song**⁸¹ abordan el problema de planificación de suministros en el que se debe tomar la decisión de la cantidad a enviar de múltiples materiales a cada punto de demanda, resuelto a través de un GA que debido a las características del problema incluye la codificación de símbolos, un cruce especial y un operador de mutación probabilístico para garantizar la veracidad de la solución dada, validando el método mediante la utilización de la herramienta de MATLAB. Frente a otro entorno de distribución de alimentos de

⁷⁹ CHEN, Chao; ZHOU, Dequn y BAI, Yang. Resource Emergency Dispatching Mathematical Model under Transport Capacity Constraints. En: IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services (GSIS 2009). (10-12, noviembre, 2009: Nanjing, China). Memorias, IEEE, 2009. p.559-563.

⁸⁰ LÓPEZ, Javier; LANZARINI, Laura y DE GIUSTI, Armando. Evolutionary Multiobjective Optimization for Emergency Medical Services. En: Proceedings of the 13th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation. (13: 12-16, Julio, 2011: Dublin, Irlanda). Memorias. New York: ACM. p. 83-84.

⁸¹ ZHAO, Ming y SONG, Xiao-yu. Scheduling Optimization of Multi to Multi Emergency Supplies Model. En: 4th International Conference on Multimedia Information Networking and Security (MINES). (4: 2-4, Noviembre, 2012: Nanjing, China). Memorias. Guangjie Liu Nanjing University of Science & Technology, 2012. p. 521-524.

cereales ante una situación de emergencia, que podría estudiarse analógicamente para suministros médicos, **Zhan y Jianjun**⁸² proponen un algoritmo de Optimización de Enjambre por Partículas (PSO) de búsqueda global solucionado en siete pasos, con el objetivo de minimizar los costos y tiempos de respuesta, los resultados computacionales numéricos confirman la eficiencia de la metodología propuesta.

Abarcando el problema general y manejando la incertidumbre de la demanda, **Aharon, et al.**⁸³ exponen un enfoque basado en la utilización de la optimización robusta en donde sugieren una metodología para un plan logístico robusto de cadena de suministros médicos y de ayudas humanitarias, en el estudio el problema es descrito como la asignación de tráfico dinámico (DTA) en el que se analiza más específicamente la optimización de un sistema de tráfico con un flujo variable en el tiempo, resolviendo un problema de asignación dinámica (multiperiodo) para dar respuesta a la emergencia y agilizar la evacuación del tráfico. En la aplicación de la optimización robusta (RO) es incorporada una formulación de programación lineal basada en el desarrollo de un Modelo de Transmisión Celular (CTM), que adopta un criterio mínimo-máximo y en el que se realizan ciertos ajustes necesarios para su aplicación en los problemas de optimización dinámica. Cierta modelo es resuelto mediante el método “*Affinely Adjustable Robust Counterpart*” (AARC) que ofrece excelentes resultados en comparación con las soluciones deterministas y programación estocástica basada en muestreos.

como añadidura a estos estudios, con el fin de generar una planificación óptima de suministros que satisfaga la demanda total de pacientes y reduzca al mínimo los

⁸² BAO ZHAN, Biao y JIANJUN, Wu. A Particle Swarm Optimization Algorithm for Grain Emergency Scheduling Problem. En: Advances in Control and Communication. Enero, 2012. vol. 137, p. 483-488.

⁸³ AHARON, Ben-Tal, et al. Robust Optimization for Emergency Logistics Planning Risk Mitigation in Humanitarian Relief Supply Chains. En: Transportation Research Part B: Methodological. Septiembre, 2011. vol. 45, no. 8, p. 1177-1189.

retrasos, el tiempo de flujo y los gastos de puesta en marcha, **Chern, Chen y Kung**⁸⁴ emplean un modelo multicriterio desarrollado bajo las imitaciones de capacidad y plazos de entrega con dos enfoques de planeación de envío según el tipo de vehículo, en donde para la selección de rutas de entregas se desarrolla, el Algoritmo de la Ruta de distancia Mínima Round Robin (RRSPA) y el Algoritmo de la Ruta de Costo Mínimo (MCPA). Es propuesto como solución principal un algoritmo heurístico, denominado ERTPA (*Emergency Relief Transportation Planning Algorithm*), resuelto en cuatro pasos planteados, mostrando su eficacia mediante análisis computacional. Además de esto el estudio comprueba la no eficacia de la programación entera mixta como solución al modelo planteado.

6.2.3 Sistema de vehículos de emergencia

6.2.3.1 Localización de ambulancias

Doerner, et al.⁸⁵ describen la extensión de un modelo para la ubicación de un número determinado de ambulancia con cobertura doble, reimplantando un algoritmo de TS y el desarrollo de un Algoritmo de Colonia de Hormigas (ACO) con búsqueda local. La modificación del modelo consiste una distribución más equilibrada de ambulancias, respecto al número de habitantes asistidos, es decir, asignando densidades distintas de demanda en cada nodo, con el objetivo de maximizar la cobertura del servicio.

Sasaki, et al.⁸⁶ sugieren el desarrollo y aplicación de un modificado Algoritmo Genético de Agrupación (GGA) de dos grupos, para seleccionar el conjunto de ubicaciones óptimas de ambulancias, en donde se presenta un determinado número de alternativas de ubicación, de las instalaciones para un sistema logístico

⁸⁴ CHERN; CHEN y KUNG. A heuristic relief transportation planning algorithm for emergency supply chain management. En: International Journal of Computer Mathematics. Junio, 2010. vol. 87, no. 7, p. 1638-1664.

⁸⁵ DOERNER, et al. Heuristic Solution of an Extended Double-Coverage Ambulance Location Problem for Austria. En: Central European Journal of Operations Research. Diciembre, 2005. vol. 13, no. 4, p. 325-340.

⁸⁶ SASAKI, Satoshi, et al. A modified grouping genetic algorithm to select ambulance site locations. En: International Journal of Geographical Information Science. Mayo, 2011. vol. 25, no. 5, p. 807–823.

real, de caso regional. En otro estudio **Sasaki, et al.**⁸⁷ aplican la utilización de estos algoritmos en un enfoque estratégico de planificación, abarcando un problema de reubicación de ambulancias para escenarios futuros y comparando el impacto que tendrían estas modificaciones respecto al escenario actual. Dicha aplicación se basa en la predicción de la demanda, en la correlación entre factores demográficos y el crecimiento poblacional previsto, situación que varía en los estudios realizados por **Cheng, Rosbi, y Thomas**,⁸⁸ quienes, para el manejo de la demanda fluctuante en el tiempo presentan un modelo dinámico de reubicación de ambulancias, basados en una modificación del problema de localización de máxima cobertura (MCLP) incluyendo el nivel de servicio de respuesta y las ambulancias extras necesarias para su cumplimiento. Este estudio está enfocado en las políticas de despacho de ambulancias utilizadas comúnmente, en donde por medio de simulación, se demuestra que una adecuada implementación de éstas podría reducir significativamente el tiempo de respuesta a llamadas sin necesidad de aumentar el número de ambulancias.

Considerando la situación como el problema de la P-mediana, en donde también se conoce el número de ambulancias a instalar, **Michael y Janet Dzator**⁸⁹ discuten distintos algoritmos heurísticos primarios de solución, como el Algoritmo Miope (MA), Búsqueda en la Vecindad (NS) y Heurística de Intercambio (EH), además de presentar una nueva y eficaz heurística simple denominada Heurística con Reducción (RH), para un tamaño moderado del problema, en la que se aplica una reducción y un intercambio de procedimientos involucrados en los algoritmos anteriormente discutidos. Para finalizar se comparan los resultados de estas

⁸⁷ SASAKI, Satoshi, et al. Using genetic algorithms to optimise current and future health planning - the example of ambulance locations. En: International Journal of Health Geographics. 2010. vol. 9, no. 4, 10 p.

⁸⁸ CHENG SIONG Lim; MAMAT y Rosbi; BRAUNL, Thomas. Impact of Ambulance Dispatch Policies on Performance of Emergency Medical Services. En: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Junio, 2011. vol. 12, no. 2, p. 624-632.

⁸⁹ DZATOR, Michael y DZATOR, Janet. An effective heuristic for the P-median problem with application to ambulance location. En: Operational Research Journal. Enero - Marzo, 2013. vol. 50, p. 60-74.

heurísticas mediante la inclusión de datos reales además de comparar los resultados y el tiempo de computarización de la heurística propuesta con los del método *Branch-and-Bound* en donde se apoya la superioridad de ésta primera.

Variando ligeramente el problema, **Naoum Sawaya y Elhedhli**⁹⁰ introducen mediante una programación estocástica multiobjetivo, un modelo de dos etapas, la primera presenta el problema de ubicación óptima de ambulancias con una demanda de llamadas desconocida, y la segunda, pretende reducir al mínimo el número de llamadas que no son atendidas en el tiempo de respuesta estipulado, en donde para incluir la incertidumbre de la localización de las llamadas de emergencia, es representado un conjunto finito de escenarios aleatorios, basados en datos históricos. Las pruebas computacionales se realiza implementado MATLAB y se resuelve utilizando CPLEX 11.0.

Para finalizar de manera general, al considerar la planificación del recurso de ambulancias ante incidentes en grandes masas en un área específica, **Rauner, et al.**⁹¹ Presentan un modelo de simulación de eventos discretos, mediante la evaluación de escenarios reales de distintos tamaños y complejidad.

6.2.3.2 Asignación y ruteo de ambulancias ante una llamada de emergencia

Atkinson, et al⁹² abordan un método exacto y dos heurísticas para un sistema de teoría de colas M/M/n en la que se calcula de la probabilidad de que una llamada de emergencia entrante no pueda ser atendida por cualquier punto de emergencia distribuidos a lo largo de una autopista, el problema contempla un flujo de llamadas que sigue una distribución de Poisson y una distribución exponencial entre los tiempos de entrada de cada llamada. Por el contrario, cuando el flujo de

⁹⁰ NAOUM SAWAYA, Joe y ELHEDHLI, Samir. A stochastic optimization model for real-time ambulance redeployment. En: Computers & Operations Research. Febrero, 2013. vol. 40, p. 1972–1978.

⁹¹ RAUNER, Marion S, et al. Resource planning for ambulance services in mass casualty incidents: a DES-based policy model. Junio, 2012. vol. 15, p. 254–269.

⁹² ATKINSON, J. B, et al. Heuristic methods for the analysis of a queuing system describing emergency medical service deployed along a highway. En: Cybernetics and Systems Analysis. 2006. vol. 42, No. 3, p. 379-391.

llamadas no presenta un comportamiento exponencial el problema aumenta su complejidad en un alto grado, por lo que, **Guaracao, et al.**⁹³ diseñan un modelo para la optimización del uso de los recursos involucrados en la recepción de una llamada de emergencia para minimizar el tiempo de respuesta, el sistema es estudiado con el fin de identificar los aspectos críticos y la disponibilidad de los recursos empleando un modelo de simulación de eventos discretos usando el Software de simulación Arena, en el estudio también se realiza el análisis estadístico de los tiempos de las actividades ejecutadas en el sistema entre los días lunes y jueves en donde se logra una reducción del 45% en el tiempo de respuesta para el 90% de los casos actuales en el momento de la simulación.

Combinando la importancia de cálculo de la probabilidad de una llamada perdida en el sistema y la asignación de zonas para el despliegue de ambulancias sobre carreteras, con políticas de despacho de capacidad limitada, copia de seguridad parcial de atención y despacho múltiple de ambulancias, **Lannoni, Morabito y Saydam**⁹⁴ emplean un modelo de cola hipercubo modificado, e incorporan un GA para un problema de regionalización en donde se determina las áreas de respuesta óptimas a las que se debe enviar las ambulancias para cumplir con un tiempo de respuesta requerido y tratar de mantener un equilibrio entre las cargas de trabajo de los vehículos.

Bajo otro enfoque, abarcando el problema de ruteo de vehículos (VRP) de emergencia en respuesta a una llamada, **Li, Liu y Gao**⁹⁵ mediante el análisis del tiempo de ruteo, enfrentan un problema de Programación Restringida con Probabilidad Difusa (FCCP) cuya solución se basa en la teoría de la credibilidad

⁹³ GUARACAO, P, et al. Optimizing Resources Involved in the Reception of an Emergency Call. En: MEJÍA, GONZALO y VELASCO, NUBIA. Production Systems and Supply Chain Management in Emerging Countries: Best Practices. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Marzo, 2012. p. 115-137.

⁹⁴ IANNONI, Ana Paula; MORABITO, Reinaldo y SAYDAM, Cem. A hypercube queueing model embedded into a genetic algorithm for ambulance deployment on highways. En: Annals of Operations Research. Enero, 2008. vol. 157, p. 207–224.

⁹⁵ LI, Di; LIU, Guangli y GAO, Youjian. Uncertainty Optimization Model for Emergency Resource Scheduling. En: Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, KAM '09. (30, Noviembre - 01, Diciembre, 2009: Wuhan, China). vol.1, p. 55-58.

con tiempos difusos debido a la incertidumbre inmersa en la situación, contemplan asimismo que éstos pueden obedecer a distribuciones triangular, trapezoidal o simplemente empírica. Para resolver el modelo es diseñado un algoritmo híbrido inteligente en donde un algoritmo de Recocido Simulado (SA) es introducido para modificar la selección y operación de mutación de un GA con el fin de aumentar su velocidad de convergencia. La validez y racionalidad del algoritmo es desarrollado mediante análisis numéricos. De manera distinta, asumiendo la demanda conocida, **Sun, et al.**⁹⁶ aplican un GA para el cruce y mutación de un ACO propuesto, en donde el GA optimiza los parámetros del ACO incluyendo como restricciones el tiempo de respuesta y la capacidad asignación de los vehículos. Además de la propuesta, el modelo es sometido a pruebas de simulación en donde los resultados obtenidos muestran un mejor resultado en comparación a los obtenidos con el uso de un ACO tradicional.

En un caso de gran escala como una pandemia, en donde se incluyen las restricciones de tiempo de recogida hasta el punto de emergencia y de traslado hasta el hospital asignado, el traslado de hasta dos pacientes por vehículo y no se permite la desviación de un vehículo asignado hasta no terminar la ruta, **Majzoubi, Bai y Heragu**⁹⁷ modelan el problema como un problema de ruteo de vehículos con recogida y entrega (VRPPD) de MIP empleando métodos heurísticos, como un algoritmo de SA y otro de TS, finalmente para su validación el modelo es resuelto a través del optimizador CPLEX.

En el momento de asignación de ambulancias y diseño de rutas en un área urbana, **Elejalde del Rio y Ramírez**⁹⁸ estudian algunos modelos matemáticos

⁹⁶ SUN, Yunshan, et al. Application of Crossover Mutation Ant Colony Algorithm in Emergency Logistics Vehicle Routing Problem. *En: Systems and Informatics (ICSAI), 2012 International Conference on.* (19-20, Mayo, 2012: Yantai, China). IEEE, 2012. p. 86-89.

⁹⁷ MAJZOUBI, Farshad; BAI, Lihui y HERAGU, Sunderesh S. A Heuristic Method for Transporting Patients to Hospitals. *En: Proceedings of the 2013 Industrial and Systems Engineering Research Conference.*(18-22, Mayo, 2013: San Juan, Puerto Rico). 2013, p. 1737-1746.

⁹⁸ ELEJALDE DEL RÍO, Candy y CASTAÑEDA, Leila. Modelo para la asignación de rutas de ambulancias de la empresa Health Society S.A para la prestación de servicio en Bogotá. Bogotá D.C.: Universidad Libre. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial, 2010. 19 p.

desde distintos enfoques en donde buscan analizar diversas soluciones. Dichos enfoques utilizan el algoritmo heurístico de *Clarke y Wright* conocido como el “método del ahorro”, el algoritmo de *Floyd Warshall*, considerando aspectos de un *Traveling salesman Problem* (TSP), un modelo lógico de simulación y del problema del ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP), por último los costos incurridos en la solución de cada uno de estos enfoques son analizados y comparados. Adicional a estos, también para un área específica urbana, **Mohd Nordin, et al.**⁹⁹ contemplan la aplicación del Algoritmo A* (Algoritmo A asterisco¹⁰⁰) con el objetivo de recorrer la menor distancia posible, dentro de un tiempo de respuesta a de diez minutos máximo, desde un solo centro de atención. En estudios futuros **Mohd Nordin, et al.**¹⁰¹ realizan los experimentos computacionales, para la validación del sistema modelado, en donde desarrollan una interfaz utilizando la programación C #.

Mediante el método de grafos y enfocados en maximizar la cobertura de la demanda, tratando el clásico problema de ruteo y localización (LRP) **Ceselli, Righini y Tresoldi**¹⁰² denominan un problema de distribución y localización generalizado (GLDP), desarrollado como un Problema Maestro Restringido (RMP) para el que se desarrolla un algoritmo exacto basado en los algoritmos de *Brand-and-Cut-and-Price* y de GC con tres tipos de columnas. En la ejecución del algoritmo se incluyen algunas heurísticas primarias de programación dinámica avanzada y varias estrategias de ramificación para la solución rápida de ciertos sub problemas que se desarrollan. Este estudio se considera particular, ya que

⁹⁹ NORDIN, Noraimi, et al. An Application of the A* Algorithm on the Ambulance Routing. En: IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering Research. (5-6, Diciembre, 2011: Penang, Malaysia). IEEE, 2011. p. 855-859.

¹⁰⁰ El Algoritmo A* es clasificado como uno de los algoritmos de búsqueda en grafos. Presentado por primera vez en 1968 por Peter E. Hart, Nils J. Nilsson y Bertram Raphael.

¹⁰¹ NORDIN, Noraimi, et al. Finding Shortest Path of the Ambulance Routing: Interface of A* Algorithm using C# Programming. En: IEEE Symposium on Humanities, Science and Engineering Research. (24-27, junio, 2012: Kuala Lumpur: Malaysia). IEEE, 2012. p. 1569-1573.

¹⁰² CESELLI, Alberto; RIGHINI, Giovanni y TRESOLDI, Emanuele. Combined location and routing problems for drug distribution. En: Discrete Applied Mathematics. 2014. vol. 165, p. 130–145.

incluye la decisión de escoger entre dos estrategias de distribución, la más conveniente para cada centro de distribución ubicado.

En otro orden, para la asignación de hospital y ambulancia en una situación de evacuación simultánea de personas heridas en un punto de emergencia, **Amaldi, Coniglio y Iuliano**¹⁰³ crean un modelo de optimización de programación entera mixta derivado del problema de asignación de capacidad (Problema de la Mochila) y resuelto a través de la aplicación del método *branch and bound*, y la relajación de restricciones de integridad de algunas variables, en donde se siguen generando soluciones enteras. Para el problema de asignación de ambulancias es aplicado un algoritmo *Greedy*. Este modelo se plantea con fin de minimizar las distancias recorridas y mejorar las respuestas de tratamientos especiales, considerando, los niveles de capacidad de cada hospital, el número máximo de ambulancias, las especialidades que atiende cada hospital, el nivel de gravedad de cada paciente, entre otras restricciones que determina el sistema.

Teniendo en cuenta tanto la asignación de ambulancias y la escases de recursos ante una situación de brote pandémico, **Li Sun, DePuy y Evans**¹⁰⁴ analizan tres modelos de optimización enfocados en minimizar costos, el primer modelo considera la minimización de la distancia total recorrida en toda la red de atención, mediante la asignación de pacientes a cada hospital considerando la capacidad de los recursos físicos por medio de la restricción de límite de tiempo de estancia del paciente en el hospital. Derivado de este primer modelo se plantea un segundo, que añade el objetivo de minimizar la distancia máxima recorrida por paciente hacia el hospital, en el que se contempla la división del horizonte de planeación en horizontes más cortos, situación que permite agilizar el tiempo de ejecución computacional, añade flexibilidad en la actualización de datos y contribuye a una

¹⁰³ AMALDI, Edoardo; CONIGLIO, Stefano y IULIANO, Claudio. Optimization models for injured people evacuation in medium/maxi health-care emergencies. En: IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM). (18-20, Febrero, 2010: Venice, Italy). IEEE, 2010. 6 p.

¹⁰⁴ SUN, Li; DEPUY, Gail y EVANS, Gerald W. Multi-objective optimization models for patient allocation during a pandemic influenza outbreak. En: Computers & Operations Research. Noviembre, 2014. vol. 51, p. 350–359.

solución factible anticipada a la escases de recursos, por último, dado el caso de requerirlos, es presentado un modelo para la asignación de recursos adicionales. Para finalizar, **Kessler, et al.**¹⁰⁵ exponen un algoritmo de gestión para mejorar la transición de atención en el servicio de urgencias mediante el Modelo de Kern, metodología desarrollada en seis pasos.

6.2.4 Programación del personal en urgencias y unidades médicas

Aunque poco se ha encontrado en la revisión de este problema, **Topaloglu Seyda**¹⁰⁶ diseña un modelo de programación multiobjetivo para la programación de turnos de residentes médicos en el departamento de emergencia (EMR) mediante el método flexible de Programación por Metas (GP) en el que incluye restricciones duras y blandas establecidas para atender las necesidades personales de los residentes y las reglas establecidas por el hospital. La función objetivo busca minimizar las desviaciones de las restricciones blandas asignándoles un peso de importancia mediante el proceso de jerarquía analítica (AHP). De manera similar, con el objetivo de automatizar la creación de horarios mensuales de médicos, **Puente, et al.**¹⁰⁷ para superar las dificultades y complejidad que el problema implica, aplican un sistema de ponderación para las restricciones blandas y emplean como solución un método heurístico con un GA. El trabajo tiene de particular la combinación de tipos de horario: por turnos y de 24 horas, en donde una vez que se alcanza el óptimo, los resultados obtenidos se discuten en función del grado de satisfacción de las limitaciones y de la adaptabilidad del sistema.

De otra forma, mediante un modelo genérico y flexible, adaptable a distintas situaciones con características similares al caso que presentan, **Reveco y**

¹⁰⁵ KESSLER, Chad, et al. An Algorithm for Transition of Care in the Emergency Department. En: Academic Emergency Medicine : Official Journal of the Society Academic Emergency Medicine. Junio, 2013. vol. 6, p. 605-610.

¹⁰⁶ TOPALOGLU, Seyda. A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents. En: Computers & Industrial Engineering. Septiembre, 2006. vol. 51, p. 375–388.

¹⁰⁷ PUENTE, Javier, et al. Medical doctor rostering problem in a hospital emergency department by means of genetic algorithms. En: Computers & Industrial Engineering. Mayo, 2009. vol. 56, p. 1232–1242.

Weber¹⁰⁸ realizan para un hospital público un modelamiento de programación lineal con el fin de determinar el número del personal óptimo que permita mejorar el flujo de pacientes en la unidad y estructurar así la programación de los turnos médicos según la categoría de gravedad y especialidad de atención. El objetivo del modelo propuesto es la minimización de la desviación de la capacidad de requerida para la atención médica, solucionado mediante la implementación del software de optimización llamado ZIMPL y el Solver no comercial SCIP. Además de esto, en el estudio se estima la demanda futura con base en modelos de minería de datos.

Por otra parte, caracterizando el problema por la inclusión de decisiones a nivel estratégico y táctico, considerando una demanda conocida y constante en un caso aplicado, **Aguirre, Amaya y Velasco**¹⁰⁹ formulan el modelamiento a nivel estratégico de la determinación óptima de niveles del personal médico, enfermeras y auxiliares de enfermería en la unidad de emergencia. A nivel táctico se plantea un modelo multiobjetivo para la programación de los turnos de cada tipo de personal con los objetivos de minimizar los costos de asignación de turnos, maximizar el nivel de eficiencia y la satisfacción del personal asignado. Debido a la complejidad del problema no es posible determinar un óptimo global por métodos exactos, razón por la cual el problema es dividido en varios sub modelos independientes según el cargo del personal. Los modelos son programados en *Xpress-MP* y en *Microsoft Solver Foundation* obteniendo en ambos programas los mismos resultados y con un tiempo de computación considerado bajo.

¹⁰⁸ REVECO, Carlos y WEBER, Richard. Gestión de Capacidad en el Servicio de Urgencia en un Hospital Público. En: Revista Ingeniería de Sistemas. Chile, Septiembre, 2011. vol. 25, p. 57-75.

¹⁰⁹ AGUIRRE; AMAYA, Ciro y VELASCO, Nubia. Planeación y Programación del Personal del Servicio de Urgencias en un Centro Médico. . En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 14, 19 p.

Centrados en la atención médica general, **Topaloglu y Ozkarahan**¹¹⁰ mediante la programación entera mixta modelan el problema de programación de horas para residentes de un hospital teniendo en cuenta los turnos de día y noche, los tiempos de descanso, el reglamento de *Accreditation Council for Graduate Medical Education (ACGME)* y la clasificación de residentes según antigüedad. Dado que la solución directa de este problema es solo factible para un número reducido, se propone el método de CG que incluye un problema maestro que permite determinar los horarios individuales que minimice la suma de las desviaciones de los niveles de servicio deseados para los períodos diurnos y nocturnos, y un problema auxiliar se encarga de encontrar el conjunto de horarios factibles resuelto a través de la Programación de restricciones (CP). Para la automatización del mismo problema en una unidad pulmonar, **Topaloglu Seyda**¹¹¹ formula un modelo multiobjetivo resuelto mediante los métodos, secuencial y de ponderación, en donde se busca reducir las violaciones de las restricciones blandas minimizando los valores de las desviaciones de variables incorporadas en ellas. El modelo contempla el nivel de antigüedad de los residentes, y las restricciones relacionadas con los requisitos de cada cargo.

6.3 LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE ATENCIÓN

Centrados en presentar al paciente una mayor flexibilidad al momento de seleccionar el centro de atención y el mantenimiento mínimo número de pacientes en cada instalación, **Gu, Wang y McGregor**¹¹² asumen el problema de localización de centros de atención preventiva (PHCFL) en donde la accesibilidad del paciente es considerado el factor principal y de optimizar en el modelo, propuesto al integrar el método 2SFCA (*two-step floating catchment area*), el

¹¹⁰ TOPALOGLU, Seyda y OZKARAHAN, Irem. A constraint programming-based solution approach for medical resident scheduling problems. *En: Computers & Operations Research*. Enero, 2011. vol. 38, p. 246–255.

¹¹¹ TOPALOGLU, Seyda. A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare. Noviembre, 2009. vol. 198, p. 943–957.

¹¹² GU, Wei; WANG, Xin y MCGREGOR, Elizabeth. Optimization of preventive health care facility locations. *En: International Journal of Health Geographics*. Marzo, 2010. 16 p.

factor de distancia y el modelo competitivo de Huff. a partir de estas combinaciones se desarrolla un modelo biobjetivo basado en la eficiencia que tiene como fin maximizar el bienestar social mediante la consecución de una disposición óptima de los centros de salud y maximizar la cobertura de atención, finalmente el modelo es solucionado a través de un algoritmo de Intercambio mediante el uso de grupos de población.

Para el problema de localización de centros de atención de salud a largo plazo (LTCFLP) y con el objetivo de reducir al mínimo el número máximo de pacientes asignados a cada uno, **Marić, Stanimirović, y Božović**¹¹³ introducen un método híbrido eficiente combinando un Enfoque Evolutivo (EA) y el método de VNS modificado, al que denominan (VNS-EA), en el proceso, la mejor solución obtenida por el EA se utiliza como solución inicial para el desarrollo de algoritmo VNS, el que se realiza además, con un procedimiento de intercambio de búsqueda local, usado antes y durante el ciclo con el fin de dirigir al algoritmo hacia regiones de espacio con búsqueda prometedoras. Los resultados computacionales demuestran la eficiencia de este método propuesto y es comparado con algunas heurísticas antes planteadas.

Dentro de un presupuesto dado y con el fin de maximizar el número de pacientes atendidos según las condiciones, **Kim Guen y Kim Dae**¹¹⁴ a través de la programación entera, exponen un algoritmo heurístico basado en la relajación de Lagrange y en métodos de optimización subgradiente. En el problema se considera dos tipos de pacientes, pacientes de escasos recursos que solo pueden acceder a centros de atención pública y pacientes de medios y altos recursos, que pueden ser atendidos tanto en instalaciones públicas como privadas. Enfocados en la eficacia y eficiencia del sistema de atención de unidades de servicio médico

¹¹³ MARIĆ, Miroslav; STANIMIROVIĆ, Zorica y BOŽOVIĆ, Srdjan. Hybrid metaheuristic method for determining locations for long-term health care facilities. En: Annals of Operations Research. Enero, 2013. 21 p.

¹¹⁴ KIM, Dong-Guen y KIM, Yeong-Dae. A Lagrangian heuristic algorithm for a public healthcare facility location problem. En: Annals of Operations Research. Julio, 2013. vol. 206, p. 221–240.

especializado, **Siddhartha y Murray**¹¹⁵ introducen un modelo integral de optimización basado en la programación entera mixta, para el problema de ubicación de instalaciones y asignación de pacientes clasificados según su nivel de complejidad y gravedad. La función objetivo consiste en la minimización del costo total soportado por el sistema que incluye costo de admisión, viajes, alojamientos del personal, costos por pacientes no atendido y costos de penalización en caso de superar la capacidad de la unidad. El problema contempla además las limitaciones de recursos compartidos, un nivel de servicio para cada unidad según gravedad del paciente y es probado a partir de datos reales ingresados al software de solución CPLEX-OPL.

6.4 PROGRAMACIÓN DE SALAS DE CIRUGÍA

Denton, Viapiano y Vogl¹¹⁶ enfocados en la incertidumbre relacionada con el tiempo de ejecución de una cirugía, plantean mediante la MIP, un modelo de optimización estocástico de dos etapas, la primera considera el tiempo de inicio y secuenciación de las cirugías, la segunda por su parte, los tiempos de espera, inactividad y ejecución de cada operación. Para la solución local del problema planteado como una extensión del *newsvendor problem*, es propuesta una heurística de intercambio por parejas en donde se aprovechan los límites inferiores de la solución óptima y otra heurística basada en la media y la varianza del tiempo de cirugía para establecer la secuenciación. En el problema es contemplada la utilización de una sola sala de cirugía y considerando permisibles el uso de horas extras si es necesario.

Ahora bien, en el caso de tener varias salas de cirugías iguales disponibles, en donde se realizan cirugías independientes con tiempos de operación conocidos,

¹¹⁵ SIDDHARTHA, S. Syama y MURRAY, J. Côté. A comprehensive location-allocation method for specialized healthcare services. En: Operations Research for Health Care. Diciembre, 2012. vol. 1, p. 73–83.

¹¹⁶ DENTON, Brian; VIAPIANO, James y VOGL, Andrea. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. En: Health Care Manage Sci. Febrero, 2007. vol. 10, p. 13-24.

Veloza, et al.¹¹⁷ diseñan un algoritmo heurístico de fácil ejecución basado en el problema de funcionamiento de máquinas idénticas en paralelo, las soluciones obtenidas para asignación turnos se evalúan bajo tres medidas de desempeño, la utilización de las salas, número de trabajos tardíos y tiempo en que finaliza la última cirugía cada día. Finalmente la simulación del modelo es hecha con base en los algoritmos de máquinas de paralelo LPT (*Longest Processing Time*) y SPT (*Shortest Processing Time*). Por otra parte, en estudios enfocados tanto en los recursos humanos como en factores económicos, **Roland, et al.**¹¹⁸ resuelven el problema bajo las limitaciones del personal involucrado, por medio de la aplicación de GAs y un modelo matemático basado en la MIP considerando un problema *NP-Hard* en un contexto determinista, y que tiene como función objetivo tanto la minimización de costos como el uso de horas extras y de ejecución. Se describe un proceso de dos etapas, de planeación y programación, de igual forma se caracteriza y distingue principalmente la inclusión de las preferencias de los recursos humanos en los objetivos, teniendo en cuenta el bienestar médico.

Buscando una distribución uniforme en los tiempos de cirugías, **Van Essen, et al.**¹¹⁹ en su modelo intentan reducir al mínimo los intervalos de tiempo entre cada proceso de operación, de dos o más salas de cirugías, se discuten varios métodos exactos de programación lineal entera (ILP) aplicados a pequeños casos, se presentan además diferentes heurísticas en un proceso de mejoramiento, comenzando con cuatro heurísticas constructivas, a partir de las cuales se presentan otras de mejoras que perfeccionan de forma iterativa la solución inicial, tales como algoritmos de búsqueda local de SA y TS, por último se presentan heurísticas de enfoques combinados como la Heurística de Cuello botella móvil (SBH). Finalmente para estimar el efecto que la incertidumbre de la demanda y

¹¹⁷ VELOZA, et al. Implementación de reglas de despacho para la programación de cirugías en un hospital de Bogotá. En: Los cuadernos de PYLO : Logística Hospitalaria. 2008. vol. 7, 12 p.

¹¹⁸ ROLAND, B, et al. Scheduling an operating theatre under human resource constraints. Marzo, 2010. vol. 58, p. 212–220.

¹¹⁹ VAN ESSEN, J.T., et al. Minimizing the waiting time for emergency surgery. En: Operations Research for Health Care. Junio-Septiembre, 2012. Vol. 1, p. 34-44.

duración de las cirugías de emergencia e investigar la robustez de los horarios creados, se llevan a cabo un estudio de simulación, además los resultados computacionales muestran que el algoritmo de "Valores del Objetivo Fijos" puede reducir el tiempo de espera de cirugías de emergencia en aproximadamente un 10% en relación con el tiempo de espera real presentado.

Por otra parte, mediante un modelo de optimización multiobjetivo, **Pradenas y Matamala**¹²⁰ ejecutan el desarrollo computacional de un GA para una programación semanal de las salas de cirugías en un hospital público. En las funciones objetivos se pretende dar prioridad a los pacientes con mayor urgencia de atención y tiempo de espera, maximizar la cantidad de cirugías realizadas en el periodo de programación y hallar la solución óptima cercana a la frontera de Pareto. Este mismo problema es tratado con anterioridad por **Conforti, Guerriero y Guido**¹²¹, resuelto de igual forma mediante GAs por medio de un proceso sistemático de búsquedas iterativas empleando un algoritmo denominado NSGA - II, que no es más, que una versión mejorada del algoritmo NSGA (*Non-dominated Sorting Genetic Algorithm*). El modelo determina cuatro funciones objetivos relacionados con la mejora de utilización de recursos y prioridad de atención a pacientes según urgencia.

De igual forma, **Agnetis, et al.**¹²² modelan el problema de programación maestra de cirugías (MSSP) y el problema de asignación de especialidades quirúrgicas (SCAP) en donde analizan, a través de herramientas algorítmicas por el método de simulación, el efecto de diversas políticas de programación aplicadas a tres modelos planteados. El primero es un modelo fijo en el que solo se resuelve el

¹²⁰ PRADENAS ROJAS, Lorena y MATAMALA VERGARA, Exequiel. Una formulación matemática y de solución para programar cirugías con restricciones de recursos humanos en el hospital público. En: *Ingeniare : Revista chilena de ingeniería*. 2012. vol. 20, no. 2, p. 230-241.

¹²¹ CONFORTI, Domenico; GUERRIERO, Francesca y GUIDO, Rosita. A Multi-Objective Block Scheduling Model for the Management of Surgical Operating Rooms New Solution Approaches via Genetic Algorithms. En: *IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM)*. (18-20, febrero, 2010: Venice, Italy). IEEE, 2010. 5 p.

¹²² AGNETIS, A., et al. Long term evaluation of operating theater planning policies. En: *Operations Research for Health Care*. Diciembre, 2012. vol. 1, p. 95–104.

SCAP, el segundo, considera los dos problemas (SCAP y MSSP) bajo ciertas limitaciones del programa maestro, en el último modelo se resuelven estos mismos problemas dejando a un lado dichas restricciones. El proceso es desarrollado con una demanda predecible aleatoriamente con una distribución uniforme, el estudio busca como principal objetivos maximizar el uso de las salas sin recurrir a horas extras y realizar cada cirugía dentro de su tiempo límite de ejecución.

Ahora bien, solo para las cirugías electivas, **Wolff, Durán y Rey**¹²³ proponen cuatro métodos de solución dependiendo de las características del escenario en el que se desarrolle, el problema es dividido en tres subproblemas: elección del día de operación de cada paciente, la asignación de especialistas a cada operación y la secuenciación de las operaciones en un día. Se presenta primero un modelo de programación entera mixta cuya función objetivo contempla los criterios de prioridad del paciente y la igualdad de intensidad horaria diaria, modificando el criterio de prioridad se presenta un segundo modelo, es planteado también un algoritmo basado en un modelo de factibilidad y otro de tipo *Baccktracking*, empleados para solucionar el problema de asignación con calendarización y hallar las reglas de asignación más convenientes, respectivamente.

Incluyendo cirugías electivas y ambulatorias, con el fin de reducir las listas de esperas y aumentar la eficiencia de los recursos, **Marques, Captivo y Vaz Pato**¹²⁴ describen un modelo desarrollado a través de un GA basado en algoritmos genéticos con claves aleatorias sesgadas (BRKGA), enfocando el problema en dos criterios de optimización, la maximización de la utilización de la salas quirúrgicas y del número de cirugías programadas. El modelo considera el tiempo de operación conocido, varias salas de cirugías, y el tiempo de limpieza entre

¹²³ WOLFF Patrcio; DURÁN, Guillermo y REY, Pablo. Modelos de Programación Matemática Para Asignación de Pabellones Quirúrgicos en Hospitales Públicos. En: Revista Ingeniería de Sistemas. 2012. vol. 26, p. 23-48.

¹²⁴ MARQUES, Inés; CAPTIVO, Eugenia y VAZ PATO, Margarita. Scheduling elective surgeries in a Portuguese hospital using a genetic heuristic. En: Operations Research for Health Care. Junio, 2014. vol. 3, p. 59-72.

operaciones. Finalmente, **Holte y Mannino**¹²⁵ presentan un modelo general para la programación de horarios cíclicos de recursos de distintas especialidades médicas en un hospital como sala de cirugías, teniendo en cuenta la incertidumbre de la demanda de pacientes formulado como un problema de programación robusto y ajustable, desarrollado mediante la aplicación del algoritmo de generación de fila y columna. El modelo general es aplicado para la solución de programación maestra de cirugías (MSS) en un escenario real.

6.5 ASIGNACIÓN DE RECURSOS MÉDICOS

A manera de revisión, **Bretthauer y Shetty**¹²⁶ presentan el estudio de los algoritmos, aplicaciones y tratados computacionales, para el problema de mochila de programación no lineal, en donde consideran la aplicación y formulación de éste en el área de cuidado de la salud. El estudio incluye una variedad de estructuras del problema como, problemas con variables continuas y enteras, funciones cóncavas y convexas, separables y no separables, y por último, problemas con restricciones adicionales. Para cada tipo de modelo y estructura del problema se presentan distintos métodos de solución que son discutidos y comparados.

Bowers, Lyons y Mould¹²⁷ incorporan el desarrollo de un modelo de asignación de recursos para el servicio de transporte de pacientes no urgentes (STP) en áreas urbanas y rurales, el objetivo es la creación de una herramienta de apoyo práctica basada en subproblemas sencillos de optimización. El modelo inicia con el análisis de los datos históricos para identificar la distribución de la demanda, los tiempos de viaje estimados, luego se resuelve el problema de enrutamiento

¹²⁵ HOLTE, Matias y MANNINO, Carlo. The implementor/adversary algorithm for the cyclic and robust scheduling problem in health-care. En: European Journal of Operational Research. Mayo, 2013. vol. 226, p. 551–559.

¹²⁶ BRETTHAUER, Kurt M. y SHETTY, Bala. The nonlinear knapsack problem – algorithms and applications. En: European Journal of Operational Research. Mayo, 2002. vol. 138, p. 459-472.

¹²⁷ BOWERS, John; LYONS, Bob y MOULD, Gillian. Developing a resource allocation model for the Scottish patient transport service. En: Operations Research for Health Care. Diciembre, 2012. vol. 1, p. 84-94.

mediante una heurística simple basada en una serie de experimentos de simulación de Monte Carlo que reflejan la distribución geográfica de la demanda, comparada con un riguroso GA *Dial-a-Ride Problem* (DARP), para estimar los recursos requeridos es hecho mediante la simulación de Monte Carlo comparados de igual forma con una simulación abierta de ruteo de vehículos. Por último un módulo temporal es construido para la estimación de los recursos requeridos comparado con una simulación de rutas para vehículos abiertos.

En la modelación para la asignación y programación de camas para pacientes hospitalizados en un centro de salud oftalmológico, **Yajun Guo, et al.**¹²⁸ Se basan en el método de teoría de colas con múltiples servidores con índices de evaluación. En el estudio se describe el modelamiento y solución de la disposición de camas, el tiempo de espera de los pacientes y la razón de distribución de camas en el hospital. Por otro lado, considerado el mismo problema para pacientes con condición de aislamiento, **Christina Cignarale**¹²⁹ presenta dos modelos de optimización con el fin de programar el ingreso de los pacientes según la cantidad de recursos y minimizar los movimientos internos. El primer modelo permite determinar el número de habitaciones y recursos necesarios para garantizar un nivel de servicio, el segundo se basa en la demanda futura para estudiar el impacto que tiene la asignación de habitaciones y camas dentro de un periodo de planificación.

Enfocados en mantener altos niveles de rendimiento en distintos departamentos de un hospital, **Vermeulen, et al**¹³⁰. presentan una optimización adaptativa

¹²⁸ GUO, Yajun, et al. The Optimization Model of Hospital Sick Beds' Rational Arrangements. En: RONGBO ZHU, et al. Information Computing and Applications : International Conference, ICICA 2010, Tangshan, China, October 15-18, 2010. Proceedings, Part I. 2010. vol. 105, p, 40-47.

¹²⁹ CIGNARALE, Christina. Analysis and Optimization of Patient Bed Assignments within a Hospital Unit while Considering Isolation Requirements. Tesis maestría de Ciencias en Ingeniería Industrial. Rochester, NY, Estados Unidos: Kate Gleason College of Engineering, Departamento de ingeniería Industrial y de Sistemas, 2013. 90 p.

¹³⁰ VERMEULEN, I, et al. Adaptive Optimization of Hospital Resource Calendars. En: BELLAZZI, RICCARDO, et al. Artificial Intelligence in Medicine : 11th Conference on Artificial Intelligence in

automática y flexible para la programación específica de scanner computarizados para tomografías (CT- scan), recurso que se utiliza para pacientes de distintos departamentos mediante citas programadas. El modelado se hace basado en datos históricos e incluye los conjuntos de pacientes programados y clasificados según características y nivel de urgencia. Para el desarrollo del modelo se hace una gran simulación en la que se estudia distintos escenarios y enfoques del problema. Por otro lado, en una unidad de radiología de un hospital, **Carpente Adam, et al.**¹³¹ formulan modelos y algoritmos para determinar el impacto que tendría la demanda futura y actual en la realización de exámenes de Resonancia Magnética, con el fin de apoyar el procesos de programación de máquinas, identificar posibles mejoras y así maximizar el rendimiento de los exámenes. Adicional a esto, se constituye un modelo de simulación basado en datos reales con el fin de pronosticar la demanda de pacientes bajo distintos escenarios de acción.

6.6 PROGRAMACIÓN DE ADMISIONES

Helmi, Lapp y See¹³² combinan la aplicación de GAs y un modelo de simulación para la evaluación y estudio de los efectos que tienen el proceso de admisión en la gestión de los recursos, buscando la optimización de los parámetros del sistema, el estudio es contemplado debido a la gran variedad e incertidumbre de la demanda de pacientes y presenta como herramienta de toma de decisiones la generación de curvas eficientes de Pareto. En otros estudios de una clínica

Medicine, AIME 2007, Amsterdam, The Netherlands, July 7-11, 2007. Proceedings. 2007. vol. 4594, p. 305-315.

¹³¹ CARPENTE, Adam, et al. Managing magnetic resonance imaging machines: support tools for scheduling and planning. En: Health Care Management Science. Junio, 2011. vol. 14, no. 2, p. 158-173.

¹³² HELM, Jonathan; LAPP, Marcial y SEE, Brendan. Characterizing an effective hospital admissions scheduling and control management system: a genetic algorithm approach. En: Simulation Conference (WSC). (5-8, Diciembre, 2010: Baltimore, Maryland). Proceedings of the 2010 Winter. IEEE, 2010. p. 2387-2398.

ambulatoria de oncología-dermatología **Romero, et al.**¹³³ analizan la gestión operacional para el tratamiento de pacientes con cáncer de piel y estudian gracias a un modelo de simulación los distintos escenarios del proceso de admisión, programación de citas y asignación de recursos evidenciando una mejora significativa en el tiempo medio de espera entre el diagnóstico y tratamiento.

Por medio de un GA, **Ni Chen, et al.**¹³⁴ buscan optimizar una estrategia de ingreso a largo plazo y global en un departamento de oftalmología, presentando un modelo que tiene como objetivos maximizar la tasa de utilización de los recursos y la equidad del sistema. Además de esto, los resultados del modelo son comparados con las estrategias de gestión *First Come First Serve (FCFS)* y *Greedy* mostrando gracias a resultados experimentales la superioridad del algoritmo propuesto. Por su lado, **Lalit Garg, et al.**¹³⁵ dividen el flujo de pacientes en fases de atención para modelar el proceso de programación de admisión y planificación de recursos como una cadena de Markov de tiempo discreto, mediante la inclusión de covariantes dependientes del tiempo. El estudio parte de un modelo homogéneo propuesto anteriormente y es desarrollado a partir de éste, un modelo más realista no homogéneo y flexible.

De manera similar, en la programación de pacientes para tomografías computarizadas en un centro de diagnóstico, **Gocgun, et al.**¹³⁶ estudian un proceso de decisión de Markov multinivel de horizonte finito, con el objetivo de determinar una política de planificación óptima en la que se maximice el total de ingresos netos esperados. El desempeño de la política es comparado con varios

¹³³ ROMERO, H., et al. Admission and capacity planning for the implementation of one-stop-shop in skin cancer treatment using simulation-based optimization. En: Health Care Manag Sci. 2013. vol. 16, p. 75–86

¹³⁴ NI, Chen, et al. A Genetic Algorithm for the Optimization of Admission Scheduling Strategy in Hospitals. En: IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). (18-23 Julio, 2010: Barcelona, España). 2010, 5p.

¹³⁵ GARG, Lalit, et al. A non-homogeneous discrete time Markov model for admission scheduling and resource planning in a cost or capacity constrained healthcare system. En: Health Care Management Science. Junio, 2010. vol. 13, p. 155-169.

¹³⁶ GOCGUN, Yasin, et al. A Markov decision process approach to multi-category patient scheduling in a diagnostic facility. En: Artificial Intelligence in Medicine. Octubre, 2011. vol. 53, p. 73-81.

criterios de decisión heurísticos intuitivos mediante simulaciones, bajo diferentes valores de los parámetros de entrada.

Con el objetivo de maximizar el número de personas atendidos en un día, en el proceso de programación de tratamientos a pacientes, de máquinas y asignación de recursos, **Vlah, Lukac y Pacheco**¹³⁷ presentan un método heurístico que consiste en la versión reducida del algoritmo VNS denominado (RVNS), en donde se añade la idea de utilizar soluciones factibles y no factibles simultáneamente y omitir la parte de búsqueda local del VNS para reducir drásticamente el tiempo de ejecución. El modelo descrito se caracteriza por solucionar los objetivos sin necesidad de divididos en subproblemas demostrando con resultados experimentales su superioridad y eficiencia ante la aplicación de otros métodos. En el caso de asumir un mismo tiempo de ejecución para los tratamientos, **Stanford, et al.**¹³⁸ formulan el problema como un sistema de colas de propiedades acumulativas (APQ) estudiadas en función de la espera de los pacientes, el sistema es diseñado como un sistema de cola M/M/c y con una distribución de Poisson en las tasas de llegadas independiente para cada tipo de tratamiento. También se presenta un método que estudia la selección de los niveles óptimos de acumulación, que permita el máximo aprovechamiento posible de los recursos.

Con una perspectiva distinta, **Lotfi y Torres**¹³⁹ diseñan un modelo predictivo, basado en el análisis de árbol de decisiones en donde se evalúa la probabilidad de que un paciente no asista a la cita programada. En el estudio se comparan cuatro enfoques distintos de árboles de decisión de los cuales el método de árboles de clasificación y regresión (C & RT) presenta mejores resultados, además son comparados con un modelo de redes bayesianas (BN) y un modelo de red

¹³⁷ VLAH, S; LUKAC, Z. y PACHECO, J. Use of VNS heuristics for scheduling of patients in hospital. En: Journal of the Operational Research Society. Enero, 2011. vol. 62, p. 1227-1238.

¹³⁸ STANFORD, David A, et al. A multi-class multi-server accumulating priority queue with application to health care. En: Operations Research for Health Care. Junio, 2014. vol. 3, p. 73-79.

¹³⁹ LOTFI, Vahid y TORRES, Edgar. Improving an outpatient clinic utilization using decision analysis- based patient scheduling. En: Socio-Economic Planning Sciences. 2014. vol. 48, p. 115-126.

neuronal artificial (ANN). Por último, mediante la simulación por ordenador se evalúa el impacto de los diversos niveles de exceso de reservas sobre la utilización de la clínica utilizando horarios basado en el modelo predictivo.

Teniendo en cuenta el recurso de personal en una unidad de quimioterapia, por medio de la programación entera, **Condotta y Shakhlevich**¹⁴⁰ analizan un problema de optimización multicriterio, relacionado con las reservas y programación de citas atendidas en la unidad a través de una plantilla multinivel generada teniendo en cuenta las etapas de programación multidiaria y diaria. Se asume que cada cita involucra varias actividades de enfermería las cuales también deben ser programadas, presentando como objetivos la reducción de los tiempos de espera de los pacientes junto a los picos de carga de trabajo de las enfermeras. Además de presentar como resultado un procedimiento de programación eficiente, los modelos son resueltos usando CPLEX Solver. De manera similar, **Bilgin Burak, et al.**¹⁴¹ mediante la programación entera desarrollan un enfoque hiper-heurístico general para los problemas de programación de ingreso de pacientes y turnos de enfermería conjuntamente, presentando una mejora significativa en la programación de la admisión del paciente.

6.7 ATENCIÓN DE SALUD DOMICILIARIA

Considerando la capacidad de los vehículos, tiempos de ejecución del sistema, **Liu Ran, et al.**¹⁴² abordan dos modelos de MIP resueltos por un GA y otro de algoritmo de TS, donde el problema se plantea como uno de ruteo de vehículos con entrega y recogida simultánea de recursos para varios tipos de demandas.

¹⁴⁰ CONDOTTA, A. y SHAKHLEVICH. N.V. Scheduling patient appointments via multilevel template A case study in chemotherapy. En: Operations Research for Health Care. Septiembre, 2014. vol. 3, p. 129-144.

¹⁴¹ BILGIN, Burak, et al. One hyper-heuristic approach to two timetabling problems in health care. En: Journal of Heuristics. Junio, 2012. vol. 18, p. 401-4034.

¹⁴² LIU, Ran, et al. Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care. En: European Journal of Operational Research. Noviembre, 2013. vol. 230, p. 475-486.

Este problema en particular a diferencia de un enrutamiento común, tiene distintos puntos de entrega y recogida, y cada ruta por demanda cumple con unas restricciones independientes atendiendo una programación diaria. Además de esta programación, en la atención domiciliaria distintas tareas son asignadas y programadas al personal de enfermería, razón por la cual, **Bachouch, Guinet y Gabouj**¹⁴³ describen un método basado en la MIP con el objetivo de alcanzar el mayor equilibrio de la carga de trabajo incluyendo eventos impredecibles, resolviendo el modelo de programación computacionalmente y probado en casos aleatorios.

En un entorno estocástico, **Koeleman, Bhulai y Meersbergen**¹⁴⁴ estudian el problema de la planificación de personal modelando el sistema como un proceso de decisión de Markov en el que se incluye la duración de tratamiento por paciente. El modelo se considera lo suficientemente flexible para adaptarse a los diferentes perfiles de pacientes y servicios, mostrando que una heurística *trunk reservation* proporciona eficientes resultados para ser utilizada en la práctica. De otro modo, en una programación de enfermeras de atención continua (una sola enfermera es asignada al paciente en un periodo largo de atención) a pacientes críticos o con necesidades particulares, **Carello y Lanzarone**¹⁴⁵ desarrollan un modelo de asignación robusto con restricciones de cardinalidad, que tiene como objetivo reducir la utilización de horas extras del personal de atención teniendo en cuenta la incertidumbre de la demanda. El modelo desarrollado es resuelto a través del Solver CPLEX-OPL con datos reales demostrando ser capaz de producir soluciones de buena calidad con un esfuerzo computacional razonable.

¹⁴³ BACHOUCH, Rym; GUINET, Alain y HAJRI-GABOUJ, Sonia. An optimization model for task assignment in home health care. En: IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM). (18-20, febrero, 2010: Venice, Italy). IEEE, 2010. 6 p.

¹⁴⁴ KOELEMEN, P.M; BHULAI, S. y VAN MEERSBERGEN, M. Optimal patient and personnel scheduling policies for care-at-home service facilities. En: European Journal of Operational Research. Junio, 2012. vol. 219, p. 557-563.

¹⁴⁵ CARELLO, Giuliana y LANZARONE, Ettore. A cardinality-constrained robust model for the assignment problem in Home Care services. En: European Journal of Operational Research. Julio, 2014. vol. 236, p. 748-762.

Frente al mismo problema, incluyendo la aleatoriedad de la demanda relacionada con los pacientes ya asignados y aún no asignados a enfermeras de atención continua, **Lanzarone y Matta**¹⁴⁶ realizan la búsqueda de una política de gestión óptima que minimice la utilización de horas extras incurridas por las enfermeras. El problema consiste en la minimización de los tiempos suplementarios máximos de forma iterativa, analíticamente minimizando el aumento máximo de una función de costos estocástica que incluye costos variables. El problema es resuelto en el caso de un solo paciente y múltiples pacientes independientemente, considerando que la estructura de la política óptima podría ayudar a buscar el valor óptimo en los algoritmos basados en heurísticas adoptadas por problemas de gran escala.

Como un problema híbrido de programación de turnos de enfermeras y enrutamiento de vivistas a pacientes, **Bertels y Fahle**¹⁴⁷ exponen un modelo en el que combinan la programación lineal y programación de restricciones blandas y duras, todo, con el objetivo minimizar los costos de transporte y maximizar la satisfacción de los pacientes y enfermeras. En el estudio se emplea el uso de algoritmos híbridos simples como la Programación de Restricciones (CP), TS y SA, en donde especialmente, una combinación de programación de restricción y búsqueda tabú produce los mejores resultados globales en poco tiempo de ejecución. El concepto general es capaz de adaptarse a diversos cambios en la estructura de restricción, proporcionando así la flexibilidad necesaria en una herramienta genérica para los ajustes en una situación real.

De forma similar, **Hiermann, et al.**¹⁴⁸ generan soluciones iniciales a través de técnicas de programación de restricciones o aplicando un simple procedimiento de

¹⁴⁶ LANZARONE, Ettore y MATTA, Andrea. Robust nurse-to-patient assignment in home care services to minimize overtimes under continuity of care. En: Operations Research for Health Care. Junio, 2014. vol. 3, p. 48-58.

¹⁴⁷ BERTELS, Stefan y FAHLE, Torsten. A hybrid setup for a hybrid scenario combining heuristics for the home health care problem. En: Computers & Operations Research. Octubre, 2006. vol. 33, p. 2866-2890.

¹⁴⁸ HIERMANN, Gerhard , et al. Metaheuristics for solving a multimodal home-healthcare scheduling problem. En: Central European Journal of Operations Research. Mayo, 2013. 25 p.

construcción aleatorio, a partir de las cuales se hacen mejoras iterativas mediante la aplicación de uno de los cuatro algoritmos metaheurístico de VNS, algoritmo mimético (MA), búsqueda dispersa o híperheurística de recocido simulado (SAHH). Se demuestra a través de una comparación de ejecución computacional que el enfoque es capaz de resolver casos de la vida real en un tiempo razonable y produce soluciones válidas en tan sólo unos segundos. Para concluir, **Gutiérrez, et al.**¹⁴⁹ presentan una breve revisión de la literatura de los modelos y metodologías utilizados para apoyar las decisiones de logística relacionadas con el horizonte de planificación, las decisiones de gestión y los procesos del servicio.

6.8 PROGRAMACIÓN DE TURNOS DE ENFERMERÍA

Kawanaka, et al.¹⁵⁰ detallan la formulación y aplicación de un GA, en el que se define un método de codificación que abarca todas las restricciones establecidas y reduce drásticamente el área de búsqueda, al mismo tiempo, el enfoque es validado mediante una programación mensual basado en datos reales. Por otro lado, **Aickelin y Dowsland**¹⁵¹ presentan un GA con una codificación indirecta y un decodificador heurístico que construye los horarios teniendo en cuenta los cambios permitidos, también análisis computacionales con datos reales evalúan y comparan tres decodificadores diferentes y cuatro operadores de cruce conocidos. Los resultados son perfeccionados por la introducción de un operador de cruce híbrido y haciendo uso de los límites simples para reducir el tamaño del espacio de soluciones. El modelo aplicado es diseñado para una programación semanal de enfermeras y el enfoque muestra resultados eficaces en comparación con el método de TS.

¹⁴⁹ GUTIÉRREZ, E. Valentina; GUTIÉRREZ, Valentina y VIDAL, Carlos. Home Health Care Logistics Management: Framework and Research Perspectives. En: International Journal of Industrial Engineering and Management. 2013. vol. 4, no. 3, p, 173-182.

¹⁵⁰ KAWANAKA, Hiroharu, et al. Genetic Algorithm with the Constraints for Nurse Scheduling Problem. En: Congress on Evolutionary Computation. (2: 27-30, mayo, 2001: Seúl, Corea del Sur). Memorias. IEEE, 2001. p. 1123-1130.

¹⁵¹ AICKELIN, Uwe y DOWSLAND, Kathryn. An indirect Genetic Algorithm for a nurse-scheduling problem. En: Computers & Operations Research, Abril, 2004. vol. 31, p. 761-778.

Haciendo uso de la programación entera, **Aickelin y White**¹⁵² presentan el problema, comparando estadísticamente la aplicación de distintos GAs con el fin de realizar una heurística mejorada a partir del algoritmo que resulte más exitoso. Se demuestra además la superioridad de dicha mejora frente a algunos algoritmos evolutivos. Los algoritmos presentados usan dos enfoques, en primer lugar, con una codificación que se desprende directamente de la formulación de programación entera, y el segundo, mediante la combinación de un GA indirecto con una función de decodificador heurística separada (*separate heuristic decoder function*). Por otra parte, apoyados en un sistema de razonamiento basado en casos, **Kbeddoe, Petrovic y Li**¹⁵³ proponen un Algoritmo memético, que consiste en una hibridación de un GA y una generación de reparación basada en casos, que incide en la secuencia en que son reparadas las violaciones de restricciones. Dicho sistema de razonamiento, es considerado como una metodología de inteligencia artificial que busca obtener soluciones a problemas futuros basándose en soluciones anteriormente aplicadas a problemas similares, por lo que en el problema tratado, se intenta analizar y capturar los comportamientos antes presentados por el personal de programación, para resolver próximos problemas en la programación de enfermeras.

Modelando la preferencia de las enfermeras por medio de conjuntos difusos, conveniente cuando es necesario un juicio subjetivo, **Dueñas, Tütüncü y Chilcott**¹⁵⁴ presentan un enfoque híbrido flexible basado en un método de solución multiobjetivo de problemas de secuencia interactiva (SEMOPS) combinado con un GA. Por su parte, Teniendo en cuenta también dichas preferencias, requisitos de gestión y regulaciones gubernamentales además de

¹⁵² AICKELIN, Uwe y WHITE, Paul. Building Better Nurse Scheduling Algorithms. En: Annals of Operations Research. Abril, 2004. vol. 128, p. 159-177.

¹⁵³ KBEDDOE, Gareth; PETROVIC, Sanja y LI, Jingpeng. A hybrid metaheuristic case-based reasoning system for nurse rostering. En: Journal of Scheduling. Abril, 2009. vol. 12. No. 2, p. 99-119.

¹⁵⁴ DUENAS, Alejandra; TÜTÜNCÜ, Yazgi y CHILCOTT, James B. A genetic algorithm approach to the nurse scheduling problem with fuzzy preferences. En: IMA Journal of Management Mathematics. Octubre, 2009. vol. 20, p. 369-383.

presentar un modelo matemático para la programación de vacaciones, **Tsai y Lee**¹⁵⁵ proponen y aplican un GA como solución a un modelo basado en la programación no lineal entera mixta. Este enfoque es capaz de ajustar la función objetivo, limitaciones y su valor ponderado para aumentar la flexibilidad según sea el caso de aplicación. De forma similar, con un enfoque multiobjetivo, **Tsai y Li**¹⁵⁶ desarrollan dos etapas en su estudio, la primera en donde organizan los turnos laborales de descanso de las enfermeras y la segunda en la que aplican también un GA flexible para optimizar el proceso y validarlo.

Zhang, Hao y Huang¹⁵⁷ proponen un modelo de optimización flexible híbrido, que mezcla los algoritmos GA y VNS, en donde con el fin de reducir el espacio de búsqueda el problema es dividido en subproblemas. Inicialmente mediante el uso del GA híbrido se generan soluciones factibles que serán tomadas como soluciones de arranque para el algoritmo VNS, así mismo el problema tiene en cuenta restricciones duras y blandas haciendo estudios computacionales que demuestran la eficiencia del enfoque propuesto. Centrados en la equidad de carga laboral de las enfermeras, **Yang y Wu**¹⁵⁸ examinan un modelo de optimización multiobjetivo con restricciones duras, basado en un GA con un esquema de codificación específico y que en su proceso de selección para la siguiente generación propone cuatro modos distintos de operación. El método es implementado en el software *Impartial Schedule Targeted Nurse Scheduling System (ISTNSS)* para un caso de unidad real.

¹⁵⁵ TSAI, Chang-Chun y LEE, Cheng-Jung. Optimization of Nurse Scheduling Problem with a Two-Stage Mathematical Programming Model. En: Asia Pacific Management Review. Diciembre, 2010. vol. 15, p. 503-516.

¹⁵⁶ TSAI, Chang-Chun y LI, Sherman. A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem. En: Expert Systems with Applications. Julio, 2009. vol. 36, p. 9506-9512.

¹⁵⁷ ZHANG, Zebin; HAO, Zhifeng y HUANG, Han. Hybrid Swarm-Based Optimization Algorithm of GA&VNS for Nurse Scheduling Problem. En: Information Computing and Applications. 2011. vol. 7030, p. 375-382.

¹⁵⁸ YANG, Feng-Cheng y WU, Wei-Ting. A genetic algorithm-based method for creating impartial work schedules for nurses. En: International Journal of Electronic Business Management, Septiembre, 2012. vol. 10, no. 3, p.182-193.

En lugar de basarse en reglas existentes fijas, mediante el uso de horarios flexibles, **Li y Aickelin**¹⁵⁹ modelan el problema como una red bayesiana con una estructura de red fija, para el cual sugieren un algoritmo de optimización bayesiano en el que la probabilidad condicional de cada variable en la red se calcula de acuerdo con un conjunto inicial de soluciones prometedoras a partir de las cuales se generan todas las variables. Si no se cumplen las condiciones de parada, las probabilidades condicionales para todos los nodos de la red se actualizan de nuevo utilizando el conjunto actual de cadenas de reglas. Más adelante, estos mismos autores, **Aickelin y Li**¹⁶⁰ proponen un Algoritmo de Estimación de Distribución (AED) y realizan igualmente estudios computacionales que demuestran la eficiencia del enfoque. Con el mismo modelado probabilístico y condiciones, **Aickelin, Burke y Li**¹⁶¹ aplican un conjunto de reglas heurísticas para la asignación de cada enfermera proponen un memético (AED) adicionando un procesador de búsqueda local inteligente en donde una metodología *ant – miner* mejora las soluciones individuales producidas en cada generación.

Por otra parte, mediante un modelo flexible metaheurístico en el que se tiene en cuenta las consideraciones del personal a cargo de la planeación, **Ikegami y Niwa**¹⁶² contemplan la modelación del problema con un enfoque centrado en subproblemas, en el que las restricciones se establecen en una estructura de bloque angular y se intenta resolver los problemas para la programación dos y tres turnos, mediante la aplicación de algoritmos basados en la Búsqueda Tabú y el método de *Branch-And-Bound*. El modelo presenta como objetivo minimizar las violaciones de las restricciones dadas y clasificadas en dos grupos, restricciones

¹⁵⁹ JINGPENG, Li y AICKELIN, Uwe. A Bayesian Optimization Algorithm for the Nurse Scheduling Problem. En: The 2003 Congress on Evolutionary Computation. (3: 8-12, Diciembre, 2003). IEEE, 2003, p. 2149-2156.

¹⁶⁰ AICKELIN, Uwe y LI, Jingpeng. An estimation of distribution algorithm for nurse scheduling. En: Annals of Operations Research. Julio, 2007. vol. 155, no. 1, p, 289-309.

¹⁶¹ AICKELIN, Uwe; BURKE, EK y LI, Jingpeng. An estimation of distribution algorithm with intelligent local search for rule-based nurse rostering. En: Journal of the Operational Research Society. 2007. vol. 58, p. 1574, 1585.

¹⁶² IKEGAMI, Atsuko y NIWA, Akira. A sub problem-centric model and approach to the nurse scheduling problem. En: Mathematical Programming. Agosto, 2003. vol. 97, no. 3, p. 517-541.

de cambios de turnos y l restricciones de preferencias de enfermeras que buscan asegurar el bienestar del personal. Igualmente, considerando estas preferencias, en una programación de horarios cíclicos, **Bard y Purnomo**¹⁶³ sugieren y ponen a prueba una heurística basada en la función de relajación de Lagrange para la relajación de las restricciones de preferencia y limitaciones de la demanda. Ahora bien, enfocados en encontrar soluciones a la programación entera de gran escala desarrollan un algoritmo híbrido que comprende tanto procedimientos heurísticos y métodos exactos como el mencionado anteriormente *Branch-and-Bound* sustituido esta vez por una estrategia de ramificación heurística que incluye el método de *Bundle*, heurística cota superior y un procedimiento de fijación variable.

Teniendo en cuenta algunas políticas sugeridas en la literatura, preferencias de enfermeras, condiciones ergonómicas y objetivos del hospital para minimizar el número de horas extras, **Azaiez y Al Sharif**¹⁶⁴ sugieren un modelo de programación por metas lineal 0-1 (binaria) cuya función objetivo consiste en minimizar la suma de las desviaciones ponderadas de los objetivos correspondientes. El modelo es adaptado a un caso real que cumple con restricciones duras y blandas, presentado en estudios experimentales mediante el software LINGO. Por el contrario, contemplando nuevas características y combinaciones de turnos en la literatura, **Burke Edmund, et al.**¹⁶⁵ presentan y evalúan un método de solución de dos etapas que incluye un algoritmo de inicialización en el que se tienen en cuenta el cumplimiento de las restricciones duras y una metaheurística de TS híbrida eficaz para establecer los cambios requeridos. El modelo tiene en cuenta las necesidades de descanso de personal, categoría o clasificación de enfermeras, restricciones duras y blandas a través de un enfoque flexible.

¹⁶³ BARD, Jonathan F. y PURNOMO, Hadi W. Cyclic preference scheduling of nurses using a Lagrangian-based heuristic. En: Journal of Scheduling. Febrero, 2007. vol. 10, no. 1, p. 5-23.

¹⁶⁴ AZAIEZA M.N. y AL SHARIF, S. A 0-1 goal programming model for nurse scheduling. En: Computers & Operations Research. Marzo, 2005. vol. 32, no. 3, p. 491-507.

¹⁶⁵ BURKE, Edmund K, et al. Metaheuristics for handling time interval coverage constraints in nurse scheduling. En: Applied Artificial Intelligence. Octubre, 2006. vol. 20, p. 743-766.

Gutjahra y Raunerb¹⁶⁶ presentan un enfoque de optimización ACO para este problema de programación de horarios diarios no cíclicos, formulan una estrategia de optimización dinámica, en donde se tiene en cuenta los costos de asignación y una configuración de parámetros flexible. Por último, se presenta un proceso de simulación en el que se evalúan tres escenarios distintos con el objetivo de validar el algoritmo y compararlo con un algoritmo simple Greedy. **Wu, et al.**¹⁶⁷ proponen un ACO denotado ACO-NR en la que una función heurística se diseña para guiar el comportamiento de construcción de rutas y otra de penalización para manejar las restricciones del problema, empleando experimentos computacionales donde el método propuesto es comparado con otros algoritmos sustentados.

Empleando una programación multiobjetivo en una unidad de oftalmología, enfocados en satisfacer las necesidades del personal médico sujeto a reglamento de trabajos y capacidad de mano de obra, **Landa y Le**¹⁶⁸ presentan un algoritmo evolutivo simple con un decodificador auto adaptable para el manejo de las restricciones duras junto a una estrategia de regeneración. Ahora, para programación de horarios individuales, **Li, Aickelin y Burke**¹⁶⁹ exponen un método heurístico de búsqueda local basado en los componentes que componen a los horarios, con dos estrategias de eliminación evolutiva que imitan la selección natural y el proceso de mutación natural, combinando las características de mejora iterativa y perturbación constructiva para evitar quedar atrapados en mínimos locales. Se ejecutan los pasos de la evaluación, eliminación y reconstrucción hasta que se alcanza una condición de parada, el objetivo de la eliminación es

¹⁶⁶ GUTJAHR, Walter J. y RAUNER, Marion S. An ACO algorithm for a dynamic regional nurse-scheduling problem in Austria. En: Computers & Operations Research. Marzo, 2007. vol. 34, no. 3, p. 642-666.

¹⁶⁷ WU, Jie-Jun, et al. An Ant Colony Optimization Approach For Nurse Rostering Problem. En: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). (13-16, Octubre, 2013: Manchester, Reino Unido). IEEE, 2013. p.1672-1676.

¹⁶⁸ LANDA SILVA, Dario y LE, Khoi N. A Simple Evolutionary Algorithm with Self-adaptation for Multi-objective Nurse Scheduling. En: Adaptive and Multilevel Metaheuristics. 2008. vol. 136, p. 133-155.

¹⁶⁹ LI, Jingpeng; AICKELIN, Uwe y BURKE, Edmund K. A Component-Based Heuristic Search Method with Evolutionary Eliminations for Hospital Personnel Scheduling. En: INFORMS Journal on Computing. 2008. vol. 21, 12 p.

transformar una solución completa en una solución parcial que se alimenta a continuación en la heurística de reconstrucción para dar paso a la fase de reparación.

Con el objetivo de enmarcar el tema y los estudios realizados décadas atrás a su publicación, **Cheang, et al.**¹⁷⁰ presentan un breve resumen bibliográfico de distintos modelos y métodos empleados para resolver el problema de programación de turnos de enfermeras. **Cheng, et al.**¹⁷¹ ilustran cuantitativamente un conjunto de algoritmos de planificación tradicionales desde el punto de vista de la programación de tareas de los cuidados diarios. En el estudio se modela un conjunto de reglas de secuenciación individuales como la (FCFS), Fecha de Vencimiento más Temprana (EDD), Tiempo de procesamiento máximo (MPT), extensión del MPT, Tiempo de holgura SLACK, y extensión del SLACK. Se evalúa sus similitudes mediante la comparación de los tiempos promedios de ejecución del escenario previsto con el actual.

Centrados en la minimización de la cantidad de enfermeras, **Beliën y Demeulemeester**¹⁷² exponen un modelo aplicado al proceso de planificación de horarios del personal y salas de cirugías conjuntamente, en donde la distribución de la carga de trabajo es determinada por la programación maestra de la sala de cirugía. Presentan una solución basada en el algoritmo de *Branch-and-Price* que inicia con la aplicación de una heurística que establece una solución inicial a la programación de horario de cirugías, con la idea de nivelar la distribución de la carga de trabajo tanto como posible. Se presentan también experimentos computacionales mediante simulación que demuestran la eficiencia del algoritmo

¹⁷⁰ CHEANG, B., et al. Nurse rostering problems-a bibliographic survey. En: European Journal of Operational Research. Diciembre, 2003. vol. 151, no. 3, p. 447-460.

¹⁷¹ CHENG, Mingang, et al. Analysis of Daily Nursing Care: a Nursing Care Scheduling Algorithm. En: The 17th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2008. ROMAN. (17: 1-3, Agosto, 2008: Munich, Alemania). IEEE, 2008. p. 193-200.

¹⁷² BELIEN, Jeroen y DEMEULEMEESTER, Erik. A branch-and-price approach for integrating nurse and surgery scheduling. En: European Journal of Operational Research. Septiembre, 2008. vol. 189, no. 3, p. 652-668.

propuesto. Aplicando el mismo método de *Branch-and-Price*, **Maenhout y Vanhoucke**¹⁷³ construyen un modelo de programación aplicando como solución, un enfoque de generación de columnas ejecutado mediante análisis computacionales. En la presentación del problema, estos autores resaltan distintas contribuciones como la asignación del personal a largo plazo, incorporación de distintas características del personal mediante una plantilla heterogénea, integración del personal de distintos departamentos, consideración de costos, preferencias de enfermeras y opiniones y perspectivas de pacientes.

Con el fin de satisfacer la cobertura de la demanda y satisfacción del personal mediante el uso de la programación entera, **Topaloglu y Selim**¹⁷⁴ presentan tres modelos difusos de programación por metas (FGP) en el que se usan enfoques de solución Fuzzy para tratar la incertidumbre relacionada con cada objetivo y se aplican los modelos a casos reales para su validación. **Altamirano, et al.**¹⁷⁵ abordan el problema de programación de enfermeras de anestesiología (ANSP) y proponen un enfoque de optimización por enjambre de partículas (PSO) de programación no lineal en dominios discretos con el objetivo de maximizar la equidad de la programación y la satisfacción de las enfermeras. Para orientar mejor la búsqueda del algoritmo se define una nueva función de evaluación que busca soluciones de calidad, finalmente el algoritmo es evaluado a través de datos reales.

¹⁷³ MAENHOUT, Broos y VANHOUCHE, Mario. An integrated nurse staffing and scheduling analysis for longer-term nursing staff allocation problems. En: Omega. Abril, 2013. vol. 41, no. 2, p. 485-499.

¹⁷⁴ TOPALOGLU, Seyda y SELIM, Hasan. Nurse scheduling using fuzzy modeling approach. En: Fuzzy Sets and Systems. Junio 2010. vol. 161, no. 11, p. 1543-163.

¹⁷⁵ ALTAMIRANO, Leopoldo, et al. A PSO algorithm to solve a Real Anaesthesiology Nurse Scheduling Problem. En: International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR). (7-10, Diciembre, 2010: Paris, Francia). IEEE, 2010. p. 139-144.

Mobasher¹⁷⁶ buscando optimizar la programación de enfermeras en una clínica general, plantea un modelo multiobjetivo de programación entera binaria que intenta minimizar costos, insatisfacción del paciente así como tiempos de inactividad y maximizar la satisfacción laboral de las enfermeras, asignándole a cada objetivo un peso de importancia relativa a través del método de Proceso Analítico Jerárquico, donde como solución se propone una programación por metas no ponderada de dos etapas empleando metodologías de solución robusta. Para el caso en la asignación del personal a salas de cirugías, desarrolla modelos de optimización de programación entera mixta basados en diversos atributos como especialidades de casos, complejidad de los procedimientos y el nivel de habilidad de enfermería, así como las asignaciones de tiempo de almuerzo. Para resolver el modelo se aplican métodos heurísticos, además, un algoritmo de CG en un caso aplicado.

En un modelo de optimización multiobjetivo, **Shahrezaei, et al.**¹⁷⁷ proponen dos metaheurísticas, un algoritmo de evolución diferencial (DE) y un procedimiento codicioso aleatorizado adaptativo de búsqueda (GRASP) cuya eficiencia es comprobada mediante la solución de dos problemas con datos reales. **Ebru Yilmaz**¹⁷⁸ enfocados en asegurar un tiempo de descanso por lo menos después de cada turno y minimizar el tiempo total de espera e inactividad de las enfermeras, presentan un modelo flexible ajustable a distintos horizontes de planeación en el que se consideran tres turnos de ocho horas diarias con un número máximo y mínimo de enfermeras permisibles. El modelo es desarrollado con un ejemplo numérico e introducido al software de optimización LINGO en el que se halla una solución óptima global.

¹⁷⁶ MOBASHER, Arezou. Nurse Scheduling optimization a general clinic and an operating suite. Tesis de Doctorado en Filosofía en Ingeniería Industrial. Houston: University of Houston. Facultad del departamento de ingeniería industrial. 2011. p, 210.

¹⁷⁷ P. SHAHNAZARI Shahrezaei, et al. A differential evolution algorithm developed for a nurse scheduling problem. En: South African Journal of Industrial Engineering. 2012. vol. 23, no. 3. p. 68-90.

¹⁷⁸ YILMAZ , Ebru. A Mathematical Programming Model for Scheduling of Nurses' Labor Shifts. En: Journal of Medical Systems. Abril, 2010. vol. 36, p. 491-496.

Con el fin de minimizar el uso de horas extras, tiempo de inactividad, retrasos y cambios de trabajo en la asignación de la enfermera durante el día, **Lim y Mobasher**¹⁷⁹, presentan un modelo multiobjetivo encargado de la asignación de enfermeras en salas de operaciones y programación de horarios de almuerzos, incluyendo una heurística rápida post-procesamiento de mejora viable para los problemas de programación real. En un entorno determinista, **Landa Silva, et al.**¹⁸⁰ sugieren un procedimiento heurístico basado en sucesivas resoluciones de asignación de enfermeras denominado MAPA (*Multi - Assignment Problem - Based Algorithm*), dividido en una primera fase constructiva y otra segunda de mejora. El método es considerado flexible y suficientemente robusto para atender una amplia gama de restricciones. **M'Hallah y Alkhabbaz**¹⁸¹ presentan los resultados obtenidos en un estudio aplicado a un caso real, en el cual proponen un modelo de optimización de programación entera mixta, que tiene en cuenta las preferencias del personal y define como objetivo principal minimizar el número de enfermeras subcontratadas en un periodo de planificación semanal. En el estudio se muestra además, mediante estudios computacionales, la simplicidad de generación automática de horarios.

Buyukozkan y Sarucan¹⁸² realizan el primer acercamiento en la literatura de un algoritmo ABC (Algoritmo de colonia de abejas) presentado y aplicado al problema desarrollado en diferentes ambientes de trabajo reales, el método propuesto empieza con una solución inicial organizada al azar a partir de la cual el algoritmo

¹⁷⁹ LIM, Gino y MOBASHER, Arezou. Operating Suite Nurse Scheduling Problem: A Heuristic Approach. En: Proceedings of the 2012 Industrial and Systems Engineering Research Conference. (19-23, Mayo, 2012: Orlando, Florida). 2012.

¹⁸⁰ LANDA-SILVA, Dario, et al. A heuristic algorithm based on multi-assignment procedures for nurse scheduling. En: Annals of Operations Research. Abril, 2013. vol. 218, no. 1, p. 165-183.

¹⁸¹ M'HALLAH, Rym y ALKHABBAZ, Amina. Scheduling of nurses: A case study of a Kuwaiti health care unit. En: Operations Research for Health Care. Marzo-Junio, 2013. vol. 2 no. 1-2, 19 p.

¹⁸² BUYUKOZKAN, Kadir y SARUCAN, Ahmet. Applicability of artificial bee colony algorithm for nurse scheduling problems. En: International Journal of Computational Intelligence Systems. Octubre, 2013. vol. 7, p. 121-136.

empieza a trabajar. Bajo el mismo enfoque, **Todorovic y Petrovic**¹⁸³ presentan un ABC que alterna y combina fases de búsquedas locales y constructivas, realizando un descarte de las áreas en donde se predice según movimientos anteriores que no se encontraran soluciones factibles. En la fase constructiva los cambios imprevistos son programados a las enfermeras disponibles mientras que en las locales se busca la mejor opción, el método propone cuatro tipos de búsquedas locales y se muestra eficiente al ser comparado con otros algoritmos presentados.

En un periodo de planificación mensual, un problema a gran escala y numerosas restricciones complejas, **Huang Han, et al.**¹⁸⁴ presentan y simulan en un entorno determinístico un algoritmo evolutivo, en el que se agrupan las restricciones en dos grupos según características, generando en primera instancia una solución inicial mediante la programación entera que conduce la aplicación de dicho algoritmo. Además de esto, en el estudio se presenta un operador de mutación eficiente que intenta agilizar la búsqueda de soluciones factibles. Por otra parte, **Hadwan, et al.**¹⁸⁵ proponen un Algoritmo de Búsqueda Armónica evaluado en dos grupos de problemas distintos, el primer grupo está relacionado con un hospital real en donde se contemplan casos con restricciones duras y blandas, comparando sus resultados los de un clásico GA. El segundo grupo consiste en problemas presentados previamente en la literatura solucionados con el fin de comparar los resultados del enfoque con los hallados anteriormente.

¹⁸³ TODOROVIC, Nikola y PETROVIC, Sanja. Bee Colony Optimization Algorithm for Nurse Rostering. En: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. Marzo, 2013. vol. 43, no. 2, p. 467-473.

¹⁸⁴ HUANG, Han, et al. An evolutionary algorithm based on constraint set partitioning for nurse rostering problems. En: Neural Computing and Applications. Junio, 2014. vol. 25, no. 3-4, p. 703-715.

¹⁸⁵ HADWAN, Mohammed, et al. A harmony search algorithm for nurse rostering problems. En: Information Sciences. Junio, 2013. vol. 233, p. 126-140.

En un caso aplicado, teniendo en cuenta los costos de programación y satisfacción del personal, **Wright y Mahar**¹⁸⁶ presentan y analizan el impacto que tiene la implementación de un modelo no lineal multiobjetivo de centralización de la programación de enfermeras de distintas unidades, desarrollado en el software de optimización GAMS/CPLEX. Como complemento a estos estudios, centrados en la programación de enfermeras para la atención de pacientes adultos con enfermedades agudas en una extensa área, **Fabrellas, et al.**¹⁸⁷ presentan un análisis de eficiencia de una serie de algoritmos de gestión aplicados durante un periodo de dos años.

En estudios conjuntos, considerando que en cualquier día del período de planificación actual, una o más enfermeras notifiquen su ausencia por uno o más días y sea necesario reconstruir la lista de tareas asignadas, **Moz y Vaz Pato**¹⁸⁸ mediante la formulación de programación lineal entera describen la situación como un problema de flujo multiservicio a través de modelo de redes, realizando una primera aproximación de solución gracias a la aplicación de una heurística constructiva basada en la configuración de reglas jerárquicas para imponer restricciones coercitivas y así generar una solución factible. Dado que no hay garantía de que la heurística alcance dicha solución, también se realizan pruebas usando el optimizador CPLEX. Posteriormente, **Moz y Vaz Pato**¹⁸⁹ presentan resultados computacionales derivados de la programación lineal binaria (BLP) con datos reales de un hospital público con el fin de comparar sus resultados.

¹⁸⁶ WRIGHT, Daniel y MAHAR, Stephen. Centralized nurse scheduling to simultaneously improve schedule cost and nurse satisfaction. En: Omega. Diciembre, 2013. vol. 41, no. 6, p. 1042-1052.

¹⁸⁷ FABRELLAS, Núria, et al. A program of nurse algorithm-guided care for adult patients with acute minor illnesses in primary care. En: BMC Family Practice. Mayo, 2013. vol. 14, 8 p.

¹⁸⁸ MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. An integer multicommodity flow model applied to the rostering of nurse schedules. En: Annals of Operations Research. Marzo, 2003. vol. 119. No. 1-4, p. 285-301.

¹⁸⁹ MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. Solving the Problem of Rerostering Nurse Schedules with Hard Constraints: New Multicommodity Flow Models. En: Annals of Operations Research. Abril, 2004. vol. 128, no. 1-4, p. 179-197.

Bajo otra perspectiva de solución, teniendo en cuenta restricciones duras, **Moz y Vaz Pato**¹⁹⁰ describen y validan heurísticas constructivas, además de varias versiones de AGs básicos cuya diferencia radica en la codificación de permutaciones (*natural o random keys*) y operadores genéticos utilizados en cada codificación. Por último, para el mismo problema de reprogramación de horarios de enfermeras, **Moz y Vaz Pato**¹⁹¹ plantean una utópica heurística genética caracterizada por un par de cromosomas cuya adecuación cumple con la clasificación de Pareto para alcanzar los objetivos propuestos.

Por su parte, **Ohki, Uneme y Kawano**¹⁹² proponen dicho ajuste, mediante la aplicación de un Algoritmo Genético Cooperativo (CGA), y presentan la propuesta de ejecutar el proceso de programación y ejecución computacional a través de un proceso en paralelo en el que se le asigna la tarea de programación a distintos ordenadores con pequeña carga computacional, varias funciones de penalización se definen para evaluar la programación de turnos. Posteriormente, **Ohki y Kishida**¹⁹³ presentan un CGA libre de parámetros en el que se incluye un proceso de mutación manteniendo la consistencia del algoritmo. **De Grano, Medeiros y Eitel**¹⁹⁴ proponen un enfoque de optimización teniendo en cuenta las preferencias del personal de enfermería y las restricciones relacionadas con el hospital, en una primera etapa se asignan los turnos mediante un tipo de subasta intentando satisfacer al máximo las preferencias de las enfermeras sin incumplir los requisitos del hospital, y en una segunda fase, se finaliza el horario asignando los turnos

¹⁹⁰ MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. A genetic algorithm approach to a nurse rostering problem. En: Computers & Operations Research. Marzo, 2007. vol. 34, no. 3, p. 667-691.

¹⁹¹ MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. Solving a bi-objective nurse rostering problem by using a utopic Pareto genetic heuristic. En: Journal of Heuristics. Agosto, 2008. vol. 14, no. 4, p. 259-374.

¹⁹² OHKI, M; UNEME, S y KAWANO, H. Parallel Processing of Cooperative Genetic Algorithm for Nurse Scheduling. En: Intelligent Systems, 2008. IS '08. 4th International IEEE Conference. (2: 6-8, Septiembre, 2008: Varna, Bulgaria). IEEE, 2008. p.10-36, 10-4.

¹⁹³ OHKI, M y KISHIDA, S. A parameter free algorithm of cooperative genetic algorithm for nurse scheduling problem. En: International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). (22-25, Agosto, 2013: Mysore, India). IEEE, 2013. p. 1201-1206.

¹⁹⁴ DE GRANO, Melanie; MEDEIROS, D y EITEL, David. Accommodating individual preferences in nurse Scheduling via auctions and optimization. En: Health Care Management Science. Septiembre, 2009. vol. 12, no. 3, p.118-142.

pendientes a las enfermeras que no han programado el número de horas mínimas requeridas. Finalmente el enfoque es aplicado en un caso real presentando un reducido tiempo de computación.

6.9 OTROS

- **Diseño de plantas hospitalarias**

Arish Ibrahim¹⁹⁵ para el problema de distribución de instalaciones de un hospital, proporciona un marco para la aplicación de un GA con un excelente manejo de las restricciones de capacidad, el modelo es planteado con el objetivo principal de aumentar la funcionalidad relacionando estrechamente los departamentos entre si y ahorrar costos mediante la disminución de tiempo y distancias de transporte de materiales etc. El GA es aplicado a tres niveles para el diseño de planta, a nivel de habitaciones o departamentos, nivel de piso y nivel de edificio. Finalmente es aplicado un modelo de evaluación de costos para la selección de la mejor estrategia entre las arrojadas por el GA.

- **Proceso de Esterilización**

Ozturk, et al.¹⁹⁶ enfocados en minimizar el *makespan* de las operaciones de lavado realizadas en la prestación del servicio de esterilización de artículos médicos reutilizables en la sala de operaciones, en donde el proceso se considera como un proceso cíclico procesado como una programación por lotes, con máquinas de igual capacidad y con igual tiempo de proceso para todos los lotes de artículos a esterilizar. Si se considera igual fecha para todos los grupos de artículos, se consideraría un problema de tipo *bin packing* (Problema de la mochila) en donde se proponen y comparan tres heurísticas basadas en los

¹⁹⁵ ARISH, Ibrahim. A Framework for Genetic Algorithm Application in Hospital Facility Layout Design. En: The IUP Journal of Operations Management. Diciembre, 2012. vol. 11, no. 4, p. 16-21.

¹⁹⁶ OZTURK, Onur, et al. Optimizing the Makespan of Washing Operations Of Medical Devices in Hospital Sterilization Services. En: IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM), (18-20, febrero, 2010: Venice, Italy). IEEE, 2010. 6 p.

clásicos algoritmos *bin packing* teniendo en cuenta las fechas de lanzamiento del trabajo. Por otra parte, **Ozturk Onur, et al.**¹⁹⁷ como solución a este mismo problema, proponen una heurística basada en el método *Branch and Bound* y comparada con un modelo lineal así como con dos heurísticas más propuestas en la literatura. El problema igualmente es modelado como uno proceso de máquinas idénticas en paralelo por lotes, en donde se tiene en cuenta la capacidad límite de cada una. Para la validación de ésta heurística se realizan experimentos computacionales basados en datos reales en lo que se muestran soluciones de alta calidad y de poco tiempo de procesamiento.

En un caso aplicado a un hospital privado, **Forero, et al.**¹⁹⁸ describen un modelo matemático para la optimización del proceso de esterilización de paquetes quirúrgico, el trabajo primero determina y evalúa la situación actual del hospital, luego, para el soporte de dicho proceso determina un horizonte de planeación adecuado y finalmente estudia la posibilidad y conveniencia según costos de comprar paquetes desechables. En resumen, la investigación busca principalmente determinar las variables implícitas en la metodología para solucionar el problema, hacer la formulación matemática del mismo, y basado en esto, realizar recomendaciones de mejora. Mediante otro enfoque, **Tlahig, et al.**¹⁹⁹ desarrollan un modelo de decisión basado en la localización y asignación en el proceso para el servicio de esterilización, comparando la ejecución de una prestación del servicio centralizado frente a uno no centralizado, con el objetivo de reducir el tiempo de proceso junto a los costos de transporte, adquisición y transferencia de recursos sin desatender la calidad del servicio. El modelo se basa en la programación entera mixta, en el que se propone en primera instancia una solución basada en el método *Branch and Bound* ejecutado en el Solver IBM ILOG

¹⁹⁷ OZTURK, Onur, et al. A branch and bound based heuristic for makespan minimization of washing operations in hospital sterilization services. En: European Journal of Operational Research. Noviembre, 2014. vol. 239, no. 1, p. 214-226.

¹⁹⁸ FORERO, A, et al. Optimización Del Proceso De Esterilización De Paquetes Quirúrgicos En Un Hospital Privado. En: los cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol.8, 15 p.

¹⁹⁹ TLAHIG, Houda, et al. Centralized versus distributed sterilization service: A location–allocation decision model. En: Operations Research for Health Care. Diciembre, 2013. vol. 2, no, 4, p. 75-85.

CPLEX 12.2., en donde se permite la adición de cortes personalizados adecuados para dicha programación según el dimensionamiento de la capacidad.

7. REVISIÓN LITERARIA EN EL CONTEXTO LATINOAMERICANO

En el actual capítulo se relacionan las publicaciones recuperadas referentes al tema de investigación enmarcado el escenario latinoamericano, alguna de éstas mencionadas en el capítulo anterior, incluyendo además de los estudios relativos a herramientas de optimización, publicaciones que de cierta forma contribuyen y apoyan la investigación relacionada con la gestión de la logística hospitalaria en estos países. Las publicaciones mencionadas en este punto están clasificadas según el país ya sea de aplicación del estudio o de desarrollo investigativo.

7.1 INVESTIGACIONES RELACIONADAS SEGÚN PAÍS DE ESTUDIO

7.1.1 Brasil

En un gran centro de cirugías de un hospital en Rio de Janeiro, **Ferreira, et al.**²⁰⁰ buscan identificar estrategias de mejora y aumento del rendimiento del servicio, mediante el uso de métodos de simulación por computador basado en eventos discretos. En la investigación se analiza el impacto del incremento del número de camas asignadas bajo los supuestos de estrategias de programación de cirugías, primero, siguiendo un plan de programación fijo establecido con anterioridad, y segundo, bajo una programación flexible. Como siguiente estrategia de simulación, se analiza el aumento de número de paciente manteniendo la cantidad de camas fijas para estudiar el impacto de retrasos en pacientes. Por su lado, teniendo en cuenta determinada política de despacho de ambulancia en ciertas

²⁰⁰ FERREIRA, Rodrigo B, et al. Optimizing patient flow in a large hospital surgical center by means of discrete-event computer simulation models. En: Journal of Evaluation in Clinical Practice. Diciembre, 2008. vol. 14, p. 1031–1037.

carreteras de Brasil, **Lannoni, Morabito y Saydam**²⁰¹ plantean un modelamiento de sistema de cola hipercubo y la utilización de un GA buscando incorporar la importancia de recibir y atender una llamada de emergencia, así como, regionalizar las zonas óptimas para el despliegue de cada ambulancia con el objetivo de cumplir con las exigencias que demanda la situación y mantener un equilibrio de carga entre los vehículos.

De forma estratégica, **Amarala y Costa**²⁰² enfocados en la importancia de toma de decisiones, manejo y asignación de recursos hospitalarios en un Departamento de Urgencias (DU), describen la aplicación del método PROMETHEE II en donde se muestra y clasifica las mejores alternativas a implementar para mejorar el rendimiento, atención de los pacientes y eliminar los cuellos de botella presentes mediante el uso de un minucioso análisis de decisión multicriterio (MCDA), además, el método es probado y validado con datos experimentales de un hospital público de Brasil. Por otra parte, orientados a hacer una evaluación general del servicio de salud brasileño, **Castro Lobo, et al.**²⁰³ realizan estudios en los que se presentan un análisis de eficiencia aplicado a 104 hospitales universitarios del país, empleando la técnica de Análisis Envolvente de Datos (DEA) basada en variables no discrecionales para las que, en segunda instancia, después de haber clasificado los hospitales como eficientes o no, se hace un análisis de regresión logística que examina algunos factores predictivos relacionados con las variables consideradas.

²⁰¹ IANNONI, Ana Paula; MORABITO, Reinaldo y SAYDAM, Cem. A hypercube queueing model embedded into a genetic algorithm for ambulance deployment on highways. En: Annals of Operations Research. Enero, 2008. vol. 157, p. 207–224.

²⁰² AMARAL, Thiago M y COSTA, Ana P.C. Improving decision-making and management of hospital resources: An application of the PROMETHEE II method in an Emergency Department. En: Operations Research for Health Care. Marzo 2014. vol.3, no. 1, 6 p.

²⁰³ CASTRO, María Stella, et al. Teaching hospitals in Brazil Findings on determinants for efficiency. En: International Journal of Healthcare Management. 2014. vol. 7, no. 1, p. 60-68.

7.1.2 Chile

Altamirano, et al.²⁰⁴ abordan el problema de programación de enfermeras de anestesiología frecuentes en salas de operaciones y la unidad de cuidados post-anestesia y proponen un enfoque PSO de programación no lineal en dominios discretos con el objetivo de maximizar la equidad de la programación y la satisfacción de las enfermeras. Para orientar mejor la búsqueda del algoritmo, se define una nueva función de evaluación que busca soluciones de calidad, evaluando finalmente el algoritmo a través de datos reales. **Singer, Donoso y Scheller-Wolf**²⁰⁵ intentan en su estudio introducir la aplicación de teoría de colas a la gestión de organizaciones prestadoras de servicios con patrones de llegada exponencial, entre ellas, entidades de salud. Presentan el papel que desempeña el tiempo de espera de usuarios y su impacto en la calidad del servicio prestado, además, exponen modelos de espera arquetípicos que vinculan algunos indicadores de desempeño establecidos relacionados con la efectividad y diseño del sistema.

Considerando algunos problemas comunes en la atención hospitalaria pública de Chile, como los largos tiempos de espera y cargas horarias de trabajo desbalanceadas del personal de atención, **Reveco y Weber**²⁰⁶, exponen un modelo flexible que intenta definir la cantidad de personal óptimo, a partir del cual, se busca estructurar una eficiente programación de turnos según el tipo de atención brindada. Además ello, en el estudio se pretende estimar una demanda futura basándose en la utilización de modelos de minerías de datos con el fin de mejorar el servicio de atención y flujo de pacientes en la unidad de urgencia de un

²⁰⁴ ALTAMIRANO, Leopoldo, et al. A PSO algorithm to solve a Real Anaesthesiology Nurse Scheduling Problem. En: International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR). (7-10, diciembre, 2010: Paris, Francia). IEEE, 2010. p. 139-144.

²⁰⁵ SINGER, Marcos; Donoso, Patricio y Wolf, Alan. Una introducción a la teoría de colas aplicada a la gestión de servicios. En: Revista ABANTE. Octubre, 2008. vol. 11, no. 2, 22 p.

²⁰⁶ REVECO, Carlos y WEBER, Richard. Gestión de Capacidad en el Servicio de Urgencia en un Hospital Público. En: Revista Ingeniería de Sistemas. Chile, Septiembre, 2011. vol. 25, p. 57-75.

hospital pediátrico. Para concluir, el modelo presentado es desarrollado en el software de optimización ZIMPL y el solucionador SCIP.

Ahora, contemplando falencias del sistema para responder a la demanda del servicio de cirugías electivas, **Wolff, Durán y Rey**²⁰⁷, proponen y comparan cuatro modelos de optimización teniendo en cuenta el nivel de prioridad de atención de los pacientes y características del escenario de desarrollo, el problema es dividido en los subproblemas de elección del día de operación de cada paciente, asignación de especialistas a cada operación y secuenciación de las operaciones en un día, también se prueba la eficiencia del enfoque mediante la evidencia de resultados mejorados apoyados en datos reales. Así mismo, con el fin de proporcionar una óptima programación de salas de cirugías en un hospital público, **Pradenas y Matamala**²⁰⁸, proponen un modelo de optimización multiobjetivo y el uso de un GA junto al sistema de decisión de Pareto, orientando al modelo a priorizar la atención a pacientes con mayor gravedad y tiempo de espera, así como a maximizar el número de cirugías programadas en el horizonte acordado.

Gómez, Lepetic y Demarteau²⁰⁹ presentan un modelo de Markov estático con el fin de hacer un análisis costo-efectividad y costo-utilidad para apoyar la toma de decisión relacionada con la inclusión de una vacuna contra el papiloma humano en Chile, el modelo considera la perspectiva del financiador de la salud realizando la comparación estrategias de intervención diferentes, validando por último el mismo análisis contra tres afectaciones de salud relacionadas con el problema inicial. Por su parte, enfocándose en los desafíos de la política de recursos humanos que se presentan el momento de la planificación para la prestación de servicio y gestión

²⁰⁷ WOLFF, Patricio; DURÁN, Guillermo y REY, Pablo. Modelos de Programación Matemática Para Asignación de Pabellones Quirúrgicos en Hospitales Públicos. En: Revista Ingeniería de Sistemas. 2012. vol. 26, p. 23-48.

²⁰⁸ PRADENAS ROJAS, Lorena y MATAMALA VERGARA, Exequiel. Una formulación matemática y de solución para programar cirugías con restricciones de recursos humanos en el hospital público. En: Ingeniare : Revista chilena de ingeniería. 2012. vol. 20, no. 2, p. 230-241.

²⁰⁹ GOMEZ, Jorge; LEPETIC, Alejandro y DEMARTEAU, Nadia. Health economic analysis of human papillomavirus vaccines in women of Chile: perspective of the health care payer using a Markov model. En: BMC Public Health. Noviembre, 2014. vol. 14, 13 p.

típica de trabajos estructurados en redes, **Méndez y Torres**²¹⁰ presentan un estudio dirigido a la a los “Establecimientos de Autogestión en Red” presentes en sistema de salud en Chile debido a reformas sanitarias implementadas en América Latina, mencionando de igual forma la gestión y experiencia presentada en algunos otros países latinoamericanos.

7.1.3 Colombia

Aguirre, Amaya y Velasco²¹¹ presentan en su estudio una breve introducción a la logística hospitalaria, el papel de que ésta desempeña en la cadena de abastecimiento, así como un análisis de aplicaciones e importancia que puede llegar a desempeñar. Dichos estudios son complementados con los hechos por **Jiménez, et al.**²¹² quienes con el propósito de revelar la importancia de estudiar los procesos logísticos en los hospitales, y enmarcándolo en el entorno colombiano, describen el papel de la logística hospitalaria en el país así como su sistema de salud y el papel que los hospitales desempeñan en él. Además de esto, presentan una breve revisión bibliográfica relacionada con las herramientas de optimización propuestas frente a la solución de problemas que por lo general se enfrentan en la gestión de algunas actividades hospitalarias.

Sánchez, Gamboa y Díaz²¹³ proponen una metodología denotada "enfoque sistemático de toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre", en la que estructuran un análisis para apoyar, evaluar y comparar la toma de decisiones en escenarios inciertos enfocados en el área de la salud. La metodología incluye la definición del problema, horizonte de análisis, estructuración del problema, propuesta de modelos de análisis como árboles de decisiones, análisis de

²¹⁰ MÉNDEZ, Claudio y TORRES, M. Autonomía en la gestión hospitalaria en Chile: los desafíos para el recurso humano en salud. En: Rev Saúde Pública. 2010. vol.44, no. 2, p, 366-371.

²¹¹AGUIRE, S; AMAYA, C. y VELASCO, N. Logística Hospitalaria. Logística hospitalaria. En: los cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria. Diciembre 2007. vol. 01, 4 p.

²¹² JIMÉNEZ, et al. Optimización de los recursos en los hospitales: revisión de la literatura sobre logística hospitalaria. En: los cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria. Diciembre 2007. vol. 3, 13 p.

²¹³ SANCHEZ, Ricardo; Gamboa, Oscar y DÍAZ, Jorge. Modelos empleados para la Toma de Decisiones en el Cuidado de la Salud. En: Rev. salud pública. 2008. vol. 10, ,no. 1, p. 178-188.

sensibilidad y finalmente la selección de la mejor alternativa. Por otra parte, contemplando el problema que se presenta por la ineficiencia en el proceso de asignación de camas a pacientes que requieren hospitalización provenientes del DU de un hospital privado en Bogotá, **Ardila, et al.**²¹⁴ por medio de las metodologías de gestión de procesos y reingeniería, buscan analizar los procesos y determinar problemas tanto logísticos como organizacionales encontrando las principales falencias en los sistemas de comunicación en los que proponen recomendaciones de mejoras.

Intentando resaltar la contribución que tiene la logística hospitalaria en la búsqueda de la calidad, cobertura y eficiencia de los centros de atención de salud, **Amaya, et al.**²¹⁵ a manera de introducción describen la importancia, rol y actividades que puede contemplar por lo general la logística hospitalaria y evidencian, debido a su complejidad, el difícil aprovechamiento total de la misma. Estos autores adoptan la clasificación de cuatro estados del hospital que dependen del nivel de contribución de la logística, los cuales, van desde un nivel operativo hasta uno estratégico según parámetros específicos. La investigación busca describir cómo un hospital puede aumentar esta contribución de la logística por medio de mejoras prácticas, para esto, se ofrece un análisis y comparación de tres casos de distintos escenarios hospitalarios, en Francia, Canadá y Colombia, basados en el nivel de desarrollo económico de los países. Asimismo, Relacionando en el IX Congreso latinoamericano del IIE, incluyendo parte del trabajo anterior, **Amaya**²¹⁶ menciona también un marco general de la logística hospitalaria, su definición, el problema que ésta trata, dificultades, áreas e impacto que implica su gestión.

²¹⁴ ARDILA, et al. Revisión de procesos para la asignación de camas a pacientes provenientes de urgencias en un hospital privado de Bogotá. En: los cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria. Diciembre 2008. vol. 22, 19 p.

²¹⁵ AMAYA, Ciro, et al. Potenciando la contribución de la logística hospitalaria: tres casos, tres trayectorias. En: Management international / International Management / Gestión Internacional. Enero 2010. vol.14, No. 4, p. 85-98.

²¹⁶ AMAYA, Ciro. Potencializando la logística hospitalaria. En: Congreso Latinoamericano del IIE. (9: 15-17, marzo, 2012: Bogotá, Colombia). Universidad de los Andes. 2012.

Ahora bien, en el caso de programación de salas de cirugías en un hospital de Bogotá con salas de cirugías equivalentes, en donde se realizan operaciones independientes con tiempo de ejecución conocido, **Veloza, et al**²¹⁷. comparan dos políticas de despacho a través del diseño de un algoritmo heurístico basado en el problema de funcionamiento de máquinas idénticas en paralelo. Las soluciones obtenidas para asignación turnos se evalúan bajo distintas medidas de desempeño, realizando finalmente, la simulación del modelo basado en los algoritmos de máquinas de paralelo LPT y SPT. Como complemento de mejoras para este servicio, **Forero, et al.**²¹⁸ describen un modelo matemático para la optimización del proceso de esterilización de paquetes quirúrgico aplicado en un hospital privado en la ciudad de Bogotá, con el objetivo de reducir costos, tiempos y reprocesos. El trabajo primero establece y evalúa la situación actual del hospital para el soporte de dicho proceso, determina un horizonte de planeación adecuado y finalmente estudia la posibilidad y conveniencia según costos, de comprar paquetes desechables.

Con el fin de calcular la capacidad máxima de atención en cada una de las áreas asistenciales de una clínica privada de Bogotá, **Zubieta, et al.**²¹⁹ presentan una metodología en la que se hace una analogía de los procesos de atención con una línea de producción, condición que facilitaría la identificación de cuellos botellas y falencias del sistema. La metodología propuesta inicia con la recopilación y análisis de datos de cada proceso, luego se desarrollan y validan distintos modelos de simulación en el software ARENA en los cuales se crean escenarios para calcular la capacidad teórica de cada proceso y compararlos con la utilización real, concluyendo los resultados para facilitar la toma de decisiones y establecer estrategias de acción.

²¹⁷ VELOZA, et al. Implementación de reglas de despacho para la programación de cirugías en un hospital de Bogotá. En: Los cuadernos de PYLO : Logística Hospitalaria. 2008. vol. 7, 12 p.

²¹⁸FORERO, A, et al. Optimización Del Proceso De Esterilización De Paquetes Quirúrgicos En Un Hospital Privado. En: los cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol.8, 15 p.

²¹⁹ ZUBIETA, et al. Propuesta metodológica para el cálculo de capacidades en un centro de salud. En: los cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 11, 18 p.

En un caso real de un DU perteneciente a un centro de atención médico en la ciudad de Bogotá, a nivel estratégico, **Aguirre, Amaya y Velasco**²²⁰ formulan un modelamiento que busca determinar los niveles óptimos del personal médico, enfermeras y auxiliares de enfermería. A nivel táctico, plantean un modelo multiobjetivo para la programación de los turnos de cada personal con el fin de minimizar los costos de asignación de turnos, así como maximizar el nivel de eficiencia y satisfacción de los mismos. El problema es dividido en varios submodelos independientes según el cargo del personal estudiado y finalmente es solucionado mediante un método no exacto. Referente al servicio de esta unidad, **Velásquez, Rodríguez y Jaén**²²¹ presentan una revisión literaria que contempla la ineficiencia en el flujo de pacientes, evaluación de la capacidad de atención según la demanda y los largos tiempos de espera de los pacientes como los problemas comúnmente presentados, así como las metodologías de investigación de operaciones más aplicadas relacionadas con la simulación de eventos discretos y la programación matemática, mostrando su comparación, ventajas y desventajas.

Gutiérrez, et al.²²² presentan una breve revisión de la literatura de los modelos y metodologías utilizadas para apoyar las decisiones de logística relacionadas con el servicio de atención domiciliaria, relacionando, el horizonte de planificación, las decisiones de gestión y los procesos que el servicio soporta. Como conclusión, el estudio muestra la necesidad de desarrollar metodologías más integradas que soporten una planificación estratégica y táctica. Por otra parte, **Gutiérrez, et al.**²²³ presentan una caracterización y diagnóstico de los retos y gestión logística que se

²²⁰ AGUIRRE; AMAYA, Ciro y VELASCO, Nubia. Planeación y Programación del Personal del Servicio de Urgencias en un Centro Médico. . En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 14, 19 p.

²²¹ VELÁSQUEZ, Paula; RODRÍGUEZ, Alma y JAÉN, Juan. Metodologías cuantitativas para la optimización del servicio de urgencias: una revisión de la literatura. En: Rev. Gerenc. Polit. Salud, Bogotá. Julio – Diciembre, 2011. vol. 10, no. 21, p. 1996-218.

²²² GUTIÉRREZ, E. Valentina; GUTIÉRREZ, Valentina y VIDAL, Carlos. Home Health Care Logistics Management: Framework and Research Perspectives. En: International Journal of Industrial Engineering and Management. 2013. vol. 4, no. 3, p, 173-182.

²²³ GUTIÉRREZ, Elena, et al. Gestión logística en la prestación de servicios de hospitalización domiciliaria en el Valle del Cauca: caracterización y diagnóstico. En: Estudios Gerenciales. Octubre—Diciembre, 2014. vol. 30, no. 133, p. 441-450.

enfrentan en la prestación del servicio de hospitalización domiciliaria en el departamento del Valle de Cauca, el estudio pretende establecer la manera en que se están tomando las decisiones logísticas con el fin de identificar oportunidades de mejoras y espacios de investigación. Se presenta para ello una caracterización de proveedores, descripción y evaluación de los procesos del servicio y su grado de madurez, diseño de la red de atención, gestión de transporte, personal médico e inventarios.

Teniendo en cuenta el control de inventarios multiproducto de una farmacia perteneciente al DU de una clínica en Bogotá, **Aguirre, et al.**²²⁴ proponen un modelo de gestión de inventario, la cual según un análisis de Pareto clasifica los artículos de baja y alta rotación. Como fin, la investigación busca estandarizar el proceso de pedido determinado la cantidad a pedir y los tiempos de reposición óptimos para un periodo de planificación, iniciando el estudio con el análisis de la situación real del proceso que maneja la farmacia en la actualidad y a partir de ahí establecer formulaciones y propuestas de mejora. Estudiando el mismo problema logístico, con demanda constante en un hospital público, **Hernández, Amaya y Velasco**²²⁵ buscan una solución óptima que minimice los costos totales del sistema, a partir de un modelo con enfoque de solución del ELSP coordinando los tiempos de reabastecimiento entre los distintos niveles. Por efecto de disminución en el espacio factible de solución y complejidad del modelo, se incorporan heurísticas de búsqueda local, como la utilización de GAs desarrollados con el fin de validar el enfoque en la herramienta de programación MATLAB.

Bajo otro contexto, enmarcando el problema de recogida de ropa sucia, perteneciente al proceso de lavandería en un hospital público en Bogotá, **Aguirre,**

²²⁴AGUIRRE, et al. Estudio Analítico Para el Control de Inventarios de la Farmacia de Urgencias de una Clínica de la Ciudad. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 17, 14 p.

²²⁵ HERNÁNDEZ, P.C.; AMAYA, Ciro y VELASCO, Nubia. Modelo de coordinación de inventarios en la cadena de abastecimiento de medicamentos de un hospital público. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Julio, 2007, vol. 04, p. 1 - 14.

et al.²²⁶ basan su modelo en la programación entera mixta como un caso de ruteo de vehículos con entregas divididas que busca minimizar distancias recorridas teniendo en cuenta las restricciones de disponibilidad de recursos y de saneamiento. En el estudio se analiza la situación actual de la prestación del servicio, buscando disminuir los costos y tiempos incurridos sin afectar la calidad. Continuando el proceso del servicio y con el propósito de optimizar el sistema de distribución interna de ropa limpia en un hospital público, **Lamar, et al.**²²⁷ realizan estudios relacionados con un IRP en el que se busca reducir al mínimo el desabastecimiento de estos recursos, distancia recorrida por los operarios, así como, reducir costos y tiempos de ejecución. La solución del modelo incluye un algoritmo de inserción para seleccionar las áreas tenidas en cuenta y otro algoritmo de la ruta más corta para indicar la ruta de distribución. En otro caso similar, basando sus análisis en datos reales para el proceso de entrega de ropa limpia, **Silva, et al.**²²⁸ desarrollan un modelo de simulación, en el que se evalúa el impacto de las mejoras realizadas en distintos escenarios presentados, a través del Software de simulación de eventos discretos ARENA.

Abarcando otro problema, relacionado con el tratamiento de residuos peligrosos hospitalarios generados en el departamento de Boyacá, **Rodríguez y Medaglia**²²⁹ diseñan una estructura logística para su recolección y transporte. En dicho proceso se diseñan Centros Satélites de Consolidación (CSC) bajo el esquema de plataformas de *Cross Docking*, en donde para ubicarlos y asignarles puntos

²²⁶ FLOREZ, Diana, et al. Optimization of the Laundry Service in a Public Hospital in Bogotá D.C., Colombia: A Case of Vehicle Routing with Split Delivery. En: Systems and Information Engineering Design Symposium. (25, Abril, 2008: Charlottesville, USA). IEEE, 2008. p. 106-111.

²²⁷ LAMAR, et al. Optimización del sistema de entrega de linos en un hospital público por medio de un problema de ruteo de inventarios. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 18, p. 1-16.

²²⁸ AMAYA, Ciro, et al. Simulación del Proceso de Entrega de Ropa Limpia en Un Hospital de Bogotá. Diciembre 2008. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 6, p. 1-22.

²²⁹ RODRÍGUEZ, D y MEDAGLIA, A. Configuración Logística para Tratamiento de Residuos Hospitalarios Peligrosos. En: Repositorio digital DSPACE de la Universidad de los Andes. 2006, 11p. [en línea]. [consultado 23 de oct. 2014]. Disponible en: <<http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/845/ROD%20CLT.pdf?sequence=1>>

generadores de residuos se emplean dos modelos matemáticos de localización apoyados en la programación entera binaria. El primer modelo, busca minimizar los costos de asignar generadores a cada CSC y la cantidad de personas afectadas, por su parte, el segundo modelo solo tiene en cuenta objetivos de reducción de costos. Los modelos son solucionados por medio de GAs y el algoritmo del vecino más cercano, haciendo su respectiva comparación y análisis computacional. Para el mismo problema, contemplando la asignación de los CSC, **Medaglia, Villegas y Rodríguez**²³⁰ proponen un método de solución con enfoque híbrido en donde aplican dos algoritmos evolutivos multiobjetivo basados en el NSGA II (algoritmo genético de ordenamiento no dominado) en donde se aplica una heurística de asignación *Greedy* (GAH) y otra heurística de asignación de programación entera mixta. En el estudio el algoritmo NSGA II propuesto es comparado con el método de solución NISE (*Non-Inferior Set Estimation*) y por último es validado por medio de ejecución con datos reales.

A través de estudios realizados para afrontar el problema de asignación de vehículos de emergencias y diseño de rutas en un área urbana que enfrenta una empresa prestadora de servicio de ambulancias en Bogotá al tratar de minimizar las distancias recorridas, **Elejalde del Rio y Ramírez**²³¹ sugieren y comparan algunos modelos matemáticos desde distintos enfoques que incluyen el algoritmo heurístico conocido como el “método del ahorro”, el algoritmo de *Floyd Warshall*, un (TSP), un modelo lógico de simulación y el problema del ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP). Continuando las mejoras en el servicio de emergencias, teniendo en cuenta los objetivos del Centro Regulador de Urgencias y Emergencias en Bogotá y buscando mejorar el procesos de respuesta ante una

²³⁰ MEDAGLIA, Andrés; VILLEGAS, Juan y RODRÍGUEZ, D. Hybrid biobjective evolutionary algorithms for the design of a hospital waste management network. *En: Journal of Heuristics*. Abril, 2009. vol. 15, no, 2, p. 153-176.

²³¹ ELEJALDE DEL RÍO, Candy y CASTAÑEDA, Leila. Modelo para la asignación de rutas de ambulancias de la empresa Health Society S.A para la prestación de servicio en Bogotá. Bogotá D.C.: Universidad Libre. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial, 2010. 19 p.

llamada de atención, **Guaracao, et al.**²³² proponen un modelo de simulación de eventos discretos desarrollado en ARENA para optimizar la utilización de los recursos involucrados en la recepción de dicha llamada, y así identificar los aspectos críticos para minimizar el tiempo de respuesta.

Particularmente, **Díaz, Villar y Martínez**²³³ describen y evalúan la aplicación de un algoritmo de gestión para el manejo de dengue en un centro de salud Colombia buscando reducir la hospitalización por esta afectación. El estudio presenta un análisis del periodo experimental para comparar los resultados de tasas de hospitalización antes y después de la aplicación del algoritmo empleando un análisis de Poisson. bajo otro contexto, en aras de mejorar la gestión y agilizar la atención en el servicio de consulta externa de un hospital colombiano, **Gáfarro, Mallor y Azcárate**²³⁴ detallan el modelamiento del proceso de llegada de pacientes como una red de colas empleando el método de simulación. En la investigación se analiza la situación actual del flujo de pacientes y se pretende proponer mejoras de gestión.

7.1.4 México

Centrando sus estudios en mejorar el sistema de atención pre-hospitalario de la unidad de urgencia brindado en la ciudad de México por estudiantes en pruebas de admisión de la Universidad Nacional Autónoma de México, **Segura, Altamirano y Flores de la Mota**²³⁵ proponen un enfoque híbrido que combina

²³² GUARACAO, P, et al. Optimizing Resources Involved in the Reception of an Emergency Call. En: MEJÍA, GONZALO y VELASCO, NUBIA. Production Systems and Supply Chain Management in Emerging Countries: Best Practices. Springer - Verlag Berlin Heidelberg, Marzo, 2012. p. 115-137.

²³³ DIAZ, Fredi; VILLAR, Luis y MARTÍNEZ, Ruth. Reducción de la hospitalización mediante un algoritmo de manejo del dengue en Colombia. En: Rev Panam Salud Pública. 2011. vol. 30, no. 3, p. 248–254.

²³⁴ GÁFARO, Aurora; MALLOR, fermin y AZCÁRATE, C. Modelado de la atención en consulta externa en un hospital público: una herramienta de gestión. En: Rev. Gerenc. Polit. Salud. Enero-Junio, 2014. vol. 13, no. 26, p. 106-118.

²³⁵ SEGURA, Esther; ALTAMIRANO, L Y FLORES DE LA MOTA, I. Simulation and Optimization of the Pre-hospital Care System of the National University of Mexico using Travelling Salesman Problem algorithms. En: Conference: SummerSim '10 - 2010 Summer Simulation Multiconference. (11-14, julio, 2010: Ottawa, Canadá). 7 p.

métodos de optimización y simulación. en la investigación se busca optimizar las rutas de los vehículos de emergencia basándose en el algoritmo del Problema del Agente Viajero y algoritmo de la ruta más corta en donde se simulan mediante el software ARENA algunos escenarios variando los lugares de donde provienen las llamadas de emergencia, proponiendo algunos métodos heurísticos.

Mediante estudios cualitativos, **Salgado de Snyder, et al.**²³⁶ formulan un modelo de gestión integral para la mejorar la calidad y acceso del servicio de atención de salud mental dirigido a la población rural de México. Por otro lado, debido a la necesidad de gestión de mejoras evidenciadas en el sistema de salud en México, **Moreno y Mendoza**²³⁷ proponen un modelo de gestión que consiste en un marco estructurado basado en la filosofía *Lean*, comúnmente aplicada en organizaciones manufactureras, dirigido a los hospitales del estado de Jalisco que sirve como guía de apoyo para aquellos que buscan lograr metas a largo plazo.

7.1.5 Argentina, Bolivia y Honduras

Para el problema de despacho de suministros ante una emergencia modelado como una derivación de un problema PRV, buscando minimizar la utilización de los vehículos de transporte de emergencia y considerando ciertas restricciones que implica una situación de urgencia, **López, Lanzarini y De Giusti**²³⁸ presentan un modelo multiobjetivo con un enfoque evolutivo, para el que emplean distintas metaheurísticas de solución. En Bolivia, **Canaviri, Jose.**²³⁹ por primera vez en la literatura, presentan un modelo flexible con un Logit de Parámetro Aleatorio (RPL)

²³⁶ SALGADO DE SNYDER, et al. Modelo de integración de recursos para la atención de la salud mental en la población rural de México. En: salud pública de México. enero-febrero dc 2003. vol. 45, no. 1, p. 19-26.

²³⁷ MORENO, Miguel y MENDOZA, Abraham. Hospital Excellence Operation Model: an Approach to Lean Healthcare in Mexican Hospitals. En: Proceedings of the 2012 Industrial and Systems Engineering Research Conference. (19-23, mayo, 2012: Orlando, USA). 11 p.

²³⁸ LÓPEZ, Javier; LANZARINI, Laura y DE GIUSTI, Armando. Evolutionary Multiobjective Optimization for Emergency Medical Services. En: Proceedings of the 13th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation. (13: 12-16, Julio, 2011: Dublin, Irlanda). Memorias. New York: ACM. p. 83-84.

²³⁹ CANAVIRI, Jose A. A random parameter logit model for modeling health care provider choice in Bolivia. En: Munich Personal RePEc Archive. [en línea]. Enero, 2007. [consultado 25, oct 2014]. Disponible en: <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/3263/1/MPRA_paper_3263.pdf>

que busca modelar la decisión por parte del paciente de seleccionar su proveedor de atención médica, los estudios son hechos según datos históricos para cierto periodo teniendo en cuenta un marco de modelo económico de los usuarios, finalmente, con el fin de validar el modelo se realizan simulaciones basadas en distintos escenarios. Por último, con el objetivo de apoyar y reforzar la atención primaria de salud a la población rural perteneciente a las comunidades de aldeas remotas en Honduras, **Rennert y Koop**²⁴⁰ proponen un modelo de gestión con un enfoque “*bottom-up*” que busca formar y preparar a los trabajadores comunitarios del cuidado de la salud, basando el análisis en datos reales.

7.2 DESARROLLO INVESTIGATIVO DE LA LOGÍSTICA HOSPITALARIA EN PAÍSES DE AMÉRICA LATINA

A pesar de que en la literatura no se ha presentado un profundo estudio relacionado con la investigación de operaciones y sus aplicaciones en países subdesarrollados, es notable el aumento del interés investigativo que se ha presentado en la última década tanto en los países industrializados como en los menos desarrollados. Según revisión literaria y estudio aportado por **White, Smith y Currie**²⁴¹ se intenta mostrar de manera general el estado de la práctica y aplicación relacionadas con el área de Investigación de Operaciones (OR), así como la contribución de ésta en los países en vía de desarrollo clasificados por el Banco Mundial, entre los cuales se encuentran países latinoamericanos como Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Uruguay. El estudio presenta la contribución enmarcada según áreas de aplicación y según cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) entre los que se destaca la eliminación de la pobreza y relacionado con la salud, reducir la mortalidad infantil, mejorar la salud materna y combatir el SIDA, el paludismo y otras enfermedades.

²⁴⁰ RENNERT, Wolfgang y KOOP, Elizabeth. Primary Health Care for Remote Village Communities in Honduras: A Model for Training and Support of Community Health Workers. En: International Family Medicine. Octubre, 2009. vol.41, no, 9, p. 646-651.

²⁴¹ WHITE, Leroy; SMITH, Honora y CURRIE, Christine. OR in developing countries: A review. En: European journal of operational research. Febrero, 2010. vol. 208, 11 p.

Aunque se presente un gran interés en los temas relacionados con el servicio en la salud, es poca la investigación que se evidencia en algunos aspectos por estos países, en los que, aunque haya suficientes cursos académicos no se evidencia una experiencia práctica en la aplicación de OR, por lo que se quedan en estudios teóricos o matemáticos²⁴², situación que justifica de cierta forma, que los métodos de optimización aplicados en estos países sean generalmente originales de países desarrollados.

Además de esto, es evidente la desigualdad que hay en cuanto a la disponibilidad de la información relacionada con el sistema de salud entre los países desarrollados y subdesarrollados. Diferentes esfuerzos han sido reportados para cubrir estas desigualdades, sin embargo, existe poca información sobre las experiencias de estos países en el área,²⁴³ **Macías Chapula, et al.**²⁴⁴ con el fin de registrar la actividad científica e investigativa, de los hospitales con sitios web de nueve países de Latinoamérica y el Caribe, realizan una revisión y análisis de los mismos, clasificando los hospitales seleccionados bajo el criterio de selección relacionado con indicadores de actividad científica, presentando que sólo clasificaban el 8.37% de los hospitales preseleccionados, incluyendo hospitales de México, Argentina, Perú, Cuba, Brasil, Colombia y Chile, excluyendo a Venezuela y Costa Rica. El objetivo del estudio es ponderar la dificultad existente para identificar hospitales con actividades de investigación y desarrollo, y que mediante su sitio web exponen los indicadores relacionados con esta, para así presentar un diagnóstico de la situación actual por países.

Como contribución, y base para el fortalecimiento de la logística hospitalaria, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en respuesta a las consecuencias de los sistemas sanitarios fuertemente fragmentados y segmentados, ha venido

²⁴² Ibid., p. 3.

²⁴³ MACÍAS CHAPULA, et al. Actividades de investigación y desarrollo en hospitales de América Latina y el Caribe, identificadas a través de sus sitios Web. En: REVISTA ESPAÑOLA DE DOCUMENTACIÓN CIENTÍFICA. Octubre – Diciembre, 2007. vol. 30, no. 4, p. 504.

²⁴⁴ Ibid., p. 503-522.

expresando la necesidad de implementar Redes Integradas de Servicios de Salud (RISS) en los sistemas de salud del continente, por lo que **Artaza, et al.**²⁴⁵ hacen referencia en su libro, al desarrollo de los sistemas de salud en Latinoamérica y el Caribe, describiendo el papel que desempeñan los Hospitales en Redes Integradas de Servicios de Salud, junto a la diversidad y desafíos en algunas experiencias nacionales, teniendo en cuenta, el modelo de atención y de gestión del hospital, el enfoque de formación de su personal, su forma de gobierno, mecanismos de financiamiento, dificultades, y uso de tecnologías. Estudios y análisis similares son presentados por **Maceira**²⁴⁶ para los sistemas de salud de ciertos países europeos y latinoamericanos como, Costa Rica, Chile, Paraguay, México y Colombia, en donde presenta las características del sistema, recursos y reformas presentes.

²⁴⁵ ARTAZA BARRIOS, Osvaldo, et al. Redes Integradas de Servicios De Salud: El Desafío De Los Hospitales. Santiago, Chile: OPS/OMS, 2011. 299 p. ISBN: 978-9568246-08-2.

²⁴⁶ MACEIRA, Daniel. Documento Técnico sobre Financiación y Reforma del Sector Salud: Un análisis sistematizado de modelos y experiencias clave en América Latina y Europa.[en línea] Disponible en: <<http://biblioteca.programaeurosocial.eu/PDF/Salud/Salud5.pdf>>

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente trabajo se ha realizado con el fin de presentar una exhaustiva revisión bibliográfica relacionada con los modelos de optimización aplicados en la logística hospitalaria, recuperados de las bases de datos disponibles en la Universidad de Santander, abarcando una ventana de tiempo comprendida entre los años 2001 y 2014 (Ver detalle de publicaciones en Anexo G). Las publicaciones recuperadas se han organizado según el problema logístico al que hacen referencia, incluyendo el abastecimiento en la cadena de suministro hospitalaria, las actividades relacionadas con el servicio del departamento de emergencia, localización de centros de atención general, programación de salas de cirugía, asignación de recursos médicos, programación de admisiones, atención de salud domiciliaria, programación de turnos de enfermería, además de otras actividades logísticas concernidas en el diseño de plantas hospitalarias y el proceso del servicio de esterilización en un hospital.
- Es notable el significativo número de casos de modelos de optimización estudiados y presentados en el tema logístico de programación de turnos de enfermería en el presente trabajo, abarcando aproximadamente el 32% de las publicaciones recopiladas (Ver Anexo H). El problema logístico que consiste en estructurar horarios para el personal de enfermería dentro de un horizonte de planificación determinado, además de ser considerado relevante en cuanto a costos operacionales, es un problema bastante flexible por lo que su modelado matemático puede variar significativamente dependiendo de distintos factores como por ejemplo, objetivo principal de modelamiento, consideración de preferencias personales, restricciones y políticas del centro hospitalario, normas de cargas de trabajo, entre otros.

- El servicio prestado por el departamento de emergencia de un hospital, es otra asistencia médica en la que la literatura se ha enfocado ampliamente, contemplando cerca del 30% de las publicaciones analizadas en el trabajo (Ver Anexo I). Una de las razones del vasto estudio se debe a la importancia que ésta presenta en la atención en salud, ya que es la unidad encargada de brindar un tratamiento inicial a pacientes con un gran número de enfermedades y lesiones, algunas de las cuales pueden llegar a ser potencialmente mortales y requieren atención inmediata. Esta condición implica establecer especialmente restricciones de tiempo en el modelamiento matemático del problema, presentando como principales fines el mejoramiento de la capacidad de respuesta y la utilización de los recursos limitados con el objetivo de agilizar el flujo de pacientes atendidos.
- Como características de las publicaciones recuperadas se presentan una minoría cuyo periodo de publicación está comprendido entre los años 2001 y 2007. Por el contrario, debido al periodo en el que se desarrolla la fase heurística comprendida en la metodología del presente trabajo, el año de publicación que presenta un mayor número de material de análisis es el 2013. En total son seleccionados y presentados 141 artículos considerados de aporte a la temática investigada relacionada en el capítulo cuatro (Ver Anexo J).
- En la revisión presentada se muestra que Estados Unidos y China son los países que más aportes en el área de investigación han hecho, asociando entre los dos países alrededor del 27% de las publicaciones recuperadas (Ver Anexo K). La cantidad de estas publicaciones se consideran relevantes debido a que la búsqueda se realizó a nivel global, evidenciando el significativo aporte científico en el área de atención a la salud y sus procesos logísticos.
- Son muchos los objetivos principales que pueden ser representados en los modelos matemáticos de optimización planteados cuando a la mejora de la logística hospitalaria se refiere, entre ellos, los objetivos que con mayor frecuencia

se intentan alcanzar son la minimización de costos en cuanto a la gestión, tiempos de espera de pacientes, distancias recorridas en transportes internos y externos, tiempos de respuesta ante una situación de emergencia, así como, la maximización de la cobertura de la demanda que en este caso consiste en brindarle un servicio satisfactorio al mayor número de habitantes posibles, maximización de utilización de recursos médicos. Se muestra asimismo que muchos de los modelos presentados presentan un enfoque multiobjetivo. Y

- una formulación matemática basada en la programación entera mixta, ya que mucho de los problemas analizados requieren de uso de variables de decisión tanto enteras como no enteras.
- Según la literatura revisada uno de los inconvenientes presentados con mayor frecuencia en la modelación de dichos problemas relacionados al enfrentar una gestión logística dentro de un sistema de atención a la salud, es la relacionada con la incertidumbre de la demanda que por lo general se presenta. Dicha condición es la más estudiada y crítica principalmente en el servicio de atención de emergencia, ya que ésta entra en acción generalmente como respuesta ante situaciones inesperadas como situaciones de desastres naturales, accidentes gran escala, pandemias, entre otras.
- En los trabajos recuperados se presentan considerablemente distintos enfoques de solución, entre los cuales son contemplados los métodos heurísticos metaheurísticos, exactos y de simulación. De estos métodos, es relevante la aplicación que presentan los enfoques metaheurísticos en el área investigativa (Ver Anexo L). Basados en llevar a un nivel superior procedimientos heurísticos muy generales, la aplicación de éstos obedecen principalmente a la conveniencia de aplicación de estrategias inteligentes que generen altos rendimientos frente a la complejidad que por lo general acompaña al modelamiento matemático de los problemas de optimización tratados. Las metaheurísticas principales presentadas

se refieren a métodos de relajación, procesos constructivos, evolutivos y de búsqueda por entornos.

- Otro conjunto de métodos de modelado y solución que presentan gran aplicación son los basados en enfoques netamente heurísticos, que aunque al igual que las metaheurísticas, no garanticen un óptimo global, sí son considerados como procedimientos con un alto grado de confianza, con la capacidad de proporcionar soluciones de alta calidad y que por lo general no incurrir en elevados costos de ejecución computacional. Es bastante amplia la gama de métodos presentada en el presente trabajo con relación a este tipo de enfoque, considerando diversas heurísticas que varían desde unas muy generales hasta otras mucho más específicas las cuales suelen presentar un rendimiento considerablemente más alto que las primeras. Por otra parte como ventajas de aplicar heurísticas generales se presentan la sencillez, flexibilidad y robustez de su aplicación, entre otras. De igual forma, algunas investigaciones desarrollan versiones híbridas de métodos heurísticos mediante la combinación de algunos de estos con el fin de robustecer el enfoque de solución.

- Una vez establecido el método de solución a emplear, con el fin de probar y perfeccionar el modelo de optimización, en la mayoría de los casos presentados es detallado su proceso de validación mediante pruebas experimentales y la aplicación de éstas en casos reales incluyendo la introducción de datos históricos o estimaciones consideradas. Si llegado el caso se presentan preocupaciones o problemas sobre el modelo, la documentación detallada de la realización de estas pruebas de validación pueden resultar de gran aporte para su análisis y solución.

- Uno de los métodos más destacados entre todos los enfoques metaheurísticas presentados, son los basados en los denominados Algoritmos Genéticos, presentando en la revisión, un significativo registro de aplicación. Dichos algoritmos se caracterizan por replicar comportamientos biológicos y son empleados para estos problemas relacionados en la gestión logística hospitalaria

debido a su eficacia al explorar distintas partes de la región factible de solución y evolucionar de manera gradual hacia mejores resultados.

- Además de los Algoritmos Genéticos algunos otros enfoques que han servido como soporte para la formulación de métodos de solución son los basados en algoritmos como de generación de columnas, búsqueda en la vecindad, algoritmos evolutivos, algoritmos Greedy, algoritmo de recocido simulado, algoritmos de la colonia de hormigas, algoritmos de búsqueda tabú, algoritmos con enfoque difusos, entre otros mencionados con menos frecuencia.
- Además de los objetivos puramente de optimización, en los estos enfoques de optimización recopilados y aplicados en el servicio de la salud se muestra de suma importancia contemplar el costo y tiempos computacionales considerados en la propuesta de los modelos. Muchos de los modelos son empleados y validados según datos reales y mediante el uso de herramientas de optimización computacionales, entre las más usadas se evidencian los softwares de optimización como el CPLEX, LINGO, Matlab y el software de simulación ARENA.
- En el capítulo relacionado con el marco de desarrollo latinoamericano, son presentados autores que no sólo tratan modelos cuantitativos sino que también de cierta forma enmarcan, analizan y formulan métodos de gestión con el fin de proponer mejoras relacionadas con desafíos y retos presentados el servicio de atención médica y del sistema de salud en general de cada país.
- Es de importancia destacar los aportes generados en la temática tratada a nivel nacional, en los estudios presentados y publicados por la Universidad de los Andes, a través de proyectos enfocados al mejoramiento de los sistemas de salud mediante la aplicación de herramientas de investigación de operaciones en hospitales con el fin de optimizar los procesos logísticos involucrados en la prestación de servicios de salud.

- Cabe mencionar que en el estudio relacionado con la optimización de actividades inmersas en el servicio prestado por la unidad de urgencias médicas, en la mayoría de los casos, la atención de llamadas de emergencia implica una atención a puntos de demanda discretos, situación que puede resultar errónea al aplicarse en casos reales. Por esta razón, se consideraría en estudios futuros la ampliación y consideración de un área continua de distribución de demanda, situación que representaría un enfoque más realista.
- Los estudios menos encontrados son dirigidos a la optimización relacionada con la ubicación de centros de atención general, así como, temas aplicados a la distribución de las plantas hospitalarias y actividades de transformación como el servicio de esterilización en donde investigaciones futuras en este campo se pueden llevar a cabo en distintas direcciones.

BIBLIOGRAFÍA

- ABDUL, Beatriz; GUTIÉRREZ, José y SICILIA, Joaquín. Single cycle policies for the one-warehouse N-retailer inventory/distribution system. En: Omega : The International Journal of Management Science. Octubre, 2004. no. 36, p. 196–208.
- AGNETIS, et al. Long term evaluation of operating theater planning policies. En: Operations Research for Health Care. Diciembre, 2012. vol. 1, p. 95–1042.
- AGUIRE, S; AMAYA, C. y VELASCO, N. Logística Hospitalaria. Logística hospitalaria. En: los cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria. Diciembre 2007. vol. 01, 4 p.
- AGUIRRE, et al. Estudio Analítico Para el Control de Inventarios de la Farmacia de Urgencias de una Clínica de la Ciudad. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 17, 14 p.
- AGUIRRE; AMAYA, Ciro y VELASCO, Nubia. Planeación y Programación del Personal del Servicio de Urgencias en un Centro Médico. . En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 14, 19 p.
- AHARON, Ben-Tal, et al. Robust Optimization for Emergency Logistics Planning Risk Mitigation in Humanitarian Relief Supply Chains. En: Transportation Research Part B: Methodological. Septiembre, 2011. vol. 45, no. 8, p. 1177-1189.
- AICKELIN, Uwe y DOWSLAND, Kathryn. An indirect Genetic Algorithm for a nurse-scheduling problem. En: Computers & Operations Research, Abril, 2004. vol. 31, p. 761-778.
- AICKELIN, Uwe y LI, Jingpeng. An estimation of distribution algorithm for nurse scheduling. En: Annals of Operations Research. Julio, 2007. vol. 155, no. 1, p, 289-309.
- AICKELIN, Uwe y WHITE, Paul. Building Better Nurse Scheduling Algorithms. En: Annals of Operations Research. Abril, 2004. vol. 128, p. 159-177.
- AICKELIN, Uwe; BURKE, EK y LI, Jingpeng. An estimation of distribution algorithm with intelligent local search for rule-based nurse rostering. En: Journal of the Operational Research Society. 2007. vol. 58, p. 1574, 1585.
- ALTAMIRANO, Leopoldo, et al. A PSO algorithm to solve a Real Anaesthesiology Nurse Scheduling Problem. En: International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR). (7-10, Diciembre, 2010: Paris, Francia). IEEE, 2010. p. 139-144.

AMALDI, Edoardo; CONIGLIO, Stefano y IULIANO, Claudio. Optimization models for injured people evacuation in medium/maxi health-care emergencies. En: IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM). (18-20, Febrero, 2010: Venice, Italy). IEEE, 2010. 6 p.

AMARAL, Thiago M y COSTA, Ana P.C. Improving decision-making and management of hospital resources: An application of the PROMETHEE II method in an Emergency Department. En: Operations Research for Health Care. Marzo 2014. vol.3, no. 1, 6 p.

AMAYA, Ciro, et al. Potenciando la contribución de la logística hospitalaria: tres casos, tres trayectorias. En: Management international / International Management / Gestión Internacional. Enero 2010. vol.14, No. 4, p. 85-98.

AMAYA, Ciro, et al. Simulación Del Proceso De Entrega De Ropa Limpia En Un Hospital De Bogotá. Diciembre 2008. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 6, p. 1-22.

AMAYA, Ciro. Potencializando la logística hospitalaria. En: Congreso Latinoamericano del IIE. (9: 15-17, marzo, 2012: Bogotá, Colombia). Universidad de los Andes. 2012.

ARDILA, et al. Revisión de procesos para la asignación de camas a pacientes provenientes de urgencias en un hospital privado de Bogotá. En: los cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria. Diciembre 2008. vol. 22, 19 p.

ARISH, Ibrahim. A Framework for Genetic Algorithm Application in Hospital Facility Layout Design. En: The IUP Journal of Operations Management. Diciembre, 2012. vol. 11, no. 4, p. 16-21.

ARTAZA BARRIOS, Osvaldo, et al. Redes Integradas de Servicios De Salud: El Desafío De Los Hospitales. Santiago, Chile: OPS/OMS, 2011. 299 p. ISBN: 978-9568246-08-2.

ATKINSON, J. B, et al. Heuristic methods for the analysis of a queuing system describing emergency medical service deployed along a highway. En: Cybernetics and Systems Analysis. 2006. vol. 42, No. 3, p. 379-391.

AZAIENZA M.N. y AL SHARIF, S. A 0-1 goal programming model for nurse scheduling. En: Computers & Operations Research. Marzo, 2005. vol. 32, no. 3, p. 491-507.

BACHOUCH, Rym; GUINET, Alain y HAJRI-GABOUJ, Sonia. An optimization model for task assignment in home health care. En: IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM). (18-20, febrero, 2010: Venice, Italy). IEEE, 2010. 6 p.

BAO ZHAN, Biao y JIANJUN, Wu. A Particle Swarm Optimization Algorithm for Grain Emergency Scheduling Problem. En: Advances in Control and Communication. Enero, 2012. vol. 137, p. 483-488.

BARD, Jonathan F. y PURNOMO, Hadi W. Cyclic preference scheduling of nurses using a Lagrangian-based heuristic. En: Journal of Scheduling. Febrero, 2007. vol. 10, no. 1, p. 5-23.

BEAULIEU, Martin y LANDRY, Sylvain. Comment gérer la logistique hospitalière? Deux pays, deux réalités. Citado por AMAYA, Ciro., et al. Potenciando la contribución de la logística hospitalaria: tres casos, tres trayectorias. En: Management international / International Management / Gestión Internacional. Enero, 2010. vol.14, No. 4, p. 85.

BELIEN, Jeroen y DEMEULEMEESTER, Erik. A branch-and-price approach for integrating nurse and surgery scheduling. En: European Journal of Operational Research. Septiembre, 2008. vol. 189, no. 3, p. 652-668.

BERTELS, Stefan y FAHLE, Torsten. A hybrid setup for a hybrid scenario combining heuristics for the home health care problem. En: Computers & Operations Research. Octubre, 2006. vol. 33, p. 2866-2890.

BILGIN, Burak, et al. One hyper-heuristic approach to two timetabling problems in health care. En: Journal of Heuristics. Junio, 2012. vol. 18, p. 401-4034.

BOWERS, John; LYONS, Bob y MOULD, Gillian. Developing a resource allocation model for the Scottish patient transport service. En: Operations Research for Health Care. Diciembre, 2012. vol. 1, p. 84-94.

BRETTTHAUER, Kurt M. y SHETTY, Bala. The nonlinear knapsack problem – algorithms and applications. En: European Journal of Operational Research. Mayo, 2002. vol. 138, p. 459-472.

BURKE, Edmund K, et al. Metaheuristics for handling time interval coverage constraints in nurse scheduling. En: Applied Artificial Intelligence. Octubre, 2006. vol. 20, p. 743-766.

BUYUKOZKAN, Kadir y SARUCAN, Ahmet. Applicability of artificial bee colony algorithm for nurse scheduling problems. En: International Journal of Computational Intelligence Systems. Octubre, 2013. vol. 7, p. 121-136.

CANAVIRI, Jose A. A random parameter logit model for modeling health care provider choice in Bolivia. En: Munich Personal RePEc Archive. [en línea]. Enero, 2007. [consultado 25, oct 2014]. Disponible en: <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/3263/1/MPRA_paper_3263.pdf>

CARELLO, Giuliana y LANZARONE, Ettore. A cardinality-constrained robust model for the assignment problem in Home Care services. En: European Journal of Operational Research. Julio, 2014. vol. 236, p. 748-762.

CARPENTE, Adam, et al. Managing magnetic resonance imaging machines: support tools for scheduling and planning. En: Health Care Management Science. Junio, 2011. vol. 14, no. 2, p. 158-173.

CASTRO, María Stella, et al. Teaching hospitals in Brazil Findings on determinants for efficiency. En: International Journal of Healthcare Management. 2014. vol. 7, no. 1, p. 60-68.

CESELLI, Alberto; RIGHINI, Giovanni y TRESOLDI, Emanuele. Combined location and routing problems for drug distribution. En: Discrete Applied Mathematics. 2014. vol. 165, p. 130–145.

CHANG, Chunguang, et al. Logistics Routes Optimization Model under Large Scale Emergency Incident. En: International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management (ICLSIM). (3: 9-10, Enero, 2010: Harbin, China). IEEE, 2010. p.1471-1475.

CHEANG, B., et al. Nurse rostering problems-a bibliographic survey. En: European Journal of Operational Research. Diciembre, 2003. vol. 151, no. 3, p. 447-460.

CHEANG, B., LI, H., Lim, A., RODRÍGUEZ, B., 2003. Nurse rostering problems – a bibliographic survey. En: European Journal of Operational Research. 151, 447–460. Citado por TOPALOGLU, Seyda. A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare. Noviembre, 2009. vol. 198, p. 943–957.

CHEN, Chao; ZHOU, Dequn y BAI, Yang. Resource Emergency Dispatching Mathematical Model under Transport Capacity Constraints. En: IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services (GSIS 2009). (10-12, noviembre, 2009: Nanjing, China). Memorias, IEEE, 2009. p.559-563.

CHENG SIONG Lim; MAMAT y Rosbi; BRAUNL, Thomas. Impact of Ambulance Dispatch Policies on Performance of Emergency Medical Services. En: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Junio, 2011. vol. 12, no. 2, p. 624-632.

CHENG, Mingang, et al. Analysis of Daily Nursing Care: a Nursing Care Scheduling Algorithm. En: The 17th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2008. RO-MAN. (17: 1-3, Agosto, 2008: Munich, Alemania). IEEE, 2008. p. 193-200.

CHERN; CHEN y KUNG. A heuristic relief transportation planning algorithm for emergency supply chain management. En: International Journal of Computer Mathematics. Junio, 2010. vol. 87, no. 7, p. 1638-1664.

CIGNARALE, Christina. Analysis and Optimization of Patient Bed Assignments within a Hospital Unit while Considering Isolation Requirements. Tesis maestría de Ciencias en Ingeniería Industrial. Rochester, NY, Estados Unidos: Kate Gleason College of Engineering, Departamento de ingeniería Industrial y de Sistemas, 2013. 90 p.

CONDOTTA, A. y SHAKHLEVICH. N.V. Scheduling patient appointments via multilevel template A case study in chemotherapy. En: Operations Research for Health Care. Septiembre, 2014. vol. 3, p. 129-144.

THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONFERENCE: NATURAL COMPUTATION, 2007., Volume: 1 (3: 24-27, Agosto, 2007: Hainan, China). Optimization Modeling and Algorithm of Facility Location Problem in Perishable Commodities Emergency System. 2007, 5 p.

CONFORTI, Domenico; GUERRIERO, Francesca y GUIDO, Rosita. A Multi-Objective Block Scheduling Model for the Management of Surgical Operating Rooms New Solution Approaches via Genetic Algorithms. En: IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM). (18-20, febrero, 2010: Venice, Italy). IEEE, 2010. 5 p.

COSKUN, Nusin y EROL, Rizvan. An Optimization Model for Locating and Sizing Emergency Medical Service Stations. En: Journal of Medical Systems. Febrero, 2010. vol. 34, p. 43.

COSTANTINO, et al. A model for the optimal design of the Hospital Drug Distribution Chain. En: Health Care Management (WHCM), 2010 IEEE Workshop on. Febrero, 2010. p.1-6.

CSC Consulting. (1996). EHCR, Efficient Healthcare Consumer Response, Improving the Efficiency of the Healthcare Supply Chain. Citado por LANDRY, Sylvain. PHILIPPE, Richard. How Logistics Can Service Healthcare En: Supply Chain Forum An International Journal. fall. 2004. vol. 5, no. 2 p. 25

DE GRANO, Melanie; MEDEIROS, D y EITEL, David. Accommodating individual preferences in nurse Scheduling via auctions and optimization. En: Health Care Management Science. Septiembre, 2009. vol. 12, no. 3, p.118-142.

DENTON, Brian; VIAPIANO, James y VOGL, Andrea. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. En: Health Care Manage Sci. Febrero, 2007. vol. 10, p. 13-24.

DIAZ, Fredi; VILLAR, Luis y MARTÍNEZ, Ruth. Reducción de la hospitalización mediante un algoritmo de manejo del dengue en Colombia. En: Rev Panam Salud Pública. 2011. vol. 30, no. 3, p. 248–254.

DOERNER, et al. Heuristic Solution of an Extended Double-Coverage Ambulance Location Problem for Austria. En: Central European Journal of Operations Research. Diciembre, 2005. vol. 13, no. 4, p. 325-340.

DUENAS, Alejandra; TÛTÛNCÛ, Yazgi y CHILCOTT, James B. A genetic algorithm approach to the nurse scheduling problem with fuzzy preferences. En: IMA Journal of Management Mathematics. Octubre, 2009. vol. 20, p. 369-383.

DZATOR, Michael y DZATOR, Janet. An effective heuristic for the P-median problem with application to ambulance location. En: Operational Research Journal. Enero - Marzo, 2013. vol. 50, p. 60–74.

ELEJALDE DEL RÍO, Candy y CASTAÑEDA, Leila. Modelo para la asignación de rutas de ambulancias de la empresa Health Society S.A para la prestación de servicio en Bogotá. Bogotá D.C.: Universidad Libre. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial, 2010. 19 p.

FABRELLAS, Núria, et al. A program of nurse algorithm-guided care for adult patients with acute minor illnesses in primary care. En: BMC Family Practice. Mayo, 2013. vol. 14, 8 p.

FERREIRA, Rodrigo B, et al. Optimizing patient flow in a large hospital surgical center by means of discrete-event computer simulation models. En: Journal of Evaluation in Clinical Practice. Diciembre, 2008. vol. 14, p. 1031–1037.

FLOREZ, Diana, et al. Optimization of the Laundry Service in a Public Hospital in Bogotá D.C., Colombia: A Case of Vehicle Routing with Split Delivery. En: Systems and Information Engineering Design Symposium. (25, Abril, 2008: Charlottesville, USA). IEEE, 2008. p. 106-111.

FONTENA FAUNDEZ, Hugo. Situación actual de la logística. En: Revista de Marina : Escenarios de la actualidad. 2003, vol. 5, p. 2.

FORERO, A, et al. Optimización Del Proceso De Esterilización De Paquetes Quirúrgicos En Un Hospital Privado. En: Cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol.8, 15 p.

GÁFARO, Aurora; MALLOR, fermin y AZCÁRATE, C. Modelado de la atención en consulta externa en un hospital público: una herramienta de gestión. En: Rev. Gerenc. Polit. Salud. Enero-Junio, 2014. vol. 13, no. 26, p. 106-118.

GARG, Lalit, et al. A non-homogeneous discrete time Markov model for admission scheduling and resource planning in a cost or capacity constrained healthcare system. En: Health Care Management Science. Junio, 2010. vol. 13, p. 155-169.

GOCCUN, Yasin, et al. A Markov decision process approach to multi-category patient scheduling in a diagnostic facility. En: Artificial Intelligence in Medicine. Octubre, 2011. vol. 53, p. 73-81.

GOMEZ, Jorge; LEPETIC, Alejandro y DEMARTEAU, Nadia. Health economic analysis of human papillomavirus vaccines in women of Chile: perspective of the health care payer using a Markov model. En: BMC Public Health. Noviembre, 2014. vol. 14, 13 p.

GRAVES SC y SCHWARZ LB. Single cycle continuous review policies for arborescent production/inventory systems. Management Science 1977;23 p. 529–40.

GU, Wei; WANG, Xin y MCGREGOR, Elizabeth. Optimization of preventive health care facility locations. En: International Journal of Health Geographics. Marzo, 2010. 16 p.

GUARACAO, P, et al. Optimizing Resources Involved in the Reception of an Emergency Call. En: MEJÍA, GONZALO y VELASCO, NUBIA. Production Systems and Supply Chain Management in Emerging Countries: Best Practices. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Marzo, 2012. p. 115-137.

GUERRERO; YEUNG, T. y GUÉRET, C. Joint-optimization of inventory policies on a multi-product multi-echelon pharmaceutical system with batching and ordering constraints. En: European Journal of Operational Research. Junio, 2013. vol. 231, p. 98–108.

GUO, Yajun, et al. The Optimization Model of Hospital Sick Beds' Rational Arrangements. En: RONGBO ZHU, et al. Information Computing and Applications : International Conference, ICICA 2010, Tangshan, China. Octubre 15-18, 2010. Proceedings, Part I. 2010. vol. 105, p, 40-47.

GUTIÉRREZ, E. Valentina; GUTIÉRREZ, Valentina y VIDAL, Carlos. Home Health Care Logistics Management: Framework and Research Perspectives. En: International Journal of Industrial Engineering and Management. 2013. vol. 4, no. 3, p, 173-182.

GUTIÉRREZ, Elena, et al. Gestión logística en la prestación de servicios de hospitalización domiciliaria en el Valle del Cauca: caracterización y diagnóstico. En: Estudios Gerenciales. Octubre—Diciembre, 2014. vol. 30, no. 133, p. 441-450.

GUTJAHR, Walter J. y RAUNER, Marion S. An ACO algorithm for a dynamic regional nurse-scheduling problem in Austria. En: Computers & Operations Research. Marzo, 2007. vol. 34, no. 3, p. 642-666.

HADWAN, Mohammed, et al. A harmony search algorithm for nurse rostering problems. En: Information Sciences. Junio, 2013. vol. 233, p. 126-140.

HELM, Jonathan; LAPP, Marcial y SEE, Brendan. Characterizing an effective hospital admissions scheduling and control management system: a genetic algorithm approach. En: Simulation Conference (WSC). (5-8, Diciembre, 2010: Baltimore, Maryland). Proceedings of the 2010 Winter. IEEE, 2010. p. 2387-2398.

HERNÁNDEZ, P.C.; AMAYA, Ciro y VELASCO, Nubia. Modelo de coordinación de inventarios en la cadena de abastecimiento de medicamentos de un hospital público. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Julio, 2008. vol. 04, p. 1-14.

HIERMANN, Gerhard, et al. Metaheuristics for solving a multimodal home-healthcare scheduling problem. En: Central European Journal of Operations Research. Mayo, 2013. 25 p.

HOLTE, Matias y MANNINO, Carlo. The implementor/adversary algorithm for the cyclic and robust scheduling problem in health-care. En: European Journal of Operational Research. Mayo, 2013. vol. 226, p. 551–559.

HUANG, Han, et al. An evolutionary algorithm based on constraint set partitioning for nurse rostering problems. En: Neural Computing and Applications. Junio, 2014. vol. 25, no. 3-4, p. 703-715.

IANNONI, Ana Paula; MORABITO, Reinaldo y SAYDAM, Cem. A hypercube queueing model embedded into a genetic algorithm for ambulance deployment on highways. En: Annals of Operations Research. Enero, 2008. vol. 157, p. 207–224.

NOVENA CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE INGENIERÍA DE NEGOCIOS ELECTRÓNICO. (9: 9-11, Septiembre, 2012: Hangzhou, China). Transport Hub-and-spoke Network Optimization Model Construction of Pharmaceuticals Cold-chain Logistics. Hangzhou : Zhejiang University, IEEE 2012. p. 304-307.

IKEGAMI, Atsuko y NIWA, Akira. A subproblem-centric model and approach to the nurse scheduling problem. En: Mathematical Programming. Agosto, 2003. vol. 97, no. 3, p. 517-541.

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, secretaría de comunicaciones y transporte. Logística: Una Visión Sistemática. México, D.F. : Sanfandilia, Qro. 1995. p. 2. (ISSN 0188-7114).

International Conference on Energy and Environment Technology. (16-18, Octubre; Guilin, China). ZHANG, Jinhui, et al. Location Decision Model on Distribution Center of emergency Logistics for Emergency Event Based on Multilayer Fuzzy Optimization. 2009, p. 385-388.

JIE-JUN, Wu, et al. An Ant Colony Optimization Approach for Nurse Rostering Problem. En: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). (13-16, Octubre, 2013: Manchester, Reino Unido). IEEE, 2013. p.1672-1676.

JIMÉNEZ, et al. Optimización de los recursos en los hospitales: revisión de la literatura sobre logística hospitalaria. En: los cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria. Diciembre 2007. vol. 3, 13 p.

JINGPENG, Li y AICKELIN, Uwe. A Bayesian Optimization Algorithm for the Nurse Scheduling Problem. En: The 2003 Congress on Evolutionary Computation. (3: 8-12, Diciembre, 2003). IEEE, 2003, p. 2149-2156.

KAWANAKA, Hiroharu, et al. Genetic Algorithm with the Constraints for Nurse Scheduling Problem. En: Congress on Evolutionary Computation. (2: 27-30, mayo, 2001: Seúl, Corea del Sur). Memorias. IEEE, 2001. p. 1123-1130.

KBEDDOE, Gareth; PETROVIC, Sanja y LI, Jingpeng. A hybrid metaheuristic case-based reasoning system for nurse rostering. En: Journal of Scheduling. Abril, 2009. vol. 12. No. 2, p. 99-119.

KERGOSIEN, Y, et al. Metaheuristic algorithms for solving two interconnected vehicle routing problems in a hospital complex. En: Computers & Operations Research. Enero, 2013. vol. 40, p. 2508–2518.

KESSLER, Chad, et al. An Algorithm for Transition of Care in the Emergency Department. En: Academic Emergency Medicine : Official Journal of the Society Academic Emergency Medicine. Junio, 2013. vol. 6, p. 605-610.

KIM, Dong-Guen y KIM, Yeong-Dae. A Lagrangian heuristic algorithm for a public healthcare facility location problem. En: Annals of Operations Research. Julio, 2013. vol. 206, p. 221–240.

KOELEMAN, P.M; BHULAI, S. y VAN MEERSBERGEN, M. Optimal patient and personnel scheduling policies for care-at-home service facilities. En: European Journal of Operational Research. Junio, 2012. vol. 219, p. 557-563.

LAMAR, et al. Optimización del sistema de entrega de linos en un hospital público por medio de un problema de ruteo de inventarios. En: Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 18, p. 1-16.

LANDA SILVA, Dario y LE, Khoi N. A Simple Evolutionary Algorithm with Self-adaptation for Multi-objective Nurse Scheduling. En: Adaptive and Multilevel Metaheuristics. 2008. vol. 136, p. 133-155.

LANDA TORRES, et al. A multi-objective grouping Harmony Search algorithm for the optimal distribution of 24-hour medical emergency units. En: Expert Systems with Applications : An International Journal. 2013. vol. 40, p. 2343–2349.

LANDA-SILVA, Dario, et al. A heuristic algorithm based on multi-assignment procedures for nurse scheduling. En: Annals of Operations Research. Abril, 2013. vol. 218, no. 1, p. 165-183.

LANDRY, S.; BEAULIEU, M. “La logistique hospitalière : un remède aux maux du secteur de la santé?” En: AMAYA, Ciro., et al. Potenciando la contribución de la logística hospitalaria: tres casos, tres trayectorias. En: Management international / International Management / Gestión Internacional. Enero, 2010.vol.14, No. 4, p. 85-98.

LANDRY, Sylvain. PHILIPPE, Richard. How Logistics Can Service Healthcare En: Supply Chain Forum An International Journal. Fall, 2004. vol. 5, no. 2, p. 26.

LANZARONE, Ettore y MATTA, Andrea. Robust nurse-to-patient assignment in home care services to minimize overtimes under continuity of care. En: Operations Research for Health Care. Junio, 2014. vol. 3, p. 48-58.

LEE, Eva K, et al. Modeling and Optimizing the Public-Health Infrastructure for Emergency Response. En: Interfaces. Septiembre - Octubre, 2009. vol. 39, p. 476–490.

LI, Dii; LIU, Guangli y GAO, Youjian. Uncertainty Optimization Model for Emergency Resource Scheduling. En: Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, KAM '09. (30, Noviembre - 01, Diciembre, 2009: Wuhan, China). vol.1, p. 55-58.

LI, Jingpeng; AICKELIN, Uwe y BURKE, Edmund K. A Component-Based Heuristic Search Method with Evolutionary Eliminations for Hospital Personnel Scheduling. En: INFORMS Journal on Computing. 2008. vol. 21, 12 p.

LIM, Gino y MOBASHER, Arezou. Operating Suite Nurse Scheduling Problem: A Heuristic Approach. En: Proceedings of the 2012 Industrial and Systems Engineering Research Conference. (19-23, Mayo, 2012: Orlando, Florida). 2012.

LIU, Ran, et al. Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care. En: European Journal of Operational Research. Noviembre, 2013. vol. 230, p. 475-486.

LÓPEZ, Javier; LANZARINI, Laura y DE GIUSTI, Armando. Evolutionary Multiobjective Optimization for Emergency Medical Services. En: Proceedings of the 13th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation. (13: 12-16, Julio, 2011: Dublin, Irlanda). Memorias. New York: ACM. p. 83-84.

LOTFI, Vahid y TORRES, Edgar. Improving an outpatient clinic utilization using decision analysis- based patient scheduling. En: Socio-Economic Planning Sciences. 2014. vol. 48, p. 115-126.

LYNCH, Clifford F. Logistics outsourcing : a management guide. Ed 01. Illinois : Council of Logistics Management, 2000. 319 p.

M'HALLAH, Rym y ALKHABBAZ, Amina. Scheduling of nurses: A case study of a Kuwaiti health care unit. En: Operations Research for Health Care. Marzo-Junio, 2013. vol. 2 no. 1-2, 19 p.

MACEIRA, Daniel. Documento Técnico sobre Financiación y Reforma del Sector Salud: Un análisis sistematizado de modelos y experiencias clave en América Latina y Europa.[en línea] Disponible en: <<http://biblioteca.programaeurosocial.eu/PDF/Salud/Salud5.pdf>>

MACÍAS CHAPULA, et al. Actividades de investigación y desarrollo en hospitales de América Latina y el Caribe, identificadas a través de sus sitios Web. En: Revista Española de Documentación Científica. Octubre – Diciembre, 2007. vol. 30, no. 4, p. 504.

MAENHOUT, Broos y VANHOUCKE, Mario. An integrated nurse staffing and scheduling analysis for longer-term nursing staff allocation problems. En: Omega. Abril, 2013. vol. 41, no. 2, p. 485-499.

MAJZOUBI, Farshad; BAI, Lihui y HERAGU, Sunderesh S. A Heuristic Method for Transporting Patients to Hospitals. En: Proceedings of the 2013 Industrial and Systems Engineering Research Conference.(18-22, Mayo, 2013: San Juan, Puerto Rico). 2013, p. 1737-1746.

MARIĆ, Miroslav; STANIMIROVIĆ, Zorica y BOŽOVIĆ, Srdjan. Hybrid metaheuristic method for determining locations for long-term health care facilities. En: Annals of Operations Research. Enero, 2013. 21 p.

MARQUES, Inés; CAPTIVO, Eugenia y VAZ PATO, Margarita. Scheduling elective surgeries in a Portuguese hospital using a genetic heuristic. En: Operations Research for Health Care. Junio, 2014. vol. 3, p. 59-72.

MEDAGLIA, Andrés; VILLEGAS, Juan y RODRÍGUEZ, D. Hybrid biobjective evolutionary algorithms for the design of a hospital waste management network. En: Journal of Heuristics. Abril, 2009. vol. 15, no. 2, p. 153-176.

- MÉNDEZ, Claudio y TORRES, M. Autonomía en la gestión hospitalaria en Chile: los desafíos para el recurso humano en salud. En: Rev Saúde Pública. 2010. vol.44, no. 2, p, 366-371.
- MENGHAO, Xi, et al. A Modified p-Median Model for the Emergency Facilities Location Problem and Its Variable Neighborhood Search-Based Algorithm. En: Journal of Applied Mathematics. Abril, 2013. vol. 2013, 10 p.
- MOBASHER, Arezou. Nurse Scheduling optimization a general clinic and an operating suite. Tesis de Doctorado en Filosofía en Ingeniería Industrial. Houston: University of Houston. Facultad del departamento de ingeniería industrial. 2011. p, 210.
- MORENO, Miguel y MENDOZA, Abraham. Hospital Excellence Operation Model: an Approach to Lean Healthcare in Mexican Hospitals. En: Proceedings of the 2012 Industrial and Systems Engineering Research Conference. (19-23, mayo, 2012: Orlando, USA). 11 p.
- MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. A genetic algorithm approach to a nurse rostering problem. En: Computers & Operations Research. Marzo, 2007. vol. 34, no. 3, p. 667-691.
- MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. An integer multicommodity flow model applied to the rostering of nurse schedules. En: Annals of Operations Research. Marzo, 2003. vol. 119. No. 1-4, p. 285-301.
- MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. Solving a bi-objective nurse rostering problem by using a utopic Pareto genetic heuristic. En: Journal of Heuristics. Agosto, 2008. vol. 14, no. 4, p. 259-374.
- MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. Solving the Problem of Rerostering Nurse Schedules with Hard Constraints: New Multicommodity Flow Models. En: Annals of Operations Research. Abril, 2004. vol. 128, no. 1-4, p. 179-197.
- MUCKSTADT JA, ROUNDY RO. Analysis of multistage production systems. Handbooks in OR & MS, vol. 4; 1993.
- NAOUM SAWAYA, Joe y ELHEDHLI, Samir. A stochastic optimization model for real-time ambulance redeployment. En: Computers & Operations Research. Febrero, 2013. vol. 40, p. 1972–1978.
- NI, Chen, et al. A Genetic Algorithm for the Optimization of Admission Scheduling Strategy in Hospitals. En: IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). (18-23 Julio, 2010: Barcelona, España). 2010, 5p.

NICHOLSON, Lawrence. VAKHARIA, Asoo J. y ERENGUC, S. Selcuk. Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application. En: European Journal of Operational Research. 2004. p. 271–290.

NORDIN, Noraimi, et al. Finding Shortest Path of the Ambulance Routing: Interface of A* Algorithm using C# Programming. En: IEEE Symposium on Humanities, Science and Engineering Research. (24-27, junio, 2012: Kuala Lumpur: Malaysia). IEEE, 2012. p. 1569-1573.

OHKI, M y KISHIDA, S. A parameter free algorithm of cooperative genetic algorithm for nurse scheduling problem. En: International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). (22-25, Agosto, 2013: Mysore, India). IEEE, 2013. p. 1201-1206.

OHKI, M; UNEME, S y KAWANO, H. Parallel Processing of Cooperative Genetic Algorithm for Nurse Scheduling. En: Intelligent Systems, 2008. IS '08. 4th International IEEE Conference. (2: 6-8, Septiembre, 2008: Varna, Bulgaria). IEEE, 2008. p.10-36, 10-4.

OZTURK, Onur, et al. A branch and bound based heuristic for makespan minimization of washing operations in hospital sterilization services. En: European Journal of Operational Research. Noviembre, 2014. vol. 239, no. 1, p. 214-226.

OZTURK, Onur, et al. Optimizing the Makespan of Washing Operations Of Medical Devices in Hospital Sterilization Services. En: IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM), (18-20, febrero, 2010: Venice, Italy). IEEE, 2010. 6 p.

P. SHAHNAZARI Shahrezaei, et al. A differential evolution algorithm developed for a nurse scheduling problem. En: South African Journal of Industrial Engineering. 2012. vol. 23, no. 3. p. 68-90.

PRADENAS ROJAS, Lorena y MATAMALA VERGARA, Exequiel. Una formulación matemática y de solución para programar cirugías con restricciones de recursos humanos en el hospital público. En: Ingeniare : Revista chilena de ingeniería. 2012. vol. 20, no. 2, p. 230-241.

PUENTE, Javier, et al. Medical doctor rostering problem in a hospital emergency department by means of genetic algorithms. En: Computers & Industrial Engineering. Mayo, 2009. vol. 56, p. 1232–1242.

RAMOS, Andrés. Sánchez Pedro; Ferrer José María y Barquín Julián. Linares Pedro. Modelos Matemáticos de Optimización. Septiembre, 2010. Universidad Pontificia Comillas. p. 6.

RAUNER, Marion S, et al. Resource planning for ambulance services in mass casualty incidents: a DES-based policy model. En: Health Care Manag Sci. Junio, 2012. vol. 15, p. 254–269.

RENNERT, Wolfgang y KOOP, Elizabeth. Primary Health Care for Remote Village Communities in Honduras: A Model for Training and Support of Community Health Workers. En: International Family Medicine. Octubre, 2009. vol.41, no, 9, p. 646-651.

REVECO, Carlos y WEBER, Richard. Gestión de Capacidad en el Servicio de Urgencia en un Hospital Público. En: Revista Ingeniería de Sistemas. Chile, Septiembre, 2011. vol. 25, p. 57-75.

RODRÍGUEZ, D y MEDAGLIA, A. Configuración Logística para Tratamiento de Residuos Hospitalarios Peligrosos. En: Repositorio digital DSPACE de la Universidad de los Andes. 2006, 11p. [en línea]. [consultado 23 de oct. 2014]. Disponible en: <<http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/845/ROD%20CLT.pdf?sequence=1>>

ROLAND, B, et al. Scheduling an operating theatre under human resource constraints. En: Computers & Industrial Engineering. Marzo, 2010. vol. 58, p. 212–220.

ROMERO, H., et al. Admission and capacity planning for the implementation of one-stop-shop in skin cancer treatment using simulation-based optimization. En: Health Care Manag Sci. 2013. vol. 16, p. 75–86.

RUIZ MUÑOZ, David. Nuevas tendencias en la logística sanitaria. En: Revista Administración Sanitaria. fall. 2005. vol. 3, no. 3,p. 506.

SALGADO DE SNYDER, et al. Modelo de integración de recursos para la atención de la salud mental en la población rural de México. En: salud pública de México. enero-febrero dc 2003. vol. 45, no. 1, p. 19-26.

SANCHEZ, Ricardo; Gamboa, Oscar y DÍAZ, Jorge. Modelos empleados para la Toma de Decisiones en el Cuidado de la Salud. En: Rev. salud pública. 2008. vol. 10, ,no. 1, p. 178-188.

SASAKI, Satoshi, et al. Using genetic algorithms to optimise current and future health planning - the example of ambulance locations. En: International Journal of Health Geographics. 2010. vol. 9, no. 4, 10 p.

SATOSHI, Sasaki, et al. A modified grouping genetic algorithm to select ambulance site locations. En: International Journal of Geographical Information Science. Mayo, 2011. vol. 25, no, 5, p. 807–823.

SCHWARZ LB. A simple continuous review deterministic one warehouse N-retailer inventory problem. *Management Science*. 1973;19 p. 555–66.

SEGURA, Esther; ALTAMIRANO, L Y FLORES DE LA MOTA, I. Simulation and Optimization of the Pre-hospital Care System of the National University of Mexico using Travelling Salesman Problem algorithms. En: Conference: SummerSim 2010 Summer Simulation Multiconference. (11-14, Julio, 2010: Ottawa, Canadá). 7 p.

SIDDHARTHA, S. Syama y MURRAY, J. Côté. A comprehensive location-allocation method for specialized healthcare services. En: *Operations Research for Health Care*. Diciembre, 2012. vol. 1, p. 73–83.

SINGER, Marcos; Donoso, Patricio y Wolf, Alan. Una introducción a la teoría de colas aplicada a la gestión de servicios. En: *Revista ABANTE*. Octubre, 2008. vol. 11, no. 2, 22 p.

SOFTWARE ENGINEERING AND SERVICE SCIENCE (ICSESS), IEEE 2nd International Conference on. (2: 15-17, Julio 2011: Beijing, China). A Relatively Robust Optimization Algorithm for Emergency Facility Location. Beijing International Convention Center. Julio, 2011. p. 243-246.

STANFORD, David A, et al. A multi-class multi-server accumulating priority queue with application to health care. En: *Operations Research for Health Care*. Junio, 2014. vol. 3, p. 73-79.

SUN, Li; DEPUY, Gail y EVANS, Gerald W. Multi-objective optimization models for patient allocation during a pandemic influenza outbreak. En: *Computers & Operations Research*. Noviembre, 2014. vol. 51, p. 350–359.

SUN, Yunshan, et al. Application of Crossover Mutation Ant Colony Algorithm in Emergency Logistics Vehicle Routing Problem. En: *Systems and Informatics (ICSAI), 2012 International Conference on*. (19-20, Mayo, 2012: Yantai, China). IEEE, 2012. p. 86-89.

TLAHIG, Houda, et al. Centralized versus distributed sterilization service: A location–allocation decision model. En: *Operations Research for Health Care*. Diciembre, 2013. vol. 2, no, 4, p. 75-85.

TODOROVIC, Nikola y PETROVIC, Sanja. Bee Colony Optimization Algorithm for Nurse Rostering. En: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. Marzo, 2013. vol. 43, no. 2, p. 467-473.

TOPALOGLU, Seyda y OZKARAHAN, Irem. A constraint programming-based solution approach for medical resident scheduling problems. En: *Computers & Operations Research*. Enero, 2011. vol. 38, p. 246–255.

TOPALOGLU, Seyda y SELIM, Hasan. Nurse scheduling using fuzzy modeling approach. En: Fuzzy Sets and Systems. Junio, 2010. vol. 161, no. 11, p. 1543-163.

TOPALOGLU, Seyda. A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents. En: Computers & Industrial Engineering. Septiembre, 2006. vol. 51, p. 375–388.

TOPALOGLU, Seyda. A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare. En: European Journal of Operational Research. Noviembre, 2009. vol. 198, p. 943–957.

TSAI, Chang-Chun y LEE, Cheng-Jung. Optimization of Nurse Scheduling Problem with a Two-Stage Mathematical Programming Model. En: Asia Pacific Management Review. Diciembre, 2010. vol. 15, p. 503-516.

TSAI, Chang-Chun y LI, Sherman. A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem. En: Expert Systems with Applications. Julio, 2009. vol. 36, p. 9506-9512.

UTHAYAKUMAR R. y PRIYAN S. Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital. En: Operations Research for Health Care. Agosto, 2013. vol. 2, No. 3, p. 52 – 64.

VAN ESSEN, J.T., et al. Minimizing the waiting time for emergency surgery. En: Operations Research for Health Care. Junio-Septiembre, 2012. Vol. 1, p. 34-44.

VELÁSQUEZ, Paula; RODRÍGUEZ, Alma y JAÉN, Juan. Metodologías cuantitativas para la optimización del servicio de urgencias: una revisión de la literatura. En: Rev. Gerenc. Polit. Salud, Bogotá. Julio – Diciembre, 2011. vol. 10, no. 21, p. 1996-218.

VELOZA, et al. Implementación de reglas de despacho para la programación de cirugías en un hospital de Bogotá. En: Los cuadernos de PYLO : Logística Hospitalaria. 2008. vol. 7, 12 p.

VERMEULEN, I, et al. Adaptive Optimization of Hospital Resource Calendars. En: BELLAZZI, RICCARDO, et al. Artificial Intelligence in Medicine : 11th Conference on Artificial Intelligence in Medicine, AIME 2007, Amsterdam, The Netherlands, July 7-11, 2007. Proceedings. 2007. vol. 4594, p, 305-315.

VLAH, S; LUKAC, Z. y PACHECO, J. Use of VNS heuristics for scheduling of patients in hospital. En: Journal of the Operational Research Society. Enero, 2011. vol. 62, p. 1227-1238.

WHITE, Leroy; SMITH, Honora y CURRIE, Christine. OR in developing countries: A review. En: European journal of operational research. Febrero, 2010. vol. 208, 11 p.

WOLFF Patrcio; DURÁN, Guillermo y REY, Pablo. Modelos de Programación Matemática Para Asignación de Pabellones Quirúrgicos en Hospitales Públicos. En: Revista Ingeniería de Sistemas. 2012. vol. 26, p. 23-48.

WRIGHT, Daniel y MAHAR, Stephen. Centralized nurse scheduling to simultaneously improve schedule cost and nurse satisfaction. En: Omega. Diciembre, 2013. vol. 41, no. 6, p. 1042-1052.

XUEPING, Li, et al. Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. En: Mathematical Methods of Operations Research. Julio, 2011. vol. 74, p. 281–310.

YANG, Feng-Cheng y WU, Wei-Ting. A genetic algorithm-based method for creating impartial work schedules for nurses. En: International Journal of Electronic Business Management, Septiembre, 2012. vol. 10, no. 3, p.182-193.

YILMAZ , Ebru. A Mathematical Programming Model for Scheduling of Nurses' Labor Shifts. En: Journal of Medical Systems. Abril, 2010. vol. 36, p. 491-496.

ZHANG, Zebin; HAO, Zhifeng y HUANG, Han. Hybrid Swarm-Based Optimization Algorithm of GA&VNS for Nurse Scheduling Problem. En: Information Computing and Applications. 2011. vol. 7030, p. 375-382.

ZHAO, Ming y SONG, Xiao-yu. Scheduling Optimization of Multi to Multi Emergency Supplies Model. En: 4th International Conference on Multimedia Information Networking and Security (MINES). (4: 2-4, Noviembre, 2012: Nanjing, China). Memorias. Guangjie Liu Nanjing University of Science & Technology, 2012. p. 521-524.

ZHAO, Yan-Chao, et al. d-Cover Algorithm for Location in Urban Emergency Systems. En: 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT). (2: 17-18, Julio, 2010: Wuhan, China). IEEE, 2010. p. 434-437.

ZHENG, Bichen; YOON, Sang Won y LU, Susan. An optimization model for reliable healthcare inventory sharing network. En: Conferencia de Investigación de Ingeniería Industrial y de Sistemas. (2013, Universidad Estatal de Nueva York, Binghamton). Actas. A. Eds, Krishnamurthy y W.K.V. Chan, 2013. p. 1542-1551.

ZUBIETA, et al. Propuesta metodológica para el cálculo de capacidades en un centro de salud. En: los cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria. Diciembre, 2008. vol. 11, 18 p.

ANEXO A

ECUACIONES DE BÚSQUEDA PARA PUBLICACIONES SOBRE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LOGÍSTICA HOSPITALARIA EN LA ISI. (PRIMER ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO)

ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	RESULTADOS
1 Tema: ("RESOURCE*" AND "HEALTH CARE*" AND "ALGORITHM*")	170
2 Tema: ("HEALTH CARE*" AND "ALGORITHM*")	1.307
3 Tema: ("HEALTH CARE logistic*")	10
4 Tema: ("hospital* logistic*")	80
5 Tema: ("hospital* logistic*" AND "MODEL*")	31
10 Tema: ("logistic*" AND "hospital*" AND "optimization")	81
12 Tema: ("method*" AND "algorithm*" AND "optimization*" AND "logistic*" AND "hospital*")	12
13 Tema: ("method*" AND "algorithm*" AND "optimization*" AND "programm*" AND "logistic*" AND "hospital*")	3
15 Tema: ("model*" AND "algorithm*" AND "optimization*" AND "medical resource*")	3
16 Tema: ("model*" AND "algorithm*" AND "optimization*" AND "medical*")	374
17 Tema: ("model*" AND "algorithm*" AND "optimization*" AND "Health care*")	43
18 Tema: ("model*" AND "algorithm*" AND "optimization*" AND "Hospital*" AND "emergency")	9
19 Tema: ("model*" AND "algorithm*" AND "resource*" AND "Hospital*" AND "rout*")	8
20 Tema: ("model*" AND "algorithm*" AND "resource*" AND "health care" AND "pharmac*")	4
21 Tema: ("method*" AND "algorithm*" AND "optimization*" AND "hospital*" AND "health care" AND "SERVIC*")	4
22 Tema: ("method*" AND "algorithm*" AND "optimization*" AND "hospital*" AND "health care")	11
23 Tema: ("method*" AND "algorithm*" AND "optimization*" AND "hospital*")	100
24 Tema: ("method*" AND "optimization*" AND "hospital*")	783
25 Tema: ("method*" AND "optimization*" AND "hospital*" AND "localization*")	7
26 Tema: ("model*" AND "optimization" AND "medical" AND "service")	55

ANEXO B

TOP 10 PALABRAS MENCIONADAS CON MAYOR FRECUENCIA EN LAS PUBLICACIONES RECUPERADAS DE LA BASE DE DATOS.

Palabra clave	Nº de publicaciones mencionadas
Optimización	285
Cuidados de la salud	266
Algoritmo	207
Modelos	195
Hospital	155
Programación	106
Logística	85
Farmacia	69
Localización	57
Programación de inventarios	52

Fuente: Base de datos Web of Science tras procesamiento en el Vantage Point. Período 2001-2013.

ANEXO C.

ECUACIÓN DE BÚSQUEDA PARA RECUPERACIÓN DE PUBLICACIONES REFERENTES A MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LOGÍSTICA HOSPITALARIA CONTENIDAS EN LA ISI. (SEGUNDO ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO)

Historial de búsqueda:

Conjunto	Resultados	<input type="button" value="Guardar historial/Crear alerta"/> <input type="button" value="Abrir historial guardado"/>
# 1	988	TI= ((LOGISTIC* OR "HEALTH service*" OR "Medical Emergenc*" OR "emergency *" OR "HEALTH care" OR "HEALTHCARE" OR pharmacy OR HOSPITAL* OR ambulanc* OR "Emergency Call" OR NURSE*) AND ((MODEL* OR OPTIMIZAT* OR ALGORITHM* OR Heuristic* OR "Operation* Research" OR "mathematical model*") OR (SCHEDUL* OR ASSIGN* OR PLANN* OR SUPPLY* OR DISTRIBUTION* OR ROUT* OR TRANSPORT* OR LOCATION* OR LOCALIZATION* OR ADMISSION* OR VEHICLE* ROUT*))) AND TS= ((LOGISTIC* OR schedule* OR " ROUT* VEHICLE*" OR "Operation* Research") AND (MEDICAL* OR "HEALTH care" OR HOSPITAL* OR pharmacy OR clinic* OR MEDIC* OR "HEALTH service*" OR "Medical Emergency*)) <i>Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI Período de tiempo=Todos los años</i>

ANEXO D

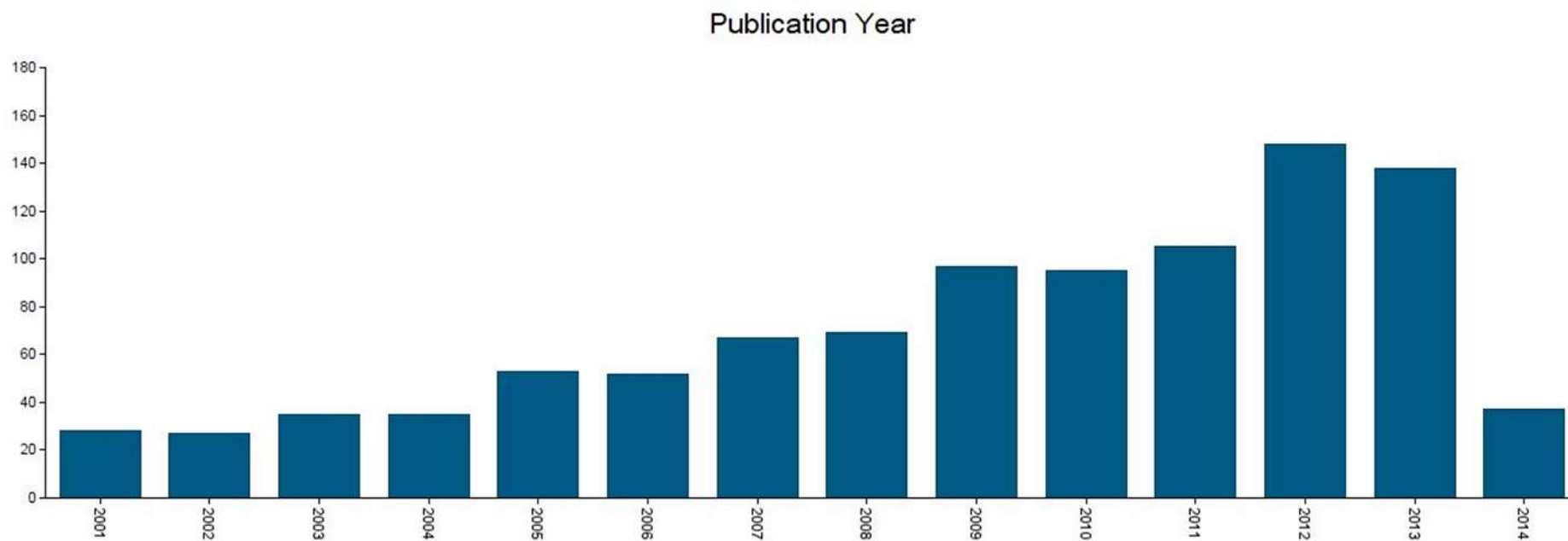
ANÁLISIS DE INDICADORES BIBLIOMÉTRICOS, FUENTE: BASE DE DATOS WEB OF SCIENCE TRAS PROCESAMIENTO EN EL SOFTWARE VANTAGE POINT. PERÍODO 2001-2014.

- Palabras clave mayor citadas en las publicaciones

Palabras Clave	No de Publicaciones
Regresión logística	51
Mortalidad	48
Hospital	47
Departamento de emergencia	45
Modelamiento	30
Servicio de salud	26
Resultados	25
Modelo logístico	24
Unidad de cuidados intensivos	21
Modelo de predicción	20
Admisión de hospitales	18
Programación de enfermeras	18
Factor de riesgo	18
Predicción	16
Epidemiología	14
Pronóstico	14
Paro cardíaco	13
Cuidados de la salud	13
Ajuste de riesgo	13
Infarto agudo de miocardio	12
Algoritmo genético	12
Logística	12
Programación	12
Red neuronal artificial	11
Servicio médico de emergencia	11

En esta tabla se relacionan las primeras 25 palabras claves citadas con mayor frecuencia en el banco de documentos analizados, estas palabras son términos relacionados con el contenido del artículo y que permiten clasificar el listado de artículos bajo un índice o tema particular.

✚ Dinámica de publicación (2001– 2014)



En la figura se observa que el número de publicaciones que se han hecho desde el año 2001 hasta el 2014 relacionadas con la temática investigada, muestra un crecimiento continuo alcanzando su punto máximo en el año 2012, de igual forma se deduce que dicha temática es emergente.

- Países con mayor número de publicaciones internacionales.

	# Records	# Instances	Countries
1	359	1103	USA
2	137	317	UK
3	73	215	Canada
4	43	121	Australia
5	43	88	Germany
6	43	152	Spain
7	36	98	Italy
8	34	75	France
9	30	90	Japan
10	30	64	Netherlands

Esta lista se relaciona con el objetivo de conocer los países con mayores publicaciones relacionadas con el área de investigación, en la que se observa que Estados Unidos se consolida como el líder en cuanto a productividad científica en el área, con un total de 359 publicaciones, seguido por Reino Unido, Canadá y Australia. Además de esto, no se lista ningún país latinoamericano en esta lista lo cual deja en evidencia poca cantidad de publicaciones provenientes de estos países.

- Instituciones con mayor número de publicaciones

	# Records	# Instances	Organization
1	30	43	Harvard Univ
2	26	49	Univ Toronto
3	18	38	Univ Michigan
4	18	28	Univ Washington
5	16	30	Johns Hopkins Univ
6	15	24	Univ Calif Los Angeles
7	14	23	Emory Univ
8	14	22	Univ Calif San Francisco
9	14	37	Univ Penn
10	13	25	Univ N Carolina
11	12	21	Inst Clin Evaluat Sci
12	12	25	Massachusetts Gen Hosp
13	12	15	UCL
14	12	23	Univ London Imperial Coll Sci Technol & M
15	11	21	Brigham & Womens Hosp

En el análisis de la instituciones con el mayor número de publicaciones relacionadas con el área de investigación, se relaciona un gran numero correspondientes a instituciones educativas norteamericanas, la Universidad de Harvard (USA), la Universidad de Toronto (Canadá) y La Universidad de Míchigan (USA) se ubican en los primeros lugares.

- **Revistas con mayor número de publicaciones**

	# Records	# Instances	Journal (Cleaned)
1	19	19	Resuscitation
2	18	18	Acad. Emerg. Med.
3	17	17	BMC Health Serv. Res.
4	17	17	J. Oper. Res. Soc.
5	14	14	Eur. J. Cardio-Thorac. Surg.
6	14	14	J. Emerg. Med.
7	13	13	Ann. Emerg. Med.
8	12	12	Eur. J. Oper. Res.
9	12	12	Stat. Med.
10	11	11	Health Care Manag. Sci.

Un mayor número de publicaciones siempre indica que una revista cuenta con cierto prestigio en el área del conocimiento en el que se especializa. En esta tabla se presenta el ranking de las revistas con mayor publicaciones entre las recuperadas, en donde la revista Resuscitation se establece como número uno con un total de 19 documentos publicados, dicha revista, es clasificada como una revista médica internacional e interdisciplinaria, que comprende artículos de texto completo disponibles desde 1997 hasta la fecha. En las siguientes tres posiciones se ubican las revistas Academic Emergency Medicine, BMC Health Services Research y European Journal of Operational Research.

- **Autores con mayor número de publicaciones**

	# Records	# Instances	Authors (Cleaned)
1	10	10	Silke, Bernard
2	8	8	O'Riordan, Deirdre
3	7	7	Chen, Yee-Chun
4	6	6	Aronson, William J
5	6	6	Austin, Peter C
6	6	6	Bennett, Kathleen
7	6	6	Bottle, Alex
8	6	6	Shavelle, David M
9	6	6	Steyerberg, Ewout W
10	5	5	Austin, PC

✚ Porcentaje de publicaciones aportadas por los primeros 15 autores con mayor publicaciones

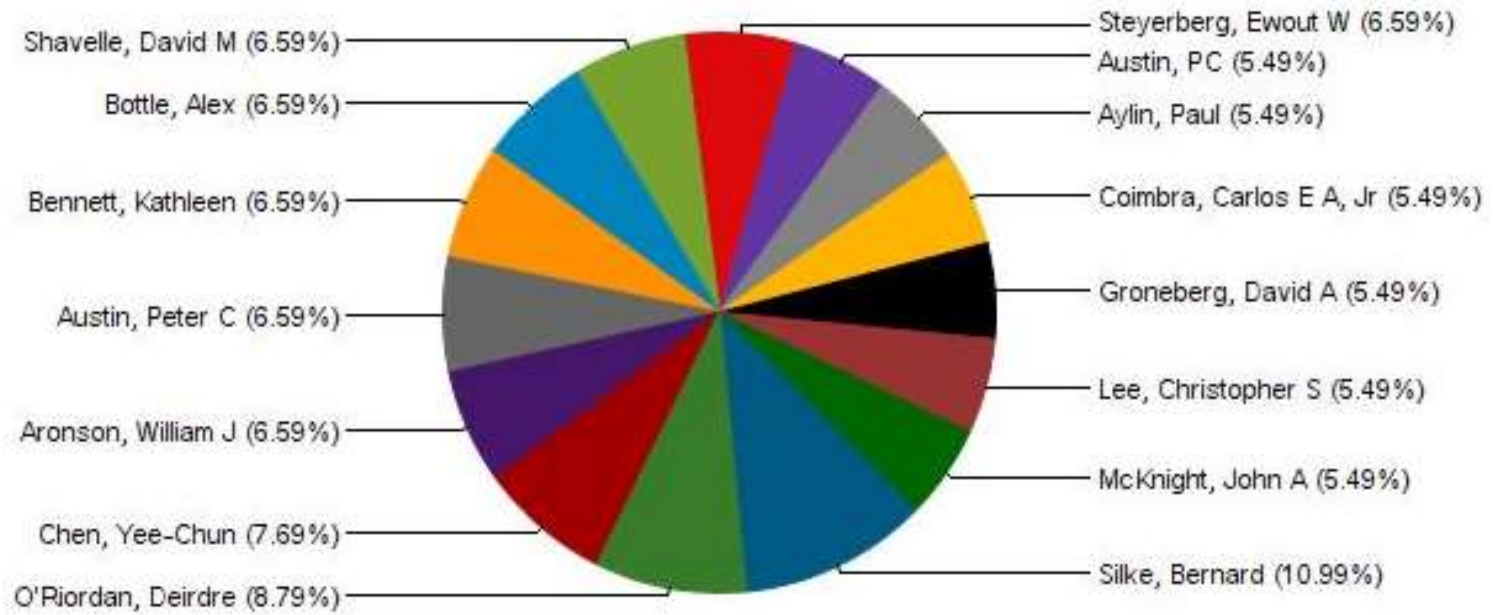
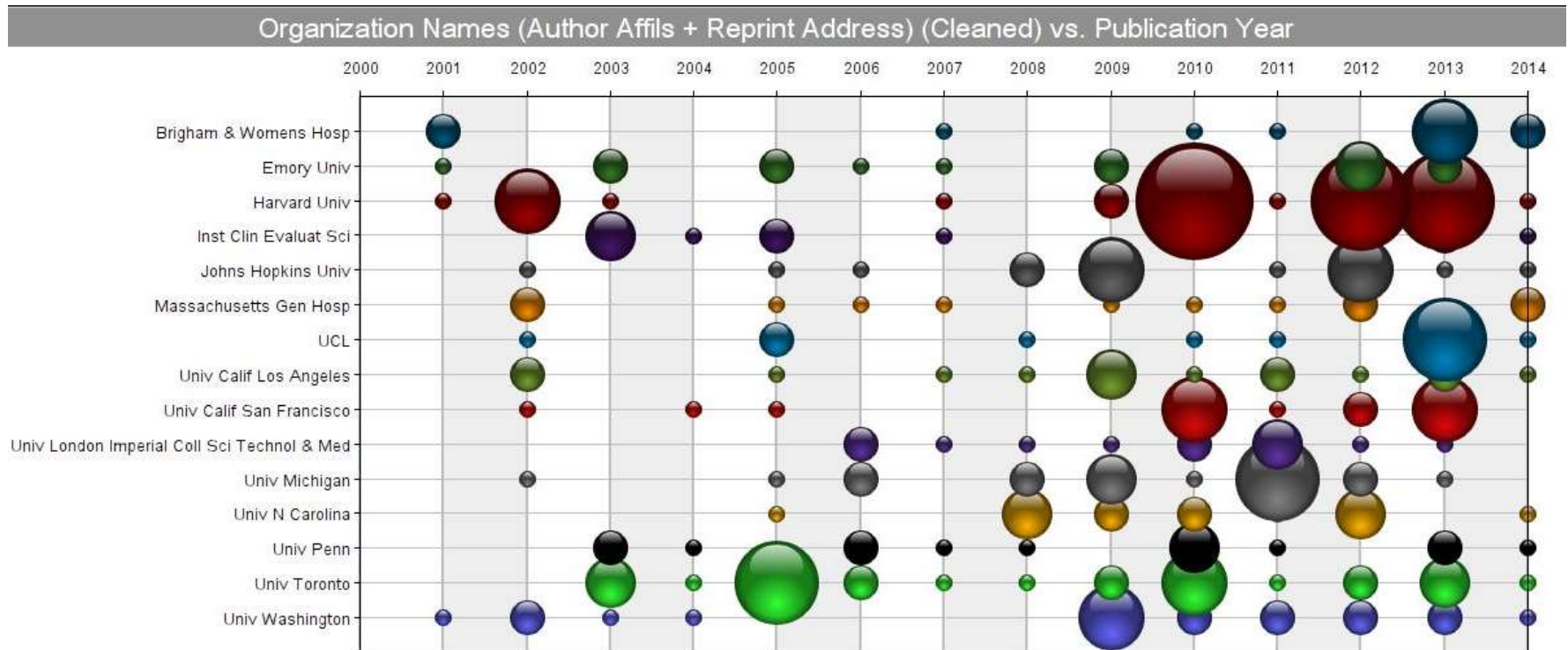
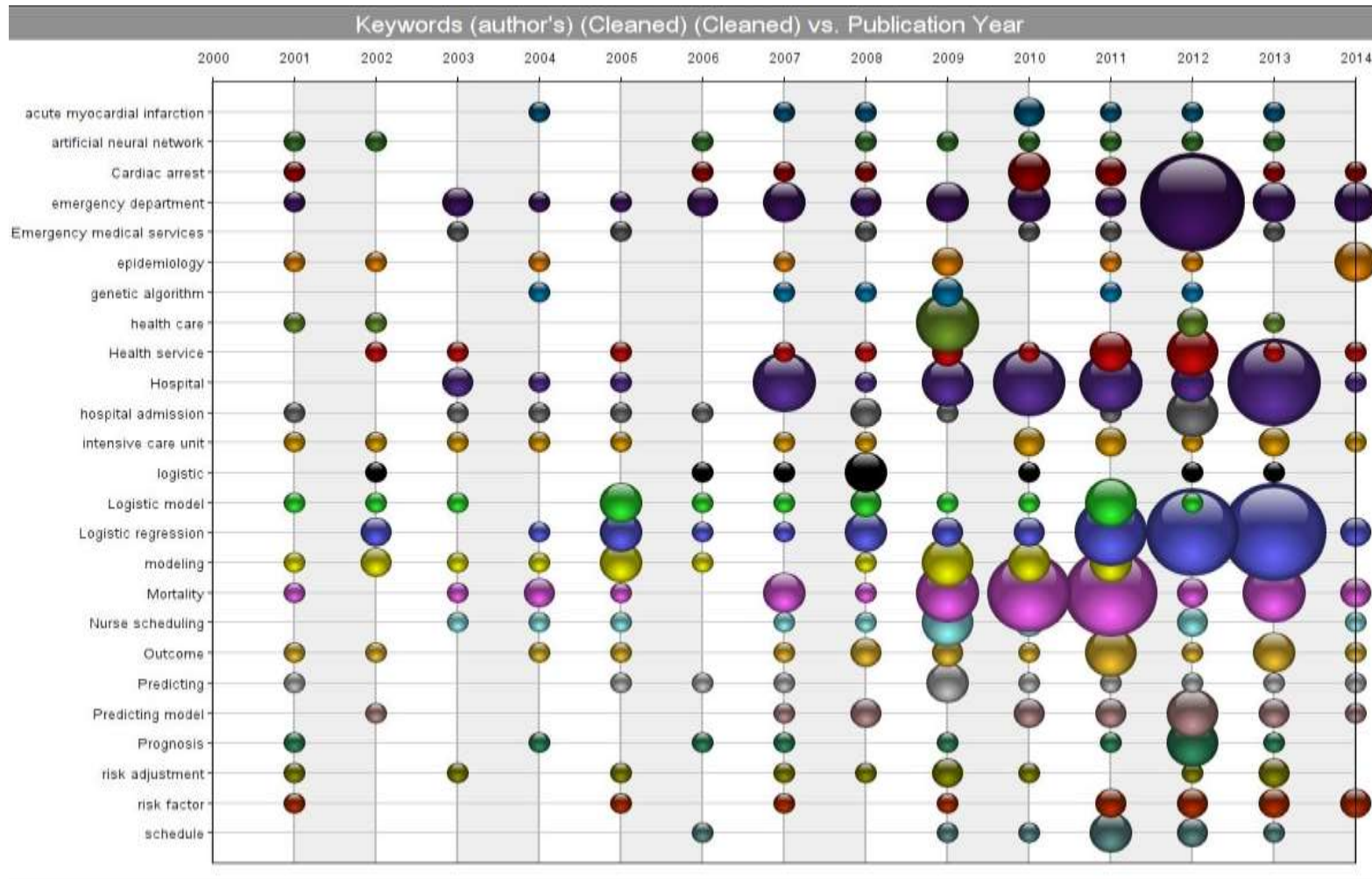


Gráfico de correlación entre las 15 primeras instituciones con mayor número de publicaciones Vs año de publicación.



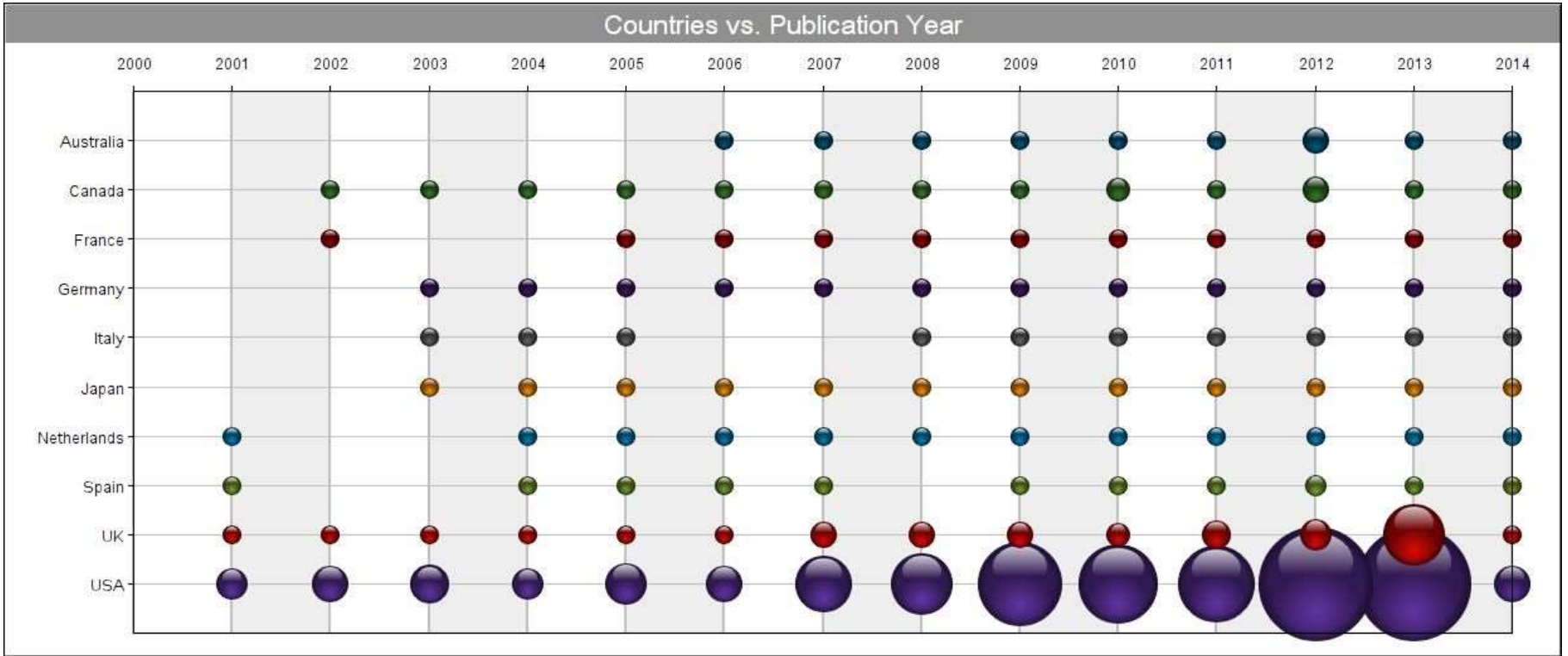
Según el gráfico en el último año (2014) las instituciones con mayor publicaciones sobre el tema de investigación son: la Universidad de Harvard, Brigham and Women's Hospital, UCL - London's Global University (UCL), University of California, San Francisco y la Universidad de Toronto.

✚ Gráfico de correlación entre las 25 primeras keywords citadas con mayor frecuencia Vs año de publicación.



Este gráfico se realiza con el fin de saber cuáles son las palabras claves más publicadas y mencionadas por año, en el que se puedes concluir que una de las palabras más citadas en el año 2012 fueron “departamento de emergencia” y “regresión logística”, mostrando esta ultima un comportamiento emergente desde el año 2011.

✚ Gráfico de correlación entre las 10 primeros países con mayor número de publicaciones Vs el año de publicación



ANEXO F
ARTÍCULO PUBLICABLE
ESTADO DEL ARTE DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN
LA LOGÍSTICA HOSPITALARIA

STATE OF THE ART OF OPTIMIZATION MODELS FOR
HOSPITAL LOGISTICS

DIANA KARINA BAUTISTA CHINCHILLA
Ingeniera Industrial
Universidad Industrial de Santander
Diana_kry@hotmail.com
Bucaramanga, Colombia

RESUMEN

En este artículo se presenta, una revisión bibliográfica sobre los modelos de optimización en la logística hospitalaria, abarcando distintos problemas entre el abastecimiento en la cadena de suministro, planeación y prestación del servicio de atención de emergencias médicas, localización de centros de atención, programación de salas de cirugía, asignación de recursos médicos, programación de admisiones, atención de salud domiciliaria, programación de turnos de enfermería, entre otros relacionados con menos frecuencia. Inicialmente se aborda la conceptualización, logística hospitalaria y la importancia de la aplicación de modelos de optimización en ella, es presentado además, el desarrollo metodológico empleado para la elaboración del trabajo de investigación así como conclusiones y brechas de investigación para futuros estudios basadas en la revisión hecha.

PALABRAS CLAVE: Logística hospitalaria, modelos de optimización, métodos de optimización, cuidado de la salud, hospital.

ABSTRACT

In this paper a review on the optimization models in hospital logistics is presented, covering various problems as providing supply chain, planning and service provision of emergency medical care, location of service centers, scheduling operating rooms, allocation of medical resources, programming admissions, home health care, nursing shift scheduling, among other. Initially, the conceptualization of hospital logistics and the importance of the application of optimization models is addressed, it also describes, the methodology used for the elaboration of the research paper, as well as conclusions and research gaps for future studies identified based on the review made.

KEYWORDS: hospital logistics, optimization models, optimization methods, health care, hospital.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se hace referencia a logística hospitalaria, el hospital es visto como una organización integrada por procesos, proveedores, servicios y beneficiarios (Aguirre et al. 2007), en donde se busca reflejar en el servicio prestado a éstos últimos, la efectividad asociada al funcionamiento de todos los eslabones de esta cadena de suministro. Según Aguirre et al., (2007), la logística hospitalaria es el término que reagrupa entonces todas las actividades hospitalarias de transformación y de flujo de recursos, información y pacientes, en donde el

hospital representa el último eslabón de la cadena de suministro con el fin de prestar un servicio médico, preferiblemente eficiente, de alta calidad y confiable. Como todo proceso empresarial y con el fin de generar una ventaja competitiva, no siendo el sector de prestación de servicios de salud una excepción, uno de los propósitos de la organización es optimizar sus procesos mediante herramientas que proporcionen un análisis y soluciones óptimas a los problemas que se puedan presentar en la operación diaria del mismo, para una excelente gestión de la logística hospitalaria se hace necesario el uso de herramientas cuantitativas, modelos matemáticos de optimización cuyo objetivo principal es

permitir la toma científica de decisiones a nivel táctico y estratégico principalmente, trayendo consigo beneficios como el aumento de la calidad el servicio médico prestado junto a una mayor cobertura de pacientes, un equilibrio entre la utilización de recursos hospitalarios y servicio brindado, situación que conlleva a la disminución de costos y a un mejoramiento continuo de procesos

Debido a la importancia y relevancia que en la actualidad tiene el tema de logística hospitalaria y los modelos de optimización aplicables en ella, se considera pertinente el continuo estudio investigativo en el sector de la salud, estableciendo como principal propósito de este trabajo la realización de una exhaustiva revisión bibliográfica de documentos relacionados con los procedimientos de la logística en centros hospitalarios, en donde se compararán y expondrán las posiciones y aportes de distintos autores referentes al tema de investigación, buscando con esto, registrar el tratamiento del mismo a través del tiempo, su condición actual y sus principales tendencias, con el fin de identificar futuras oportunidades de investigación. En el siguiente capítulo se realiza una inmersión a la logística hospitalaria, seguido de la descripción de la metodología empleada, y de la realización del estado del arte. Por último, son presentadas algunas conclusiones y brechas de investigación identificadas para futuros estudios.

LOGÍSTICA HOSPITALARIA

Al igual que sistemas logísticos tradicionales, en el proceso para la prestación de servicio que un centro hospitalario ofrece se requiere una elevada utilización de recursos, un manejo de inventario que se pretende tener tan bajo como sea posible y una reducción en tiempos de operaciones, todo esto en pro de brindar un servicio que cumpla con los requerimientos del cliente, en este caso pacientes. En todo proceso de planeación y gestión que debe realizar una unidad hospitalaria, se enfrenta a situaciones que implican toma de decisiones y asignación de recursos, arrojando resultados que repercuten directamente en la calidad del servicio brindado. Situaciones mencionadas tales como, la ubicación de las clínicas médicas y de vehículos de emergencia para proporcionar máxima cobertura sanitaria a una población determinada; el número de dichos vehículos con el fin de incurrir en un menor tiempo de recorrido, la planificación de tratamientos para reducir al mínimo el tiempo de aplicación en un paciente, la planificación de la capacidad, la programación de personal como enfermeros, médicos, especialistas etc., programación de instalaciones como salas de urgencias y sala de operaciones para mantener un nivel de servicio adecuado y oportuno, la programación de admisiones y de materiales, el abastecimiento y gestión de inventario de insumos farmacéuticos, entre otras situaciones, son abarcadas por la logística hospitalaria.

Aguirre et al. (2007) define a la logística hospitalaria como el desarrollo de todas las actividades hospitalarias de transformación así como de flujo de recursos y pacientes en la institución prestadora de servicios médicos abarcando al

mismo tiempo la toma de decisiones relacionadas con la forma en que se asignará cada recurso y en que se manejará cada necesidad, en otras palabras, según Ruiz (2005) este proceso es el encargado de alcanzar los recursos de materiales y de servicios en la cantidad, calidad y oportunidad requerida por los usuarios tanto internos como externos para el cumplimiento de los objetivos estratégicos y funcionales del hospital. De igual forma la logística hospitalaria es clasificada como logística interna y externa, definiendo como interna a aquella que abarca el flujo de pacientes, recursos e información al interior del establecimiento del hospital, y externa, a la que contempla el estudio de las relaciones entre hospitales de una misma red. La aplicación de esta logística ya sea interna o externa en los centros hospitalarios se realizan principalmente para la reducción de costos administrativos y operativos, eficiencia en la gestión de los recursos, optimización de flujos en el sistema, sostenibilidad de un alto nivel de calidad del servicio con mejoramiento constante y usabilidad de un buen sistema de información clave para garantizar la mejor toma de decisión cuando se requiera.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para la elaboración del artículo se desarrolló una metodología de cuatro fase, en la primera se realiza una introducción conceptual de la temática describiendo los problemas identificados de la logística hospitalaria, la segunda denominada Fase Heurística, se realizó una búsqueda exhaustiva de las publicaciones a recuperar en las bases de datos disponibles en la Universidad Industrial de Santander. En la tercera etapa, Fase Hermenéutica, se clasificó la información recopilada con el fin de realizar su lectura y análisis para la construcción teórica de la investigación. Por último, se realiza la fase de conclusión con el objetivo de identificar tratamiento actual del tema, tendencias y futuras investigaciones.

ESTADO DEL ARTE

En esta parte relacionan las publicaciones recopiladas referentes a los modelos de optimización en la logística hospitalaria, clasificados según actividades logísticas en las que son desarrollados.

4.1 Abastecimiento en la cadena de suministro hospitalaria

8.1.1 Gestión de inventarios farmacéuticos

Abdul, Gutiérrez y Sicilia (2004), presentan un método heurístico de solución al problema de gestión y política de inventarios estacionaria. Modelo en el que se consideran como variables de decisión el intervalo de tiempo de reorden y el número de órdenes ejecutadas durante un ciclo de reposición demostrando la eficiencia del enfoque heurístico propuesto en comparación con otras heurísticas presentadas. Un problema de gestión de inventarios similar, es analizado por Hernández, Velasco y Amaya. (2008), a partir de un modelo con enfoque de solución del Economic Lot Scheduling Problem,

coordinando los tiempos de reabastecimiento de múltiples productos entre los distintos niveles de la cadena. Por efecto de disminución en el espacio factible de solución y complejidad en la formulación del modelo propuesto, se incorporan heurísticas de búsqueda local y la utilización de Algoritmos Genéticos (GAs).

Frente a otro enfoque, Lawrence, Asoo, y Selcuk (2004), analizan la conveniencia de la externalización de gestión de inventarios de productos no críticos mediante la comparación de dos escenarios de acción, el primero con una gestión interna de tres eslabones, y el segundo, enfocado a la consolidación de funciones de almacenamiento y abastecimiento operado por un distribuidor externo en una red de dos eslabones. En ambos casos se implementa la misma política de inventario y para cada modelo se determina aproximaciones de solución, un óptimo local por medio de la ejecución de LINGO, así como por heurísticas viables, encontrando en la implementación de la externalización, un ahorro en los costos incurridos y el mantenimiento de un alto nivel de servicio eficiente sin afectar la calidad de los productos. Por otro lado, de manera análoga, Guerrero, Yeung y Guéret (2013), presentan una propuesta de modelo de inventarios, por medio de un sistema desarrollado como una cadena de Markov, con el objetivo de minimizar el costo de mantenimiento de inventarios en el sistema. Para su desarrollo y solución es empleado un algoritmo heurístico con el que se consigue una reducción en el costo total de mantenimiento de inventarios actual, sin alterar los requisitos de niveles de servicio.

Como complemento de estos estudios ya registrados, haciendo uso del método algorítmico del Multiplicador de Lagrange, Uthayakumar y Priyan (2013), formulan un modelo de inventario no lineal para la producción y distribución de múltiples productos farmacéuticos entre una compañía de fabricación y un hospital en un escenario estocástico, buscando minimizar el costo total del sistema, que incluye los costos del hospital y costos de la compañía farmacéutica, la cual particularmente en este modelo, considera demoras permisibles en el pago por parte del hospital brindando un periodo de plazo para el pago de las órdenes ejecutadas, práctica que se considera habitual en la industria de la atención a la salud. De otro modo, bajo un sistema de colaboración de la salud, en donde se comparten y entregan recursos médicos entre redes de hospitales, Zheng, Yoon y Lu (2013), desarrollan un modelo matemático no lineal con el fin de disminuir la probabilidad de escases de inventario, así como, los costos de transporte y mantenimiento, sin afectar la fiabilidad deseada. Un GA es desarrollado para hallar la solución óptima dentro un tiempo de ejecución aceptable, presentando en los resultados experimentales, la reducción de los costos dentro de la red con un sistema centralizado en comparación con una red manejada bajo una estrategia de no colaboración.

Incluyendo el diseño de una completa cadena de suministros, Costantino, et al.(2010), formulan un modelo multiobjetivo, solucionado por medio de la creación de un dígrafo referente al

sistema diseñado, en que emplean nodos y aristas como representación de cada actor de la cadena y la relación existente entre cada uno de ellos respectivamente. Una vez estructurado el dígrafo se plantea la modelación del problema basada en la Programación Entera Mixta (MIP) definiendo las funciones objetivos para minimizar el costo de la cadena de suministro, tiempo de ejecución.

8.1.2 Ruteo interno y externo de inventarios

En estudios realizados por Dongjiu, et al. (2012), se presenta un modelo matemático enfocado en la construcción de una cadena de frío de productos farmacéuticos en una red de transporte de tipo *hub-and-spoke*, en donde se incluyen los nodos básicos y líneas transporte como principales factores para minimizar el costo total de transporte en toda la cadena de suministro. En una primera fase se determinan los candidatos para la selección de un único centro de distribución resolviendo el problema de ubicación mediante el método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP). En la segunda fase, se determina el conjunto de candidatos para puntos de distribución, estableciendo el proceso de entrega mediante el ruteo de vehículos por medio de la teoría de Grafos. En cuanto a distribución interna, Lamar, et al. (2008), realizan estudios relacionados con un problema de ruteo de inventarios (IRP), con el fin optimizar el sistema de entrega de ropa limpia en un hospital público para reducir costos y tiempos de ejecución, buscando reducir al mínimo el desabastecimiento de estos recursos, así como, la distancia recorrida por los operarios de lavandería y distribución. La solución del modelo incluye un algoritmo de inserción para la selección de áreas, y otro algoritmo de la ruta más corta para indicar la ruta de distribución. Por otro lado, Amaya Ciro, et al. (2008), desarrollan un modelo de simulación, en el que se evalúa el impacto de las mejoras realizadas en distintos escenarios modelados, la fase inicial del modelo incorpora el proceso de recorrido y entrega de ropa limpia a cada piso, la siguiente por su parte, indica el servicio que realizan los auxiliares de enfermería en la entrega de ropa limpia.

Adicional a esto, combinando el problema de distribución interna y externa, Kergosien Y, et al. (2013), comparan los métodos metaheurísticos GA y Búsqueda Tabú (TS), para resolver un problema de enrutamiento de vehículos interconectados en un sistema hospitalario, enmarcando la distribución de múltiple mercancía en una red de hospitales, en donde cada uno de éstos cuenta con un centro de distribución para cada recurso en flujo, ubicados en distintos edificios internos. Determinan la ruta óptima para la distribución entre hospitales y dependiendo de las fechas de entregas, establece las rutas de los trabajadores en la distribución de los recursos entre los edificios del hospital, calculando en última instancia, el número mínimo de trabajadores para la ejecución del sistema establecido.

8.2 SERVICIO DEL DEPARTAMENTO DE EMERGENCIA

Localización de centros de atención y puntos de distribución en situaciones de urgencia

Coskun y Erol (2010), formulan un modelo, en el que se presenta un enfoque particular y de tipo estratégico al abarcar los costos que implica instalar cada estación, la compra de ambulancias y el valor presente neto de los gastos de funcionamiento de todo el sistema relacionado con el crecimiento poblacional a lo largo del horizonte de planificación. Las decisiones de localización son tomadas, en un tiempo razonable gracias a la utilización del software de optimización LINGO. Distinto a este estudio, contemplando la localización en zonas rurales, Landa Torres, et al. (2013), solucionan el problema mediante la formulación de un modelo en el que se contempla la accesibilidad geográfica para demandas estimadas según registros históricos o densidad poblacional de cada región, también se presenta como objetivo minimizar el costo total del sistema y la distancia recorrida. Se emplea igualmente, como solución un enfoque heurístico que incluye la combinación de un algoritmo de búsqueda armónica con agrupación multiobjetivo llamado (MOGHS) insertando además de los parámetros que por lo general controla el algoritmo de búsqueda armónica, un parámetro denotado RSR (Tasa de Selección Aleatoria) que permite un mayor control y manejo probabilístico mediante el perfeccionamiento progresivo de las armonías.

De otra manera, enfocados en minimizar el número de instalaciones y distancias recorridas en la red de atención, Menghao Xi, et al. (2013), emplean una técnica metaheurística relacionada con la modificación del algoritmo de Búsqueda de Vecindad Variable (VNS) como solución al problema de instalación de varios puntos de centros de emergencia modelado como un problema de p-mediana básico y p-mediana modificado. La variación del algoritmo VNS se estructura en cuatro subalgoritmos, que combinan con éxito el esquema de VNS con mecanismos aleatorios o estocásticos. Referente al tema, Xueping Li, et al. (2011), realizan un revisión literaria, en el que citan los modelos y técnicas de solución, para distintos problemas como, el problema de localización de cobertura conjunta (LSCP), problema de localización de cobertura máxima (MCLP), modelo de estándar doble (DSM), problema de localización de máxima cobertura esperada (MEXCLP), problema de localización máxima disponibilidad (MALP), modelos de colas hipercubo, modelos dinámicos de asignación, modelos de cobertura gradual y modelos de cobertura cooperativa.

Ahora bien, teniendo en cuenta la ubicación de los puntos de atención y distribución de suministros ante una situación de emergencia, Weimin Ma y Zhi Zheng (2011), emplean un modelo de grafos no dirigidos para la localización de un punto de distribución de bienes, usando un algoritmo de optimización relativamente robusto, que tiene como objetivo hallar la

mínima distancia total recorrida entre las instalaciones de emergencia y todos los nodos de demanda bajo las condiciones del tiempo de respuesta. Para el mismo problema, Zhang, et al. (2009), aplican un Modelo de Optimización Fuzzy Multinivel, haciendo uso de la entropía de la información y del método AHP para calcular los pesos combinados de los índices que refleja el impacto de los diversos factores en el proceso de toma de decisión, en el estudio se valida la viabilidad y la veracidad del método utilizado. De otra forma, aumentando el número de instalaciones ubicadas, Min Zhang y Jun Yang (2007), diseñan un modelo de redes para el suministro de productos perecederos, con el fin minimizar los costos de transporte y costos por pérdida de los productos vencidos, transformando el problema en uno de complejidad media básica bajo ciertas restricciones y se ejecuta para su solución un algoritmo de remarcado, en donde se limitan los posibles puntos de ubicación óptima, haciendo la solución del modelo relativamente más sencilla. Por otro lado, Lee Eva, et al. (2009), describen el diseño y la implementación de un software sistemático de apoyo para decisiones relacionadas con la planeación estratégica y operativa de un sistema de distribución de suministros, acompañada de una optimización dinámica en tiempo real, mediante la integración de modelación matemática, simulación a gran escala, motores de optimización, herramientas de gráficos automáticos y una interfaz fácil de usar. La herramienta presenta una mayor eficiencia en casos reales debido al acoplamiento de los procesos de simulación y optimización desarrollado, situación que sigue siendo un reto para la comunidad científica debido a sus desafíos y condiciones.

Chang, et al. (2010), en situaciones de ruteo para la distribución de insumos, exponen un modelo multiobjetivo, intentando, maximizar la cantidad de productos transportado por rutas, minimizar el parámetro de repetición de la red y mantener el balance de la cantidad de flujo de carga en todo el sistema. Aplican así un GA que adopta un cruce simétrico y una mutación de posición aleatoria para mejorar la capacidad de búsqueda del mismo. Por otro lado, Chao Zhao, et al. (2010), proponen un algoritmo heurístico de dos etapas para un problema de localización-ruteo que busca maximizar la satisfacción del cliente. Este método de solución se fija en un algoritmo de cobertura denominado d-Cover Algorithm y la intensidad media de las demandas locales son definidas mediante la aplicación de la Convolución de Gauss.

Proceso de despacho de suministros ante una emergencia

Con ánimos de mejorar la eficiencia de una política de despacho de recursos ante una situación de emergencia, Chao, Dequn y Yang (2009), establecen un modelo multiobjetivo Fuzzy con el propósito de minimizar el número de depósitos de despacho y el tiempo de respuesta después de ocurrida la emergencia, con la aplicación de un modelo de optimización Fuzzy resuelto a través de un algoritmo propuesto en cinco pasos, considerando las restricciones de capacidad de transporte, de almacenamiento y tiempo de respuesta. De otra

manera, derivado del VRP y con el fin de minimizar la utilización de vehículos de emergencia, López, Lanzarini y De Giusti (2011), incluyen un modelo de optimización evolutivo multiobjetivo resuelto mediante el uso de metaheurísticas como las técnicas NSGA II, SPEA2, PAES, varMOPSO, OMOPSO y SMPSO. El modelo es contemplado para tres escenarios dependiendo del tamaño del sistema, en donde además, un operador de perturbación es introducido para mejorar la veracidad de los resultados arrojados. Por su parte, en un escenario más realista, Zhao y Song (2012), abordan el problema de planificación de suministros en el que se debe tomar la decisión de la cantidad a enviar de múltiples materiales a cada punto de demanda, resuelto a través de un GA que incluye la codificación de símbolos, un cruce especial y un operador de mutación probabilístico para garantizar la veracidad de la solución dada. Frente a otro entorno de distribución de alimentos ante una situación de emergencia, que podría estudiarse analógicamente para suministros médicos, Zhan y Jianjun (2012), proponen un algoritmo de Optimización de Enjambre por Partículas (PSO) de búsqueda global solucionado en siete pasos, con el objetivo de minimizar los costos y tiempos de respuesta.

Con el fin de generar una planificación óptima de suministros que satisfaga la demanda total de pacientes y reduzca al mínimo los retrasos, el tiempo de flujo y los costos, Chern, Chen y Kung (2010), emplean un modelo multicriterio desarrollado bajo las imitaciones de capacidad y plazos de entrega con dos enfoques de planeación de envío según el tipo de vehículo, en donde para la selección de rutas de entregas se desarrolla, el Algoritmo de la Ruta de distancia Mínima Round Robin (RRSPA) y el Algoritmo de la Ruta de Costo Mínimo (MCPA). Es propuesto adicionalmente como solución principal, un algoritmo heurístico, denominado ERTPA. Abarcando el problema general, manejando la incertidumbre de la demanda, Aharon, et al. (2011), exponen un enfoque basado en la utilización de la optimización robusta en donde sugieren una metodología para un plan logístico robusto de cadena de suministros médicos y de ayudas humanitarias. En el estudio el problema es descrito como la asignación de tráfico dinámico (DTA), resolviendo un problema de asignación dinámica multiperiodo. En la aplicación de la optimización robusta (RO) es incorporada una formulación de programación lineal basada en el desarrollo de un Modelo de Transmisión Celular (CTM). Cierta modelo es resuelto mediante el método “*Affinely Adjustable Robust Counterpart*” (AARC).

Sistema de vehículos de emergencia

8.2.3.1 Localización de ambulancias

Doerner, et al. (2005), describen la extensión de un modelo para la ubicación de un número determinado de ambulancia con cobertura doble, reimplantando un algoritmo de TS y el desarrollo de un Algoritmo de Colonia de Hormigas (ACO) con búsqueda local. La modificación del modelo consiste una distribución más equilibrada de ambulancias, respecto al

número de habitantes asistidos, es decir, asignando densidades distintas de demanda en cada nodo, con el objetivo de maximizar la cobertura del servicio. Sasaki, et al. (2010), aplican la utilización de Algoritmos Genéticos de Agrupación (GGA) en un enfoque estratégico de planificación, abarcando un problema de reubicación de ambulancias para escenarios futuros y comparando el impacto que tendrían estas modificaciones respecto al escenario actual. Dicha aplicación se basa en la predicción de la demanda, en la correlación entre factores demográficos y el crecimiento poblacional previsto. En otro estudio, Sasaki, et al. (2011), sugieren el desarrollo y aplicación de un modificado GGA de dos grupos, para seleccionar el conjunto de ubicaciones óptimas de ambulancias, en donde se presenta un determinado número de alternativas de ubicación, de las instalaciones para un sistema logístico real, de caso regional.

Cheng, Rosbi, y Thomas, (2011) , para el manejo de la demanda fluctuante en el tiempo presentan un modelo dinámico de reubicación de ambulancias, basados en una modificación del problema de localización de máxima cobertura (MCLP) en el que incluyen el nivel de servicio de respuesta y las ambulancias extras necesarias para su cumplimiento. Este estudio está enfocado en las políticas de despacho de ambulancias utilizadas comúnmente, en donde por medio de simulación, se demuestra que una adecuada implementación de éstas podría reducir significativamente el tiempo de respuesta a llamadas sin necesidad de aumentar el número de ambulancias. Mediante otro enfoque de solución, al considerar la planificación del recurso de ambulancias ante incidentes en grandes masas en un área específica, Rauner, et al. (2012), Presentan un modelo de simulación de eventos discretos, mediante la evaluación de escenarios reales de distintos tamaños y complejidad.

Considerando la situación como el problema de la P-mediana, en donde se conoce el número de ambulancias a instalar, Michael y Janet Dzator (2013), discuten distintos algoritmos heurísticos primarios de solución, como el Algoritmo Miope, Búsqueda en la Vecindad y Heurística de Intercambio, además de presentar una nueva y eficaz heurística simple denominada Heurística con Reducción , para un tamaño moderado del problema, en la que se aplica una reducción y un intercambio de procedimientos involucrados en los algoritmos anteriormente discutidos. Variando ligeramente el problema, Sawaya y Elhedhli (2013), introducen mediante una programación estocástica multiobjetivo, un modelo de dos etapas, la primera presenta el problema de ubicación óptima de ambulancias con una demanda de llamadas desconocida, y la segunda, pretende reducir al mínimo el número de llamadas que no son atendidas en el tiempo de respuesta estipulado, en donde para incluir la incertidumbre de la localización de las llamadas de emergencia, es representado un conjunto finito de escenarios aleatorios, basados en datos históricos.

8.2.3.2 Asignación y ruteo de ambulancias ante una llamada de emergencia

Atkinson, et al (2006), abordan un método exacto y dos heurísticas para un sistema de teoría de colas M/M/n en la que se calcula de la probabilidad de que una llamada de emergencia entrante no pueda ser atendida por cualquier punto de emergencia distribuidos a lo largo de una autopista. De otro modo, cuando el flujo de llamadas no presenta un comportamiento exponencial el problema aumenta su complejidad en un alto grado, por lo que, Guaracao, et al. (2012), diseñan un modelo para la optimización del uso de los recursos involucrados en la recepción de una llamada de emergencia para minimizar el tiempo de respuesta. El sistema es estudiado con el fin de identificar los aspectos críticos y la disponibilidad de los recursos empleando un modelo de simulación de eventos discretos.

Combinando la importancia de cálculo de la probabilidad de una llamada perdida en el sistema y la asignación de zonas para el despliegue de ambulancias sobre carreteras, con políticas de despacho de capacidad limitada, copia de seguridad parcial de atención y despacho múltiple de ambulancias, Lannoni, Morabito y Saydam (2008), emplean un modelo de cola hipercubo modificado, e incorporan un GA para un problema de regionalización en donde se determina las áreas de respuesta óptimas a las que se debe enviar las ambulancias para cumplir con un tiempo de respuesta requerido y tratar de mantener un equilibrio entre las cargas de trabajo de los vehículos. Bajo otro enfoque, abarcando el problema de ruteo de vehículos (VRP) de emergencia en respuesta a una llamada, Li, Guangli y Youjian (2009), mediante el análisis del tiempo de ruteo, enfrentan un problema de Programación Restringida con Probabilidad Difusa (FCCP) cuya solución se basa en la teoría de la credibilidad con tiempos difusos debido a la incertidumbre inmersa en la situación. Para resolver el modelo es diseñado un algoritmo híbrido inteligente en donde un algoritmo de Recocido Simulado (SA) es introducido para modificar la selección y operación de mutación de un GA con el fin de aumentar su velocidad de convergencia. De manera distinta, asumiendo la demanda conocida, Sun, et al. (2012), aplican un GA para el cruce y mutación de un ACO propuesto, en donde el GA optimiza los parámetros del ACO incluyendo como restricciones el tiempo de respuesta y la capacidad asignación de los vehículos. Además de la propuesta, el modelo es sometido a pruebas de simulación en donde los resultados obtenidos muestran un mejor resultado en comparación a los obtenidos con el uso de un ACO tradicional.

En un caso de gran escala como una pandemia, en donde se incluyen las restricciones de tiempo de recogida hasta el punto de emergencia y de traslado hasta el hospital asignado, el traslado de hasta dos pacientes por vehículo y no se permite la desviación de un vehículo asignado hasta no terminar la ruta, Majzoubi, Bai y Heragu (2013), modelan el problema como un problema de ruteo de vehículos con recogida y entrega de MIP

empleando métodos heurísticos, como un algoritmo de SA y otro de TS.

En el caso de asignación de ambulancias y diseño de rutas en un área urbana, Elejalde del Rio y Ramírez (2010), estudian algunos modelos matemáticos desde distintos enfoques en donde buscan analizar diversas soluciones. Dichos enfoques utilizan el algoritmo heurístico de Clarke y Wright conocido como el “método del ahorro”, el algoritmo de Floyd Warshall, considerando aspectos de un Traveling salesman Problem (TSP), un modelo lógico de simulación y del problema del ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP). También para un área específica urbana, Mohd Nordin, et al. (2011), contemplan la aplicación del Algoritmo A* (Algoritmo A asterisco) con el objetivo de recorrer la menor distancia posible, dentro de un tiempo de respuesta a de diez minutos máximo, desde un solo centro de atención, realizando estudios futuros, Mohd Nordin, et al. (2012), experimentos computacionales, para la validación del sistema modelado, en donde desarrollan una interfaz utilizando la programación C #.

Enfocados en maximizar la cobertura de la demanda, tratando el clásico problema de ruteo y localización (LRP) Ceselli, Righini y Tresoldi (2014), denominan un problema de distribución y localización generalizado (GLDP), desarrollado como un Problema Maestro Restringido (RMP) para el que se desarrolla un algoritmo exacto basado en los algoritmos de Brand-and-Cut-and-Price y de Generación de Columnas con tres tipos de columnas. En la ejecución del algoritmo se incluyen algunas heurísticas primarias de programación dinámica avanzada y varias estrategias de ramificación para la solución rápida de ciertos subproblemas que se desarrollan. Este estudio se considera particular, ya que incluye la decisión de escoger entre dos estrategias de distribución, la más conveniente para cada centro de distribución ubicado.

En otro orden, para la asignación de hospital y ambulancia en una situación de evacuación simultánea de personas heridas en un punto de emergencia, Amaldi, Coniglio y Iuliano (2010), crean un modelo de optimización de programación entera mixta derivado del problema de asignación de capacidad (Problema de la Mochila) y resuelto a través de la aplicación del método Branch and Bound, y la relajación de restricciones de integridad de algunas variables, en donde se siguen generando soluciones enteras. Para el problema de asignación de ambulancias es aplicado un algoritmo *Greedy*. Este modelo se plantea con fin de minimizar las distancias recorridas y mejorar las respuestas de tratamientos especiales, considerando, los niveles de capacidad de cada hospital, el número máximo de ambulancias, las especialidades que atiende cada hospital, el nivel de gravedad de cada paciente, entre otras restricciones que determina el sistema.

Teniendo en cuenta tanto la asignación de ambulancias y la escases de recursos ante una situación de brote pandémico, Sun, DePuy y Evans (2014), analizan tres modelos de optimización enfocados en minimizar costos. El primer modelo

considera la minimización de la distancia total recorrida en toda la red de atención, mediante la asignación de pacientes a cada hospital considerando la capacidad de los recursos físicos por medio de la restricción de límite de tiempo de estancia del paciente en el hospital. Derivado de este primer modelo se plantea un segundo, que añade el objetivo de minimizar la distancia máxima recorrida por paciente hacia el hospital, en el que se contempla la división del horizonte de planeación en horizontes más cortos. Por último, dado el caso de requerirlos, es presentado un modelo para la asignación de recursos adicionales.

8.2.4 Programación del personal en urgencias y unidades médicas

Topaloglu (2006), diseña un modelo de programación multiobjetivo para la programación de turnos de residentes médicos en el departamento de emergencia (EMR) mediante el método flexible de Programación por Metas (GP) en el que incluye restricciones duras y blandas. La función objetivo busca minimizar las desviaciones de las restricciones blandas asignándoles un peso de importancia mediante el proceso de jerarquía analítica (AHP). De manera similar, con el objetivo de automatizar la creación de horarios mensuales de médicos, Puente, et al. (2009), para superar las dificultades y complejidad que el problema implica, aplican un sistema de ponderación para las restricciones blandas y emplean como solución un método heurístico con un GA. De otra forma, mediante un modelo genérico y flexible, adaptable a distintas situaciones con características similares al caso que presentan, Reveco y Weber (2011), realizan para un hospital público un modelamiento de programación lineal con el fin de determinar el número del personal óptimo que permita mejorar el flujo de pacientes en la unidad y estructurar así la programación de los turnos médicos según la categoría de gravedad y especialidad de atención. El objetivo del modelo propuesto es la minimización de la desviación de la capacidad de requerida para la atención médica, solucionado mediante la implementación del software de optimización llamado ZIMPL y el Solver no comercial SCIP. Además de esto, en el estudio se estima la demanda futura con base en modelos de minería de datos.

Por otra parte, considerando una demanda conocida y constante en un caso aplicado, Aguirre, Amaya y Velasco (2008), formulan el modelamiento a nivel estratégico de la determinación óptima de niveles del personal médico, enfermeras y auxiliares de enfermería en la unidad de emergencia. A nivel táctico, se plantea un modelo multiobjetivo para la programación de los turnos de cada tipo de personal con los objetivos de minimizar los costos de asignación de turnos, maximizar el nivel de eficiencia y la satisfacción del personal asignado. Debido a la complejidad del problema no es posible determinar un óptimo global por métodos exactos, razón por la cual el problema es dividido en varios submodelos independientes según el cargo del personal. Ahora, Centrados en la atención médica general, Topaloglu y

Ozkarahan (2011), mediante la programación entera mixta modelan el problema de programación de horas para residentes de un hospital teniendo en cuenta los turnos de día y noche, los tiempos de descanso y la clasificación de residentes según antigüedad. Dado que la solución directa de este problema es solo factible para un número reducido, se propone el método de CG que incluye un problema maestro permitiendo determinar los horarios individuales que minimice la suma de las desviaciones de los niveles de servicio deseados para los períodos diurnos y nocturnos, y un problema auxiliar se encarga de encontrar el conjunto de horarios factibles resuelto a través de la Programación de restricciones (CP). Para la automatización del mismo problema en una unidad pulmonar, Topaloglu (2009), formula un modelo multiobjetivo resuelto mediante los métodos, secuencial y de ponderación, en donde se busca reducir las violaciones de las restricciones blandas minimizando los valores de las desviaciones de variables incorporadas en ellas. El modelo contempla el nivel de antigüedad de los residentes, y las restricciones relacionadas con los requisitos de cada cargo.

8.3 Localización de centros de atención

Centrados en presentar al paciente una mayor flexibilidad al momento de seleccionar el centro de atención y el mantenimiento mínimo número de pacientes en cada instalación, Gu, Wang y McGregor asumen el problema de localización de centros de atención preventiva (PHCFL) en donde la accesibilidad del paciente es considerado el factor principal y de optimizar en el modelo, propuesto al integrar el método 2SFCA (*two-step floating catchment area*), el factor de distancia y el modelo competitivo de Huff. a partir de estas combinaciones se desarrolla un modelo biobjetivo basado en la eficiencia que tiene como fin maximizar el bienestar social mediante la consecución de una disposición óptima de los centros de salud y maximizar la cobertura de atención. Para el problema de localización de centros de atención de salud a largo plazo (LTCFLP) y con el objetivo de reducir al mínimo el número máximo de pacientes asignados a cada uno, Marić, Stanimirović, y Božović (2013), introducen un método híbrido eficiente combinando un Enfoque Evolutivo y el método de VNS modificado, al que denominan (VNS-EA), en el proceso, la mejor solución obtenida por el EA se utiliza como solución inicial para el desarrollo de algoritmo VNS, el que se realiza además, con un procedimiento de intercambio de búsqueda local, usado antes y durante el ciclo con el fin de dirigir al algoritmo hacia regiones de espacio con búsqueda prometedoras.

Enfocados en la eficacia y eficiencia del sistema de atención de unidades de servicio médico especializado, Siddhartha y Murray (2012), introducen un modelo integral de optimización, para el problema de ubicación de instalaciones y asignación de pacientes clasificados según su nivel de complejidad y gravedad. La función objetivo busca la minimización del costo total soportado por el sistema. El problema contempla además, las limitaciones de recursos compartidos, un nivel de servicio

para cada unidad según gravedad del paciente. De forma distinta, Dentro de un presupuesto dado y con el fin de maximizar el número de pacientes atendidos según las condiciones, Kim Guen y Kim Dae (2013), a través de la programación entera, exponen un algoritmo heurístico basado en la relajación de Lagrange y en métodos de optimización sub gradiente. En el problema se considera dos tipos de pacientes, pacientes de escasos recursos que solo pueden acceder a centros de atención pública y pacientes de medios y altos recursos, que pueden ser atendidos tanto en instalaciones públicas como privadas.

8.4 Programación de salas de cirugía

Denton, Viapiano y Vogl (2007), enfocados en la incertidumbre relacionada con el tiempo de ejecución de una cirugía, plantean mediante la MIP, un modelo de optimización estocástico, la primera etapa considera el tiempo de inicio y secuenciación de las cirugías, y la segunda por su parte, los tiempos de espera, inactividad y ejecución de cada operación. Para la solución local del problema planteado como una extensión del *news vendor problem*, es propuesta una heurística de intercambio por parejas en donde se aprovechan los límites inferiores de la solución óptima y otra heurística basada en la media y la varianza del tiempo de cirugía para establecer la secuenciación. En el problema es contemplada la utilización de una sola sala de cirugía y considerando permisibles el uso de horas extras si es necesario. Ahora bien, en el caso de tener varias salas de cirugías iguales disponibles, en donde se realizan cirugías independientes con tiempos de operación conocidos, Veloza, et al. (2008), diseñan un algoritmo heurístico basado en el problema de funcionamiento de máquinas idénticas en paralelo, las soluciones obtenidas para asignación turnos se evalúan bajo tres medidas de desempeño, la utilización de las salas, número de trabajos tardíos y tiempo en que finaliza la última cirugía cada día. Finalmente la simulación del modelo es hecha con base en los algoritmos de paralelo LPT (*Longest Processing Time*) y SPT (*Shortest Processing Time*). Por otra parte, en estudios enfocados tanto en los recursos humanos como en factores económicos, Roland, et al. (2010), resuelven el problema bajo las limitaciones del personal involucrado, por medio de la aplicación de GAs y un modelo matemático basado en la MIP considerando un problema en un contexto determinista, y que tiene como función objetivo tanto la minimización de costos como el uso de horas extras y de ejecución.

Buscando una distribución uniforme en los tiempos de cirugías, Van Essen, et al. (2012), en su modelo intentan reducir al mínimo los intervalos de tiempo entre cada proceso de operación, de dos o más salas de cirugías, se discuten varios métodos exactos de programación entera (ILP) aplicados a pequeños casos, se presentan además, diferentes heurísticas en un proceso de mejoramiento, comenzando con cuatro heurísticas constructivas, a partir de las cuales se presentan otras de mejoras que perfeccionan de forma iterativa la solución inicial, tales como algoritmos de búsqueda local de

SA y TS, por último se presentan heurísticas de enfoques combinados como la Heurística de Cuello botella móvil (SBH). Finalmente para estimar el efecto que la incertidumbre de la demanda y duración de las cirugías de emergencia e investigar la robustez de los horarios creados, se llevan a cabo un estudio de simulación. Por otra parte, mediante un modelo de optimización multiobjetivo, Pradenas y Matamala (2012), ejecutan el desarrollo computacional de un GA para una programación semanal de las salas de cirugías en un hospital público. En las funciones objetivos se pretende dar prioridad a los pacientes con mayor urgencia de atención y tiempo de espera, maximizar la cantidad de cirugías realizadas en el periodo de programación y hallar la solución óptima cercana a la frontera de Pareto. Este mismo problema es tratado con anterioridad por Conforti, Guerriero y Guido (2010), resuelto de igual forma mediante GAs por medio de un proceso sistemático de búsquedas iterativas empleando un algoritmo denominado NSGA - II, que no es más, que una versión mejorada del algoritmo NSGA (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm). El modelo determina cuatro funciones objetivos relacionados con la mejora de utilización de recursos y prioridad de atención a pacientes según urgencia.

De igual forma, Agnetis, et al. (2012), modelan el problema de programación maestra de cirugías (MSSP) y el problema de asignación de especialidades quirúrgicas (SCAP) en donde analizan a través de herramientas algorítmicas por el método de simulación, el efecto de diversas políticas de programación aplicadas a tres modelos planteados. El primero es un modelo fijo en el que solo se resuelve el SCAP, el segundo, considera los dos problemas (SCAP y MSSP) bajo ciertas limitaciones del programa maestro, en el último modelo se resuelven estos mismos problemas dejando a un lado dichas restricciones. El estudio busca como principal objetivos maximizar el uso de las salas sin recurrir a horas extras y realizar cada cirugía dentro de su tiempo límite de ejecución.

Ahora bien, solo para las cirugías electivas, Wolff, Durán y Rey (2012), proponen cuatro métodos de solución dependiendo de las características del escenario en el que se desarrolle, el problema es dividido en tres sub problemas: elección del día de operación de cada paciente, la asignación de especialistas a cada operación y la secuenciación de las operaciones en un día. Se presenta primero un modelo de programación entera mixta cuya función objetivo contempla los criterios de prioridad del paciente y la igualdad de intensidad horaria diaria, modificando el criterio de prioridad se presenta un segundo modelo, es planteado también un algoritmo basado en un modelo de factibilidad y otro de tipo Backtracking, empleados para solucionar el problema de asignación con calendarización y hallar las reglas de asignación más convenientes, respectivamente. Por el contrario, incluyendo cirugías electivas y ambulatorias, con el fin de reducir las listas de esperas y aumentar la eficiencia de los recursos, Marques, Captivo y Vaz Pato (2014), describen un modelo desarrollado a través de un GA basado en algoritmos genéticos con claves aleatorias sesgadas (BRKGA), enfocando el problema en dos criterios de

optimización, la maximización de la utilización de la salas quirúrgicas y del número de cirugías programadas. Finalmente, Holte y Mannino (2013), presentan un modelo general para la programación de horarios cíclicos de recursos de distintas especialidades médicas en un hospital como sala de cirugías, teniendo en cuenta la incertidumbre de la demanda de pacientes formulado como un problema de programación robusto y ajustable, desarrollado mediante la aplicación del algoritmo de generación de fila y columna. El modelo general es aplicado para la solución de programación maestra de cirugías (MSS) en un escenario real.

8.5 Asignación de recursos médicos

A manera de revisión, Bretthauer y Shetty (2002), presentan el estudio de los algoritmos, aplicaciones y tratados computacionales, para el problema de mochila de programación no lineal, en donde consideran la aplicación y formulación de éste en el área de cuidado de la salud. El estudio incluye una variedad de estructuras del problema como, problemas con variables continuas y enteras, funciones cóncavas y convexas, separables y no separables, y por último, problemas con restricciones adicionales. Para cada tipo de modelo y estructura del problema se presentan distintos métodos de solución que son discutidos y comparados.

Enfocados en un recurso, para la asignación y programación de camas para pacientes hospitalizados en un centro de salud oftalmológico, Guo, et al. (2010), Se basan en el método de teoría de colas con múltiples servidores con índices de evaluación, en donde describe el modelamiento y solución de la disposición de camas, el tiempo de espera de los pacientes y la razón de distribución de camas en el hospital. Por otro lado, considerado el mismo problema para pacientes con condición de aislamiento, Cignarale (2013), presenta dos modelos de optimización con el fin de programar el ingreso de los pacientes según la cantidad de recursos y minimizar los movimientos internos. El primer modelo permite determinar el número de habitaciones y recursos necesarios para garantizar un nivel de servicio, el segundo se basa en la demanda futura para estudiar el impacto que tiene la asignación de habitaciones y camas dentro de un periodo de planificación. Vermeulen, et al. (2007), presentan una optimización adaptativa automática y flexible para la programación específica de scanner computarizados para tomografías (CT- scan), recurso que se utiliza para pacientes de distintos departamentos mediante citas programadas. El modelado se hace basado en datos históricos e incluye los conjuntos de pacientes programados y clasificados según características y nivel de urgencia. En el estudio se hace una gran simulación en la que se estudia distintos escenarios y enfoques del problema. Por otro lado, en una unidad de radiología de un hospital, Carpentier Adam, et al. (2011), formulan modelos y algoritmos para determinar el impacto que tendría la demanda futura y actual en la realización de exámenes de Resonancia Magnética, con el fin de apoyar el procesos de programación de máquinas, identificar posibles mejoras y así maximizar el rendimiento de los exámenes.

Adicional a esto, se constituye un modelo de simulación basado en datos reales con el fin de pronosticar la demanda de pacientes bajo distintos escenarios de acción.

Bowers, Lyons y Mould (2012), incorporan el desarrollo de un modelo de asignación de recursos para el servicio de transporte de pacientes no urgentes (STP) en áreas urbanas y rurales, el objetivo es la creación de una herramienta de apoyo práctica basada en sub problemas sencillos de optimización. El modelo inicia con el análisis de los datos históricos para identificar la distribución de la demanda, los tiempos de viaje estimados, luego se resuelve el problema de enrutamiento mediante una heurística simple basada en una serie de experimentos de simulación de Monte Carlo que reflejan la distribución geográfica de la demanda, comparada con un riguroso GA *Dial-a-Ride Problem* (DARP), para estimar los recursos requeridos es hecho mediante la simulación de Monte Carlo comparados de igual forma con una simulación abierta de ruteo de vehículos.

8.6 Programación de admisiones

Helml, Lapp y See (2010), combinan la aplicación de GAs y un modelo de simulación para la evaluación y estudio de los efectos que tienen el proceso de admisión en la gestión de los recursos, buscando la optimización de los parámetros del sistema, el estudio es contemplado debido a la gran variedad e incertidumbre de la demanda de pacientes y presenta como herramienta de toma de decisiones la generación de curvas eficientes de Pareto. En otros estudios de una clínica ambulatoria de oncología-dermatología Romero, et al. (2013), analizan la gestión operacional para el tratamiento de pacientes con cáncer de piel y estudian gracias a un modelo de simulación los distintos escenarios del proceso de admisión, programación de citas y asignación de recursos evidenciando una mejora significativa en el tiempo medio de espera entre el diagnóstico y tratamiento.

Por medio de un GA, Ni Chen, et al. (2010), buscan optimizar una estrategia de ingreso a largo plazo y global en un departamento de oftalmología, presentando un modelo que tiene como objetivos maximizar la tasa de utilización de los recursos y la equidad del sistema. Además de esto, los resultados del modelo son comparados con las estrategias de gestión First Come First Serve (FCFS) y *Greedy* mostrando gracias a resultados experimentales la superioridad del algoritmo propuesto. Por su lado, Lalit Garg, et al. (2010), dividen el flujo de pacientes en fases de atención para modelar el proceso de programación de admisión y planificación de recursos como una cadena de Markov de tiempo discreto, mediante la inclusión de covariantes dependientes del tiempo. El estudio parte de un modelo homogéneo propuesto anteriormente y es desarrollado a partir de éste, un modelo más realista no homogéneo y flexible.

De manera similar, en la programación de pacientes para tomografías computarizadas en un centro de diagnóstico,

Gocgun, et al. (2011), estudian un proceso de decisión de Markov multinivel de horizonte finito, con el objetivo de determinar una política de planificación óptima en la que se maximice el total de ingresos netos esperados. El desempeño de la política es comparado con varios criterios de decisión heurísticos intuitivos mediante simulaciones, bajo diferentes valores de los parámetros de entrada.

Con el objetivo de maximizar el número de personas atendidos en un día, en el proceso de programación de tratamientos a pacientes, de máquinas y asignación de recursos, Vlah, Lukac y Pacheco (2011), presentan un método heurístico que consiste en la versión reducida del algoritmo VNS denominado RVNS, en donde se añade la idea de utilizar soluciones factibles y no factibles simultáneamente y omitir la parte de búsqueda local del VNS para reducir drásticamente el tiempo de ejecución. El modelo descrito se caracteriza por solucionar los objetivos sin necesidad de divididos en sub problemas demostrando con resultados experimentales su superioridad y eficiencia ante la aplicación de otros métodos. En el caso de asumir un mismo tiempo de ejecución para los tratamientos, Stanford, et al. (2014), formulan el problema como un sistema de colas de propiedades acumulativas (APQ) estudiadas en función de la espera de los pacientes, el sistema es diseñado como un sistema de cola M/M/c y con una distribución de Poisson en las tasas de llegadas independiente para cada tipo de tratamiento. También se presenta un método que estudia la selección de los niveles óptimos de acumulación en un caso de atención de dos clases, que permita el máximo aprovechamiento posible de los recursos. Con una perspectiva distinta, Lotfi y Torres (2014), diseñan un modelo predictivo, basado en el análisis de árboles de decisiones en donde se evalúa la probabilidad de que un paciente no asista a la cita programada. En el estudio se comparan cuatro enfoques distintos de árboles de decisión de los cuales el método de árboles de clasificación y regresión (C & RT) presenta mejores resultados, además son comparados con un modelo de redes bayesianas y un modelo de red neuronal artificial.

Teniendo en cuenta el recurso de personal en una unidad de quimioterapia, por medio de la programación entera, Condotta y Shakhlevich (2014), analizan un problema de optimización multicriterio, relacionado con las reservas y programación de citas atendidas en la unidad a través de una plantilla multinivel. Se asume que cada cita involucra varias actividades de enfermería las cuales también deben ser programadas, presentando como objetivos la reducción de los tiempos de espera de los pacientes junto a los picos de carga de trabajo de las enfermeras. De manera similar, Bilgin Burak, et al. (2012), mediante la programación entera desarrollan un enfoque hiper-heurístico general para los problemas de programación de ingreso de pacientes y turnos de enfermería conjuntamente, presentando una mejora significativa en la programación de la admisión del paciente.

8.7 Atención de salud domiciliaria

Considerando la capacidad de los vehículos, tiempos de ejecución del sistema y con el fin de minimizar costos de enrutamiento, Liu Ran, et al. (2013), abordan dos modelos resueltos por un GA y un algoritmo de TS, donde el problema se plantea como uno de ruteo de vehículos con entrega y recogida simultánea de recursos para varios tipos de demandas. Este problema en particular a diferencia de un enrutamiento común, tiene distintos puntos de entrega y recogida, y cada ruta por demanda cumple con unas restricciones independientes. Además de ésta programación, en la atención domiciliaria distintas tareas son asignadas y programadas al personal de enfermería, razón por la cual, Bachouch, Guinet y Gabouj (2010), describen un método basado en la MIP con el objetivo de alcanzar el mayor equilibrio de la carga de trabajo incluyendo eventos impredecibles resuelto mediante LINGO y probado en casos aleatorios.

En un entorno estocástico, Koeleman, Bhulai y Meersbergen (2012), estudian el problema de la planificación de personal modelando el sistema como un proceso de decisión de Markov en el que se incluye la duración de tratamiento por paciente, el modelo se considera lo suficientemente flexible para adaptarse a los diferentes perfiles de los pacientes y servicios. En experimentos se demuestra que una heurística *trunk reservation* proporciona muy buenos resultados para ser utilizados en la práctica. De otro modo, orientados a la programación de enfermeras de atención continua (una sola enfermera es asignada al paciente en un periodo largo de atención) a pacientes críticos o con necesidades particulares, Carello y Lanzarone (2014), desarrollan un modelo de asignación robusto con restricciones de cardinalidad, que tiene como objetivo reducir la utilización de horas extras del personal de atención teniendo en cuenta la incertidumbre de la demanda sin la necesidad de la generación de escenarios o asumir distribuciones de probabilidad. Frente al mismo problema a gran escala, incluyendo la aleatoriedad de la demanda ya asignados a enfermeras de atención continua y nuevos pacientes aún no asignados, Lanzarone y Matta (2014), realizan la búsqueda de una política de gestión óptima con el fin de minimizar la utilización de horas extras incurridas por las enfermeras, enfocados en la probabilidad de que la carga de trabajo supere la capacidad por enfermera. El problema es resuelto en el caso de un solo paciente y múltiples pacientes independientemente considerando que la estructura de la política óptima podría ayudar a buscar el valor óptimo en los algoritmos basados en heurísticas adoptadas por problemas de gran escala, comparándola con otros enfoques desarrollados con anterioridad y aplicándola a un caso real.

Como un problema de programación de turnos de enfermeras y enrutamiento de vivistas a pacientes, Bertels y Fahle (2006), exponen un modelo en el que combinan la programación lineal y programación de restricciones blandas y duras, con el objetivo minimizar los costos de transporte y maximizar la satisfacción de los pacientes y enfermeras. En el estudio se

emplea el uso de algoritmos híbridos simples como la Programación de Restricciones (CP), TS y SA, en donde especialmente, una combinación de programación de restricción y búsqueda tabú produce los mejores resultados globales en poco tiempo de ejecución. El concepto general es capaz de adaptarse a diversos cambios en la estructura de restricción, proporcionando así la flexibilidad necesaria en una herramienta genérica para los ajustes en una situación real. De forma similar, Hiermann, et al. (2013), generan soluciones iniciales a través de técnicas de programación de restricciones o aplicando un simple procedimiento de construcción aleatorio, a partir de las cuales se hacen mejoras iterativas mediante la aplicación de uno de los cuatro algoritmos metaheurístico de VNS, algoritmo mimético (MA), búsqueda dispersa o híperheurística de recocido simulado (SAHH). Se demuestra a través de una comparación de ejecución computacional que el enfoque es capaz de resolver casos de la vida real en un tiempo razonable y produce soluciones válidas en tan sólo unos segundos. Para concluir, Gutiérrez, et al. (2013), presentan una breve revisión de la literatura de los modelos y metodologías utilizados para apoyar las decisiones de logística relacionadas con el horizonte de planificación, las decisiones de gestión y los procesos del servicio.

8.8 Programación de turnos de enfermería

Haciendo referencias a enfoques metaheurísticos genéticos, Kawanaka, et al. (2001), detallan la formulación y aplicación de un GA, en el que se define un método de codificación que abarca todas las restricciones establecidas y reduce drásticamente el área de búsqueda, haciendo su validación basada en datos reales. Por otro lado, Aickelin y Dowsland (2004), presentan un GA con una codificación indirecta y un decodificador heurístico que construye los horarios teniendo en cuenta los cambios permitidos, evaluando y comparando a través de análisis computacionales tres decodificadores diferentes y cuatro operadores de cruce conocidos, en donde los resultados son perfeccionados por la introducción de un operador de cruce híbrido y haciendo uso de los límites simples para reducir el tamaño del espacio de soluciones. Haciendo uso de la programación entera, Aickelin y White (2004), presentan el problema, comparando estadísticamente la aplicación de distintos GAs con el fin de realizar una heurística mejorada a partir del algoritmo que resulte más exitoso. Los algoritmos presentados usan dos enfoques, primero, con una codificación que se desprende directamente de la formulación de programación entera, y segundo, con una combinación de un GA indirecto y una función de decodificador heurística separada para encontrar la mejor asignación posible de las enfermeras.

Apoyados en un sistema de razonamiento basado en casos, Kbeddoe, Petrovic y Li (2009), proponen un Algoritmo memético, que consiste en una hibridación de un GA y una generación de reparación basada en casos, que incide en la secuencia en que son reparadas las violaciones de restricciones. Dicho sistema de razonamiento, es considerado como una

metodología de inteligencia artificial que busca obtener soluciones a problemas futuros basándose en soluciones anteriormente aplicadas a problemas similares, por lo que en el problema tratado, lo que se intenta es analizar y capturar el comportamiento antes presentados por el personal de programación y así resolver próximos problemas. De otro modo, modelando la preferencia de las enfermeras por medio de conjuntos difusos conveniente cuando es necesario un juicio subjetivo, Dueñas, Tütüncü y Chilcott (2009), presentan un enfoque híbrido flexible basado en un método de solución multiobjetivo de problemas de secuencia interactiva (SEMOPS) combinado con un GA. Tsai y Lee (2010) teniendo en cuenta las preferencias del personal, requisitos de gestión y regulaciones gubernamentales presentan un modelo matemático no lineal para la programación incluyendo periodos de vacaciones, además, proponen y aplican un GA capaz de ajustar la función objetivo, limitaciones y su valor ponderado afreciendo flexibilidad según sea el caso de aplicación. De forma similar, con un enfoque multiobjetivo, Tsai y Li (2009), desarrollan dos etapas en su estudio, la primera en donde organizan los turnos laborales de descanso de las enfermeras y la segunda en la que aplican un GA flexible para optimizar el proceso y validarlo.

Zhang, Hao y Huang (2011), proponen un modelo de optimización flexible híbrido basado en enjambres, que mezcla los algoritmos GA y VNS, en donde con el fin de reducir el espacio de búsqueda el problema es dividido en sub problemas, cada uno con sus restricciones. Inicialmente mediante el uso del GA híbrido se generan soluciones factibles que serán tomadas como soluciones de arranque para el algoritmo VNS. Por otra parte, Centrados en la equidad de carga laboral y definiendo un problema de programación compleja, Yang y Wu (2012), examinan un modelo de optimización multiobjetivo con restricciones duras, basado en un GA con un esquema de codificación específico y que en su proceso de selección para la siguiente generación propone cuatro modos distintos de operación.

Mediante el uso de horarios flexibles, Li y Aickelin (2003), modelan el problema como una red bayesiana con una estructura de red fija, para el cual sugieren un algoritmo de optimización bayesiano en el que la probabilidad condicional de cada variable en la red se calcula de acuerdo con un conjunto inicial de soluciones prometedoras a partir de las cuales se generan todas las variables. Si no se cumplen las condiciones de parada, las probabilidades condicionales para todos los nodos de la red se actualizan de nuevo utilizando el conjunto actual de cadenas de reglas. Más adelante, estos mismos autores, Aickelin y Li (2007), proponen un Algoritmo de Estimación de Distribución (AED) y realizan igualmente estudios computacionales que demuestran la eficiencia del enfoque. Con el mismo modelado probabilístico y condiciones, Aickelin, Burke y Li (2007), aplican un conjunto de reglas heurísticas para la asignación de cada enfermera en el que proponen un Algoritmo memético de Estimación de Distribución (AED) adicionando un procesador de búsqueda

local inteligente en donde una metodología *ant – miner* mejora las soluciones individuales producidas en cada generación.

Por otra parte, un modelo flexible metaheurístico en el que se tiene en cuenta las consideraciones del personal a cargo de la planeación es presentado por Ikegami y Niwa (2003), quienes contemplan la modelación centrada en sub problemas, donde las restricciones se establecen en una estructura de bloque angular intentando resolver los problemas de distintas jornadas de turnos mediante la aplicación de algoritmos basados en la Búsqueda Tabú y el método de Branch and Bound. El modelo presenta como objetivo minimizar las violaciones de las restricciones dadas y clasificadas en dos grupos, restricciones de cambios de turnos y preferencias de enfermeras. Igualmente, considerando estas preferencias, en una programación de horarios cíclicos, Bard y Purnomo (2007), sugieren y ponen a prueba una heurística basada en la función de relajación de Lagrange para la relajación de las restricciones de preferencia y limitaciones de la demanda. Enfocados en encontrar soluciones a la programación entera de gran escala desarrollan un algoritmo híbrido que comprenden procedimientos heurísticos y métodos exactos.

Teniendo en cuenta algunas políticas sugeridas en la literatura, preferencias de enfermeras, condiciones ergonómicas y objetivos del hospital en minimizar el número de horas extras incurridas, Azaiez y Al Sharif (2005), sugieren un modelo de programación por metas lineal 0-1 (binaria) cuya función objetivo consiste en minimizar la suma de las desviaciones ponderadas de los objetivos correspondientes. Por el contrario, contemplando características y combinaciones de turnos nuevas en la literatura con un enfoque realista, Burke Edmund, et al. (2006), presentan y evalúan un método de solución de dos etapas que incluye un algoritmo de inicialización en el que se tienen en cuenta el cumplimiento de las restricciones duras y una metaheurística de Búsqueda Tabú híbrida eficaz para establecer los cambios requeridos. El modelo Tienen en cuenta las necesidades de descanso de personal, categoría o clasificación del personal, restricciones duras y blandas a través de un enfoque flexible. Gutjahra y Raunerb (2007), presentan un enfoque de optimización ACO para el problema de programación de horarios diarios no cíclicos y formulan una estrategia de optimización dinámica, en donde se tiene en cuenta los costos de asignación y presenta una configuración de parámetros flexible, presentando además un proceso de simulación en el que se evalúan escenarios distintos con el objetivo de validar el algoritmo y compararlo con un algoritmo simple Greedy. Apoyándose en el mismo enfoque, Wu Jie-jun, et al. (2013), proponen un ACO denotado ACO-NR en la que una función heurística se diseña para guiar el comportamiento de construcción de rutas y otra de penalización para manejar las restricciones del problema.

Empleando una programación multiobjetivo, Landa silva y Khoi Le (2008), presentan un algoritmo evolutivo simple con un decodificador auto adaptable para el manejo de las restricciones duras junto a una estrategia de regeneración para

ayudar a la diversificación, enfocados en satisfacer las necesidades del personal médico sujeto a reglamento de trabajos y capacidad de mano de obra. Ahora, observando horarios individuales Li, Aickelin y Burke (2008), exponen un método heurístico de búsqueda local basado en componentes con dos estrategias de eliminación evolutiva, combinando las características de mejora iterativa y perturbación constructiva para evitar quedar atrapados en mínimos locales, se ejecutan los pasos de la evaluación, eliminación y reconstrucción hasta que se alcanza una condición de parada. De aota manera, con el objetivo de enmarcar el tema y los estudios realizados décadas atrás a su publicación, Cheang, et al. (2003), presentan un breve resumen bibliográfico de distintos modelos y métodos empleados para resolver el problema de programación de turnos de enfermeras. Cheng, et al. (2008), ilustran cuantitativamente un conjunto de algoritmos de planificación tradicionales desde el punto de vista de la programación de tareas de los cuidados diarios, en el estudio se modela un conjunto de reglas de secuenciación individuales como la de Primer en llegar primer en servir (FCFS), Fecha de Vencimiento más Temprana (EDD), Tiempo de procesamiento máximo (MPT), extensión del MPT, Tiempo de holgura SLACK, y extensión del SLACK. Se evalúa sus similitudes mediante la comparación de los tiempos promedios de ejecución del escenario previsto con el actual.

Centrados en la minimización de la cantidad de enfermeras, Beliën y Demeulemeester (2008), exponen un modelo aplicado a la combinación del problema del proceso de planificación de horarios de enfermeras y salas de cirugías conjuntamente. Se enfoca un proceso de solución con un algoritmo de Branch and Price, presentando experimentos computacionales mediante simulación que demuestran la eficiencia del algoritmo propuesto. Maenhout y Vanhoucke (2013), Aplicando el mismo método de solución, construyen un modelo de programación entera en el que abordan como solución un enfoque de generación de columnas ejecutando análisis computacionales a través del optimizador LINDO. En la presentación del problema, estos autores resaltan distintas contribuciones como la asignación del personal a largo plazo, incorporación de distintas características del personal mediante una plantilla heterogénea, integración del personal de distintos departamentos, consideración de costos, preferencias de enfermeras y opiniones y perspectivas de pacientes.

Con el fin de satisfacer la cobertura de la demanda y satisfacción del personal, Topaloglu y Selim (2010), presentan tres modelos difusos de programación por metas en el que se usan enfoques de solución Fuzzy para tratar la incertidumbre relacionada con cada objetivo y se aplican los modelos a casos reales para su validación. Altamirano, et al. (2010), abordan el problema de programación de enfermeras de anestesiología frecuentes en salas de operaciones y la unidad de cuidados post-anestesia y proponen un enfoque de optimización por enjambre de partículas (PSO) de programación no lineal en dominios discretos con el objetivo de maximizar la equidad de la programación y la satisfacción de las enfermeras. Mobasher

(2011), buscando optimizar la programación de enfermeras en una clínica general, plantea un modelo multiobjetivo de programación entera binaria que intenta minimizar costos, insatisfacción del paciente, haciendo uso del método de Proceso Analítico Jerárquico, en donde como solución propone una programación por metas no ponderada de dos etapas empleando metodologías de solución robusta. Ahora, para la programación del personal en una sala de operaciones se desarrollan modelos de optimización de programación entera mixta aplicando métodos heurísticos, además de un algoritmo de CG como métodos de solución.

En un modelo de optimización multiobjetivo, Shahrezaei, et al. (2012), proponen dos metaheurísticas, un algoritmo de evolución diferencial y un procedimiento codicioso aleatorizado adaptativo de búsqueda (GRASP) cuya eficiencia es comprobada mediante la solución de dos problemas con datos reales. Yilmaz (2010), enfocados en asegurar un tiempo de descanso por lo menos después de cada turno y minimizar el tiempo total de espera e inactividad de las enfermeras durante un horizonte de planificación semanal, presentan un modelo de optimización matemático flexible ajustable a distintos horizontes de planeación. Por su parte, Lim y Mobasher (2012), en el proceso programación de enfermeras dentro de salas de cirugías, presentan un modelo multiobjetivo teniendo en cuenta la asignación de enfermeras y programación de horarios de almuerzos, para lo cual aplican una heurística rápida post-procesamiento de mejora. Landa Silva, et al. (2013), en un entorno determinista, sugieren un procedimiento heurístico basado en sucesivas resoluciones de asignación de enfermeras denominado MAPA (Multi - Assignment Problem - Based Algorithm), dividido en una primera fase constructiva y otra segunda de mejora considerando el método flexible y suficientemente robusto para atender una amplia gama de restricciones.

M'Hallah y Alkhabbaz (2013), proponen un modelo que tiene en cuenta las preferencias del personal y define como objetivo principal minimizar el número de enfermeras subcontratadas, demostrando además, mediante estudios computacionales, la simplicidad de generación automática de horarios. Buyukozkan y Sarucan (2013), realizan el primer acercamiento en la literatura de un algoritmo ABC (Algoritmo de colonia de abejas) presentado y aplicado al problema desarrollado en diferentes ambientes de trabajo reales, en donde se inicia con una solución inicial organizada al azar a partir de la cual el algoritmo empieza a trabajar. Bajo el mismo enfoque, Todorovic y Petrovic (2013), presentan otro ABC que alternan y combinan fases de búsquedas locales y constructivas realizando un descarte de las áreas en donde se predice según movimientos anteriores que no se encontraran soluciones factibles. En la fase constructiva los cambios imprevistos son programados a las enfermeras disponibles mientras que en las locales se busca la mejor opción, el método propone cuatro tipos de búsquedas locales y se muestra eficiente al ser comparado con otros algoritmos presentados.

Tratando el problema a gran escala, Huang Han, et al. (2014), presentan y simulan en un entorno determinístico un enfoque basado en un algoritmo evolutivo, en el que se agrupan las restricciones en dos grupos según características y generan una solución inicial mediante la programación entera que conduce la aplicación de dicho algoritmo. Además de esto, en el estudio se presenta un operador de mutación eficiente que intenta agilizar la búsqueda de soluciones factibles. Igualmente con un enfoque metaheurístico, Hadwan, et al. (2013), proponen un Algoritmo de Búsqueda Armónica evaluado en dos grupos de problemas distintos, el primer grupo se tratan distintos problemas relacionados con un hospital real en donde se contemplan casos con restricciones duras y blandas y sus resultados son comparados con los de un clásico GA. En el segundo grupo, con el objetivo de validar el enfoque propuesto frente a los presentados previamente en la literatura, se incluyen casos de problemas ya referenciados en donde se obtienen buenos resultados en comparación con los arrojados en distintas metaheurísticas propuestas. Wright y Mahar (2013), teniendo en cuenta los costos de programación y satisfacción del personal presentan y analizan el impacto que tiene la implementación de un modelo no lineal multiobjetivo de centralización de la programación de enfermeras de distintas unidades. Como complemento a estos estudios, centrados en la programación de enfermeras para la atención de pacientes adultos con enfermedades agudas en una extensa área, Fabrellas, et al. (2013), presentan un análisis de eficiencia de una serie de algoritmos de gestión aplicados durante un periodo de dos años.

En estudios conjuntos, considerando que en cualquier día del período de planificación actual, una o más enfermeras notifiquen su ausencia por uno o más días y sea necesario reconstruir la lista de tareas asignadas, Moz y Vaz Pato (2003), mediante la formulación de programación lineal entera describen la situación como un problema de flujo multiservicio a través de modelo de redes, realizando una primera aproximación de solución gracias a la aplicación de una heurística constructiva basada en la configuración de reglas jerárquicas para imponer restricciones coercitivas y así generar una solución factible. Dado que no hay garantía de que la heurística alcance dicha solución, también se realizan pruebas usando el optimizador CPLEX. Posteriormente, Moz y Vaz Pato (2004), presentan resultados computacionales derivados de la programación lineal binaria (BLP) con datos reales de un hospital público con el fin de comparar sus resultados. Bajo otra perspectiva de solución, teniendo en cuenta restricciones duras, Moz y Vaz Pato (2007), describen y validan heurísticas constructivas, además de varias versiones de AGs básicos cuya diferencia radica en la codificación de permutaciones y operadores genéticos utilizados en cada codificación. Por último, para el mismo problema de reprogramación de horarios de enfermeras, Moz y Vaz Pato (2008), plantean una utópica heurística genética caracterizada por un par de cromosomas cuya adecuación cumple con la clasificación de Pareto para alcanzar los objetivos propuestos.

Por su lado, Ohki, Uneme y Kawano (2008), proponen dicho ajuste de horario, mediante la aplicación de un Algoritmo Genético Cooperativo (CGA), y presentan la propuesta de ejecutar el proceso de programación y ejecución computacional a través de un proceso en paralelo en el que se le asigna la tarea de programación a distintos ordenadores con pequeña carga computacional, varias funciones de penalización se definen para evaluar el la programación de turnos. Posteriormente, Ohki y Kishida (2013), presentan un CGA libre de parámetros en el que se incluye un proceso de mutación manteniendo la consistencia del algoritmo. De Grano, Medeiros y Eitel (2009), proponen un enfoque de optimización teniendo en cuenta las preferencias del personal de enfermería y las restricciones relacionadas con el hospital, en una primera etapa se asignan los turnos mediante un tipo de subasta intentando satisfacer al máximo las preferencias de las enfermeras, y en una segunda fase, se finaliza el horario asignando los turnos pendientes a las enfermeras que no han programado el número de horas mínimas requeridas.

8.9 Otros

Arish Ibrahim (2012), para el problema de distribución de instalaciones de un hospital, proporciona un marco para la aplicación de un GA con un excelente manejo de las restricciones de capacidad. El modelo es planteado con el objetivo principal de aumentar la funcionalidad relacionando estrechamente los departamentos entre sí y ahorrar costos mediante la disminución de tiempo y distancias de transporte de materiales. El GA es aplicado a tres niveles para el diseño de planta, a nivel de habitaciones o departamentos, nivel de piso y nivel de edificio y finalmente es aplicado un modelo de evaluación de costos para la selección de la mejor estrategia entre las arrojadas por el GA.

Ozturk, et al. (2010), enfocados en minimizar el *makespan* de las operaciones de lavado realizadas en la prestación del servicio de esterilización de artículos médicos reutilizables en la sala de operaciones, considerando el proceso como un proceso cíclico procesado como una programación por lotes, con máquinas de igual capacidad y con igual tiempo de ejecución para todos los lotes de artículos a esterilizar. Considerando igual fecha para todos los grupos de artículos, se consideraría un problema de tipo *bin packing* (Problema de la mochila) en donde se proponen y comparan tres heurísticas basadas en los clásicos algoritmos *bin packing* teniendo en cuenta las fechas de lanzamiento del trabajo. Por otra parte, Ozturk Onur, et al. (2014), como solución a este mismo problema, proponen una heurística basada en el método *Branch and Bound* y comparada con un modelo lineal y con dos heurísticas más, propuestas en la literatura.

En un caso aplicado a un hospital privado, Forero, et al. (2008), describen un modelo matemático para la optimización del proceso de esterilización de paquetes quirúrgico. El trabajo primero determina y evalúa la situación actual del hospital, luego, para el soporte de dicho proceso determina un horizonte

de planeación adecuado y finalmente estudia la posibilidad y conveniencia según costos de comprar paquetes desechables. Mediante otro enfoque, Tlahig, Houda, et al. (2013), desarrollan un modelo de decisión basado en la localización y asignación en el proceso para el servicio de esterilización, comparando la ejecución de una prestación del servicio centralizado frente a uno no centralizado, con el objetivo de reducir el tiempo de proceso junto a los costos, sin desatender la calidad del servicio. Se propone en primera instancia una solución basada en el método *Branch and Bound* ejecutado en el Solver IBM ILOG CPLEX 12.2., en donde se permite la adición de cortes personalizados adecuados para dicha programación según el dimensionamiento de la capacidad.

CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

El presente trabajo se ha realizado con el fin de presentar una exhaustiva revisión bibliográfica relacionada con los modelos de optimización aplicados en la logística hospitalaria, recuperados de las bases de datos disponibles en la Universidad de Santander, abarcando una ventana de tiempo comprendida entre los años 2001 y 2014. Las publicaciones recuperadas se han organizado según el problema logístico al que hacen referencia, incluyendo el abastecimiento en la cadena de suministro hospitalaria, las actividades relacionadas con el servicio del departamento de emergencia, localización de centros de atención general, programación de salas de cirugía, asignación de recursos médicos, programación de admisiones, atención de salud domiciliaria, programación de turnos de enfermería, además de otras actividades logísticas concernidas en el diseño de plantas hospitalarias y el proceso del servicio de esterilización en un hospital.

Es notable el significativo número de casos de modelos de optimización estudiados y presentados en el tema logístico de programación de turnos de enfermería en el presente trabajo, abarcando aproximadamente el 32% de las publicaciones recopiladas. El servicio prestado por el departamento de emergencia de un hospital, es otra asistencia médica en la que la literatura se ha enfocado ampliamente, debido a la importancia que ésta presenta en la atención en salud, al ser la unidad encargada de brindar un tratamiento inicial a pacientes con un gran número de enfermedades y lesiones, algunas de las cuales pueden llegar a ser potencialmente mortales y requieren atención inmediata. Esta condición implica establecer especialmente restricciones de tiempo en el modelamiento matemático del problema, presentando como principales fines el mejoramiento de la capacidad de respuesta y la utilización de los recursos limitados con el objetivo de agilizar el flujo de pacientes atendidos.

Son muchos los objetivos principales que pueden ser representados en los modelos matemáticos de optimización planteados cuando a la mejora de la logística hospitalaria se refiere, entre ellos, los objetivos que con mayor frecuencia se intentan alcanzar son la minimización de costos en cuanto a la gestión, tiempos de espera de pacientes, distancias recorridas

en transportes internos y externos, tiempos de respuesta ante una situación de emergencia, así como, la maximización de la cobertura de la demanda que en este caso consiste en brindar un servicio satisfactorio al mayor número de habitantes posibles, maximización de utilización de recursos médicos. Según la literatura revisada uno de los inconvenientes presentados con mayor frecuencia, es la relacionada con la incertidumbre de la demanda que por lo general se presenta. Dicha condición es la más estudiada y crítica principalmente en el servicio de atención de emergencia, ya que ésta entra en acción generalmente como respuesta ante situaciones inesperadas como situaciones de desastres naturales, accidentes gran escala, pandemias, entre otras.

En los trabajos recuperados se presentan enfoques de solución, entre los cuales son contemplados los métodos heurísticos metaheurísticos, exactos y de simulación. De estos métodos, es relevante la aplicación que presentan los enfoques metaheurísticos, uno de los métodos destacados dentro de éstos son los basados en los denominados Algoritmos Genéticos, presentando en la revisión, un significativo registro de aplicación. Otro conjunto de métodos de modelado y solución que presentan gran aplicación son los basados en enfoques netamente heurísticos, que aunque al igual que las metaheurísticas, no garanticen un óptimo global, son considerados como procedimientos con un alto grado de confianza, con la capacidad de proporcionar soluciones de alta calidad y que por lo general no incurrir en elevados costos de ejecución computacional.

Como soporte para futuras investigaciones, cabe mencionar que en el estudio relacionado con la optimización de actividades inmersas en el servicio prestado por la unidad de urgencias médicas, en la mayoría de los casos, la atención de llamadas de emergencia implica una atención a puntos de demanda discretos, situación que puede resultar errónea al aplicarse en casos reales. Por esta razón, se consideraría en estudios futuros la ampliación y consideración de un área continua de distribución de demanda, situación que representaría un enfoque más realista. Los estudios menos encontrados son dirigidos a la optimización relacionada con la ubicación de centros de atención general, así como, temas aplicados a la distribución de las plantas hospitalarias y actividades de transformación como el servicio de esterilización en donde investigaciones futuras en este campo se pueden llevar a cabo en distintas direcciones.

REFERENCIAS

ABDUL, Beatriz; GUTIÉRREZ, José y SICILIA, Joaquín. Single cycle policies for the one-warehouse N-retailer inventory/distribution system. *Omega : The International Journal of Management Science*. 2004. núm. 36, p. 196–208.

AGNETIS, A., et al. Long term evaluation of operating theater planning policies. *Operations Research for Health Care*. 2012. vol. 1, p. 95–104.

AGUIRRE, S. AMAYA, C. y VELASCO, N. Logística Hospitalaria: logística hospitalaria. *Cuadernos PYLO*. 2007. vol. 01, 4 p.

AGUIRRE; AMAYA, Ciro y VELAZCO, Nubia. Planeación y Programación del Personal del Servicio de Urgencias en un Centro Médico. *Los Cuadernos de PYLO logística hospitalaria*. 2008. vol. 14, 19 p.

AHARON, Ben-Tal, et al. Robust Optimization for Emergency Logistics Planning Risk Mitigation in Humanitarian Relief Supply Chains. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2011. vol. 45, núm. 8, p. 1177–1189.

AICKELIN, Uwe y DOWSLAND, Kathryn. An indirect Genetic Algorithm for a nurse-scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 2004. vol. 31, p. 761–778.

AICKELIN, Uwe y LI, Jingpeng. An estimation of distribution algorithm for nurse scheduling. *Annals of Operations Research*. 2007. vol. 155, núm. 1, p. 289–309.

AICKELIN, Uwe y WHITE, Paul. Building Better Nurse Scheduling Algorithms. *Annals of Operations Research*. 2004. vol. 128, p. 159–177.

AICKELIN, Uwe; BURKE, EK y LI, Jingpeng. An estimation of distribution algorithm with intelligent local search for rule-based nurse rostering. *Journal of the Operational Research Society*. 2007. vol. 58, p. 1574, 1585.

AMAYA, Ciro, et al. Simulación Del Proceso De Entrega De Ropa Limpia En Un Hospital De Bogotá. 2008. *Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria*. 2008. vol. 6, p. 1–22.

ARISH, Ibrahim. A Framework for Genetic Algorithm Application in Hospital Facility Layout Design. *The IUP Journal of Operations Management*. 2012. vol. 11, núm. 4, p. 16–21.

ATKINSON, J. B, et al. Heuristic methods for the analysis of a queuing system describing emergency medical service deployed along a highway. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2006. vol. 42, Núm. 3, p. 379–391.

AZAIIEZA M.N. y AL SHARIF, S. A 0-1 goal programming model for nurse scheduling. *Computers & Operations Research*. 2005. vol. 32, núm. 3, p. 491–507.

BAO ZHAN, Biao y JIANJUN, Wu. A Particle Swarm Optimization Algorithm for Grain Emergency Scheduling Problem. *Advances in Control and Communication*. 2012. vol. 137, p. 483–488.

BARD, Jonathan F. y PURNOMO, Hadi W. Cyclic preference scheduling of nurses using a Lagrangian-based heuristic. *Journal of Scheduling*. 2007. vol. 10, núm. 1, p. 5–23.

BELIEN, Jeroen y DEMEULEMEESTER, Erik. A branch-and-price approach for integrating nurse and surgery scheduling. *European Journal of Operational Research*. 2008. vol. 189, núm. 3, p. 652–668.

BERTELS, Stefan y FAHLE, Torsten. A hybrid setup for a hybrid scenario combining heuristics for the home health care problem. *Computers & Operations Research*. 2006. vol. 33, p. 2866–2890.

BILGIN, Burak, et al. One hyper-heuristic approach to two timetabling problems in health care. *Journal of Heuristics*. 2012. vol. 18, p. 401–4034.

BOWERS, John; LYONS, Bob y MOULD, Gillian. Developing a resource allocation model for the Scottish patient transport service. *Operations Research for Health Care*. 2012. vol. 1, p. 84–94.

BRETTAUER, Kurt M. y SHETTY, Bala. The nonlinear knapsack problem – algorithms and applications. *European Journal of Operational Research*. 2002. vol. 138, p. 459–472.

BURKE, Edmund K, et al. Metaheuristics for handling time interval coverage constraints in nurse scheduling. *Applied Artificial Intelligence*. 2006. vol. 20, p. 743–766.

- BUYUKOZKAN, Kadir y SARUCAN, Ahmet. Applicability of artificial bee colony algorithm for nurse scheduling problems. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 2013. vol. 7, p. 121-136.
- CARELLO, Giuliana y LANZARONE, Ettore. A cardinality-constrained robust model for the assignment problem in Home Care services. *European Journal of Operational Research*. 2014. vol. 236, p. 748-762.
- CARPENTE, Adam, et al. Managing magnetic resonance imaging machines: support tools for scheduling and planning. *Health Care Management Science*. 2011. vol. 14, núm. 2, p. 158-173.
- CESELLI, Alberto; RIGHINI, Giovanni y TRESOLDI, Emanuele. Combined location and routing problems for drug distribution. *Discrete Applied Mathematics*. 2014. vol. 165, p. 130-145.
- CHEANG, B., et al. Nurse rostering problems-a bibliographic survey. *European Journal of Operational Research*. 2003. vol. 151, núm. 3, p. 447-460.
- CHENG SIONG Lim; MAMAT y Rosbi; BRAUNL, Thomas. Impact of Ambulance Dispatch Policies on Performance of Emergency Medical Services. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2011. vol. 12, núm. 2, p. 624-632.
- CHERN; CHEN y KUNG. A heuristic relief transportation planning algorithm for emergency supply chain management. *International Journal of Computer Mathematics*. 2010. vol. 87, núm. 7, p. 1638-1664.
- CONDOTTA, A. y SHAKHLEVICH, N.V. Scheduling patient appointments via multilevel template A case study in chemotherapy. *Operations Research for Health Care*. 2014. vol. 3, p. 129-144.
- DE GRANO, Melanie; MEDEIROS, D y EITEL, David. Accommodating individual preferences in nurse Scheduling via auctions and optimization. *Health Care Management Science*. 2009. vol. 12, núm. 3, p.118-142.
- DENTON, Brian; VIAPIANO, James y VOGL, Andrea. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. *Health Care Manage Sci*. 2007. vol. 10, p. 13-24.
- DOERNER, et al. Heuristic Solution of an Extended Double-Coverage Ambulance Location Problem for Austria. *Central European Journal of Operations Research*. 2005. vol. 13, núm. 4, p. 325-340.
- DUENAS, Alejandra; TÛTÛNCÛ, Yazgi y CHILCOTT, James B. A genetic algorithm approach to the nurse scheduling problem with fuzzy preferences. *IMA Journal of Management Mathematics*. 2009. vol. 20, p. 369-383.
- DZATOR, Michael y DZATOR, Janet. An effective heuristic for the P-median problem with application to ambulance location. *Operational Research Journal*. 2013. vol. 50, p. 60-74.
- FABRELLAS, Nria, et al. A program of nurse algorithm-guided care for adult patients with acute minor illnesses in primary care. *BMC Family Practice*. 2013. vol. 14, 8 p.
- FORERO, A, et al. Optimización Del Proceso De Esterilización De Paquetes Quirúrgicos En Un Hospital Privado. *los cuadernos de PYLO : Logística hospitalaria*. 2008. vol.8, 15 p.
- GARG, Lalit, et al. A non-homogeneous discrete time Markov model for admission scheduling and resource planning in a cost or capacity constrained healthcare system. *Health Care Management Science*. 2010. vol. 13, p. 155-169.
- GOCGUN, Yasin, et al. A Markov decision process approach to multi-category patient scheduling in a diagnostic facility. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2011. vol. 53, p. 73-81.
- GU, Wei; WANG, Xin y MCGREGOR, Elizabeth. Optimization of preventive health care facility locations. *International Journal of Health Geographics*. 2010. 16 p.
- GUARACAO, P, et al. Optimizing Resources Involved in the Reception of an Emergency Call. MEJÍA, GONZALO y VELASCO, NUBIA. Production Systems and Supply Chain Management in Emerging Countries: *Best Practices*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. p. 115-137.
- GUERRERO; YEUNG, T. y GUÉRET, C. Joint-optimization of inventory policies on a multi-product multi-echelon pharmaceutical system with batching and ordering constraints. *European Journal of Operational Research*. 2013. vol. 231, p. 98-108.
- GUTIÉRREZ, E. Valentina; GUTIÉRREZ, Valentina y VIDAL, Carlos. Home Health Care Logistics Management: Framework and Research Perspectives. *International Journal of Industrial Engineering and Management*. 2013. vol. 4, núm. 3, p. 173-182.
- GUTJAHR, Walter J. y RAUNER, Marion S. An ACO algorithm for a dynamic regional nurse-scheduling problem in Austria. *Computers & Operations Research*. 2007. vol. 34, núm. 3, p. 642-666.
- HADWAN, Mohammed, et al. A harmony search algorithm for nurse rostering problems. *Information Sciences*. 2013. vol. 233, p. 126-140.
- HERNÁNDEZ, P.C.; AMAYA, Ciro y VELASCO, Nubia. Modelo de coordinación de inventarios en la cadena de abastecimiento de medicamentos de un hospital público. *Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria*. 2008. vol. 04, p. 1-14.
- HIERMANN, Gerhard , et al. Metaheuristics for solving a multimodal home-healthcare scheduling problem. *Central European Journal of Operations Research*. 2013. 25 p.
- HOLTE, Matias y MANNINO, Carlo. The implementor/adversary algorithm for the cyclic and robust scheduling problem in health-care. *European Journal of Operational Research*. 2013. vol. 226, p. 551-559.
- HUANG, Han, et al. An evolutionary algorithm based on constraint set partitioning for nurse rostering problems. *Neural Computing and Applications*. 2014. vol. 25, núm. 3-4, p. 703-715.
- IANNONI, Ana Paula; MORABITO, Reinaldo y SAYDAM, Cem. A hypercube queueing model embedded into a genetic algorithm for ambulance deployment on highways. *Annals of Operations Research*. 2008. vol. 157, p. 207-224.
- IKEGAMI, Atsuko y NIWA, Akira. A sub problem-centric model and approach to the nurse scheduling problem. *Mathematical Programming*. 2003. vol. 97, núm. 3, p. 517-541.
- KBEDDOE, Gareth; PETROVIC, Sanja y LI, Jingpeng. A hybrid metaheuristic case-based reasoning system for nurse rostering. *Journal of Scheduling*. 2009. vol. 12. Núm. 2, p. 99-119.
- KERGOSIEN, Y, et al. Metaheuristic algorithms for solving two interconnected vehicle routing problems in a hospital complex. *Computers & Operations Research*. 2013. vol. 40, p. 2508-2518.
- KIM, Dong-Guen y KIM, Yeong-Dae. A Lagrangian heuristic algorithm for a public healthcare facility location problem. *Annals of Operations Research*. 2013. vol. 206, p. 221-240.
- KOELEMAN, P.M; BHULAI, S. y VAN MEERSBERGEN, M. Optimal patient and personnel scheduling policies for care-at-home service facilities. *European Journal of Operational Research*. 2012. vol. 219, p. 557-563.

- LAMAR, et al. Optimización del sistema de entrega de linos en un hospital público por medio de un problema de ruteo de inventarios. *Los Cuadernos de PYLO : logística hospitalaria*. 2008. vol. 18, p. 1-16.
- LANDA SILVA, Dario y LE, Khoi N. A Simple Evolutionary Algorithm with Self-adaptation for Multi-objective Nurse Scheduling. *Adaptive and Multilevel Metaheuristics*. 2008. vol. 136, p. 133-155.
- LANDA TORRES, et al. A multi-objective grouping Harmony Search algorithm for the optimal distribution of 24-hour medical emergency units. *Expert Systems with Applications : An International Journal*. 2013. vol. 40, p. 2343–2349.
- LANDA-SILVA, Dario, et al. A heuristic algorithm based on multi-assignment procedures for nurse scheduling. *Annals of Operations Research*. 2013. vol. 218, núm. 1, p. 165-183.
- LANZARONE, Ettore y MATTA, Andrea. Robust nurse-to-patient assignment in home care services to minimize overtimes under continuity of care. *Operations Research for Health Care*. 2014. vol. 3, p. 48-58.
- LEE, Eva K, et al. Modeling and Optimizing the Public-Health Infrastructure for Emergency Response. *Interfaces*. 2009. vol. 39, p. 476–490.
- LI, Jingpeng; AICKELIN, Uwe y BURKE, Edmund K. A Component-Based Heuristic Search Method with Evolutionary Eliminations for Hospital Personnel Scheduling. *INFORMS Journal on Computing*. 2008. vol. 21, 12 p.
- LIU, Ran, et al. Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care. *European Journal of Operational Research*. 2013. vol. 230, p. 475-486.
- LOTFI, Vahid y TORRES, Edgar. Improving an outpatient clinic utilization using decision analysis- based patient scheduling. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2014. vol. 48, p. 115-126.
- M'HALLAH, Rym y ALKHABBAZ, Amina. Scheduling of nurses: A case study of a Kuwaiti health care unit. *Operations Research for Health Care*. 2013. vol. 2 núm. 1-2, 19 p.
- MAENHOUT, Broos y VANHOUCHE, Mario. An integrated nurse staffing and scheduling analysis for longer-term nursing staff allocation problems. *Omega*. 2013. vol. 41, núm. 2, p. 485-499.
- MARIĆ, Miroslav; STANIMIROVIĆ, Zorica y BOŽOVIĆ, Srdjan. Hybrid metaheuristic method for determining locations for long-term health care facilities. *Annals of Operations Research*. 2013. 21 p.
- MARQUES, Inés; CAPTIVO, Eugenia y VAZ PATO, Margarita. Scheduling elective surgeries in a Portuguese hospital using a genetic heuristic. *Operations Research for Health Care*. 2014. vol. 3, p. 59-72.
- MENGHAO, Xi, et al. A Modified p -Median Model for the Emergency Facilities Location Problem and Its Variable Neighbourhood Search-Based Algorithm. *Journal of Applied Mathematics*. 2013. vol. 2013, 10 p.
- MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. A genetic algorithm approach to a nurse rostering problem. *Computers & Operations Research*. 2007. vol. 34, núm. 3, p. 667-691.
- MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. An integer multicommodity flow model applied to the rostering of nurse schedules. *Annals of Operations Research*. 2003. vol. 119. Núm. 1-4, p. 285-301.
- MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. Solving a bi-objective nurse rostering problem by using a utopic Pareto genetic heuristic. *Journal of Heuristics*. 2008. vol. 14, núm. 4, p. 259-374.
- MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida. Solving the Problem of Rerostering Nurse Schedules with Hard Constraints: New Multicommodity Flow Models. *Annals of Operations Research*. 2004. vol. 128, núm. 1-4, p. 179-197.
- NAOUM SAWAYA, Joe y ELHEDHLI, Samir. A stochastic optimization model for real-time ambulance redeployment. *Computers & Operations Research*. 2013. vol. 40, p. 1972–1978.
- NICHOLSON, Lawrence. VAKHARIA, Asoo J. y ERENGUC, S. Selcuk. Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application. *European Journal of Operational Research*. 2004. p. 271–290.
- OZTURK, Onur, et al. A branch and bound based heuristic for makespan minimization of washing operations in hospital sterilization services. *European Journal of Operational Research*. 2014. vol. 239, núm. 1, p. 214-226.
- P. SHAHNAZARI Shahrezaei, et al. A differential evolution algorithm developed for a nurse scheduling problem. *South African Journal of Industrial Engineering*. 2012. vol. 23, núm. 3. p. 68-90.
- PRADENAS ROJAS, Lorena y MATAMALA VERGARA, Exequiel. Una formulación matemática y de solución para programar cirugías con restricciones de recursos humanos en el hospital público. *Ingeniare : Revista chilena de ingeniería*. 2012. vol. 20, núm. 2, p. 230-241.
- PUENTE, Javier, et al. Medical doctor rostering problem in a hospital emergency department by means of genetic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*. 2009. vol. 56, p. 1232–1242.
- RAUNER, Marion S, et al. Resource planning for ambulance services in mass casualty incidents: a DES-based policy model. *Health Care Manag Sci*. 2012. vol. 15, p. 254–269.
- REVECO, Carlos y WEBER, Richard. Gestión de Capacidad en el Servicio de Urgencia en un Hospital Público. *Revista Ingeniería de Sistemas*. Chile, 2011. vol. 25, p. 57-75.
- ROLAND, B, et al. Scheduling an operating theatre under human resource constraints. *Computers & Industrial Engineering*. 2010. vol. 58, p. 212–220.
- ROMERO, H., et al. Admission and capacity planning for the implementation of one-stop-shop in skin cancer treatment using simulation-based optimization. *Health Care Manag Sci*. 2013. vol. 16, p. 75–86 RUIZ MUÑOZ, David. Nuevas tendencias en la logística sanitaria. *Revista Administración Sanitaria*. 2005. vol. 3, núm. 3, p. 506.
- SASAKI, Satoshi, et al. Using genetic algorithms to optimise current and future health planning - the example of ambulance locations. *International Journal of Health Geographics*. 2010. vol. 9, núm. 4, 10 p.
- SATOSHI, Sasaki, et al. A modified grouping genetic algorithm to select ambulance site locations. *International Journal of Geographical Information Science*. 2011. vol. 25, no, 5, p. 807–823.
- SIDDHARTHA, S. Syama y MURRAY, J. Côté. A comprehensive location-allocation method for specialized healthcare services. *Operations Research for Health Care*. 2012. vol. 1, p. 73–83.
- STANFORD, David A, et al. A multi-class multi-server accumulating priority queue with application to health care. *Operations Research for Health Care*. 2014. vol. 3, p. 73-79.
- SUN, Li; DEPUY, Gail y EVANS, Gerald W. Multi-objective optimization models for patient allocation during a pandemic influenza outbreak. *Computers & Operations Research*. 2014. vol. 51, p. 350–359.
- TLAHIG, Houda, et al. Centralized versus distributed sterilization service: A location-allocation decision model. *Operations Research for Health Care*. 2013. vol. 2, no, 4, p. 75-85.

- TODOROVIC, Nikola y PETROVIC, Sanja. Bee Colony Optimization Algorithm for Nurse Rostering. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. 2013. vol. 43, núm. 2, p. 467-473.
- TOPALOGLU, Seyda y OZKARAHAN, Irem. A constraint programming-based solution approach for medical resident scheduling problems. *Computers & Operations Research*. 2011. vol. 38, p. 246-255.
- TOPALOGLU, Seyda y SELIM, Hasan. Nurse scheduling using fuzzy modeling approach. *Fuzzy Sets and Systems*. 2010. vol. 161, núm. 11, p. 1543-163.
- TOPALOGLU, Seyda. A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents. *Computers & Industrial Engineering*. 2006. vol. 51, p. 375-388.
- TOPALOGLU, Seyda. A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare. *European Journal of Operational Research*. 2009. vol. 198, p. 943-957.
- TSAI, Chang-Chun y LEE, Cheng-Jung. Optimization of Nurse Scheduling Problem with a Two-Stage Mathematical Programming Model. *Asia Pacific Management Review*. 2010. vol. 15, p. 503-516.
- TSAI, Chang-Chun y LI, Sherman. A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem. *Expert Systems with Applications*. 2009. vol. 36, p. 9506-9512.
- UTHAYAKUMAR R. y PRIYAN S. Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital. *Operations Research for Health Care*. 2013. vol. 2, Núm. 3, p. 52-64.
- VAN ESSEN, J.T., et al. Minimizing the waiting time for emergency surgery. *Operations Research for Health Care*. 2012. Vol. 1, p. 34-44.
- VELOZA, et al. Implementación de reglas de despacho para la programación de cirugías en un hospital de Bogotá. *Los cuadernos de PYLO : Logística Hospitalaria*. 2008. vol. 7, 12 p.
- VLAH, S; LUKAC, Z. y PACHECO, J. Use of VNS heuristics for scheduling of patients in hospital. *Journal of the Operational Research Society*. 2011. vol. 62, p. 1227-1238.
- WOLFF Patrcio; DURÁN, Guillermo y REY, Pablo. Modelos de Programación Matemática Para Asignación de Pabellones Quirúrgicos en Hospitales Públicos. *Revista Ingeniería de Sistemas*. 2012. vol. 26, p. 23-48.
- WRIGHT, Daniel y MAHAR, Stephen. Centralized nurse scheduling to simultaneously improve schedule cost and nurse satisfaction. *Omega*. 2013. vol. 41, núm. 6, p. 1042-1052.
- XUEPING, Li, et al. Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. *Mathematical Methods of Operations Research*. 2011. vol. 74, p. 281-310.
- YANG, Feng-Cheng y WU, Wei-Ting. A genetic algorithm-based method for creating impartial work schedules for nurses. *International Journal of Electronic Business Management*, 2012. vol. 10, núm. 3, p.182-193.
- YILMAZ , Ebru. A Mathematical Programming Model for Scheduling of Nurses' Labor Shifts. *Journal of Medical Systems*. 2010. vol. 36, p. 491-496.
- ZHANG, Zebin; HAO, Zhifeng y HUANG, Han. Hybrid Swarm-Based Optimization Algorithm of GA&VNS for Nurse Scheduling Problem. *Information Computing and Applications*. 2011. vol. 7030, p. 375-382.
- MOBASHER, AREZOU. *Nurse Scheduling optimization a general clinic and an operating suite*. Houston: University of Houston. Facultad del departamento de ingeniería industrial. 2011.
- ELEJALDE DEL RÍO, CANDY Y CASTAÑEDA, LEILA. *Modelo para la asignación de rutas de ambulancias de la empresa Health Society S.A para la prestación de servicio en Bogotá. Bogotá D.C.:* Universidad Libre. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial, 2010.
- CIGNARALE, CHRISTINA. *Analysis and Optimization of Patient Bed Assignments within a Hospital Unit while Considering Isolation Requirements*. Rochester, NY, Estados Unidos: Kate Gleason College of Engineering, Departamento de ingeniería Industrial y de Sistemas. 2013.
- COSKUN, Nusin y EROL, Rizvan. An Optimization Model for Locating and Sizing Emergency Medical Service Stations. *Journal of Medical Systems*. 2010. vol. 34, p. 43-49.
- VERMEULEN, I. et al. Adaptive Optimization of Hospital Resource Calendars. BELLAZZI, RICCARDO, et al. *Artificial Intelligence in Medicine : 11th Conference on Artificial Intelligence in Medicine, Amsterdam, 7de Julio - 11 de Julio 2007*. 2007. p. 305-315.
- ZHAO, M; SONG. Scheduling Optimization of Multi to Multi Emergency Supplies Model. University of Science & Technology. *4th International Conference on Multimedia Information Networking and Security (MINES). Nanjing, China , 2-4, Noviembre 2012*. 2012. p. 521-524.
- ZHAO, et al. d-Cover Algorithm for Location in Urban Emergency Systems. 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT). (2: 17-18, Julio, 2010: Wuhan, China). IEEE, 2010. p. 434-437.
- NORDIN, N., et al. An Application of the A* Algorithm on the Ambulance Routing. *IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering Research. Penang, Malaysia, 5-6, Diciembre 2011*. IEEE, 2011. p. 855-859.
- NORDIN, N., et al. Finding Shortest Path of the Ambulance Routing: Interface of A* Algorithm using C# Programming. *IEEE Symposium on Humanities, Science and Engineering Research. Kuala Lumpur, Malaysia, 24-27, junio 2012*. IEEE, 2012. p. 1569-1573.
- OHKI, M. y KISHIDA, S. A parameter free algorithm of cooperative genetic algorithm for nurse scheduling problem. *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). Mysore, 22-25 Agosto 2013*. IEEE, 2013. p. 1201-1206.
- OHKI, M; UNEME, S y KAWANO, H. Parallel Processing of Cooperative Genetic Algorithm for Nurse Scheduling. *Intelligent Systems, 2008. IS '08. 4th International IEEE Conference. Varna, 6-8, Septiembre, 2008*. IEEE, 2008. p.10-36, 10-4.
- SUN, Y., et al. Application of Crossover Mutation Ant Colony Algorithm in Emergency Logistics Vehicle Routing Problem. *International Conference on Systems and Informatics, Yantai, 19-20, Mayo 2012*. IEEE, 2012. p. 86-89.
- OZTURK, O., et al. Optimizing the Makespan of Washing Operations Of Medical Devices in Hospital Sterilization Services. *IEEE Workshop on Health Care Management, Venice, 18-20, febrero 2010*. IEEE, 2010. 6 p.
- JIE-JUN., et al. An Ant Colony Optimization Approach For Nurse Rostering Problem. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). Manchester, 13-16, Octubre 2013*. IEEE, 2013. p.1672-1676.
- JINGPENG, L y AICKELIN, U. A Bayesian Optimization Algorithm for the Nurse Scheduling Problem. *The 2003 Congress on Evolutionary Computation, 8-12, Diciembre, 2003*. IEEE, 2003, p. 2149-2156.
- KAWANAKA, H, et al. Genetic Algorithm with the Constraints for Nurse Scheduling Problem. *Congress on Evolutionary Computation, Seúl, 27-30, mayo, 2001*. IEEE, 2001. p. 1123-1130.
- HELM, J; LAPP, M; SEE, B. Characterizing an effective hospital admissions scheduling and control management system: a genetic algorithm approach.

- Simulation Conference (WSC). Baltimore, Maryland ,5-8, Diciembre 2010. IEEE, 2010. p. 2387-2398.
- CHANG, Ch., et al. Logistics Routes Optimization Model under Large Scale Emergency Incident. *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management (ICLSIM)*. Harbin, 9-10, Enero 2010. IEEE, 2010. p.1471-1475.
- CHENG, M., et al. Analysis of Daily Nursing Care: a Nursing Care Scheduling Algorithm. *The 17th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Munich 1-3, Agosto, 2008*. IEEE, 2008. p. 193-200.
- CHEN, Ch.; ZHOU, De.; BAI, Y. Resource Emergency Dispatching Mathematical Model under Transport Capacity Constraints. *IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services* , Nanjing, China 10-12, noviembre, 2009. Memorias, IEEE, 2009. p. 559-563.
- CONFORTI, D.; GUERRIERO, F.; GUIDO, R.. A Multi-Objective Block Scheduling Model for the Management of Surgical Operating Rooms New Solution Approaches via Genetic Algorithms. *IEEE Workshop on Health Care Management* , Venice, Italy, 18-20, febrero 2010. IEEE, 2010. 5 p.
- ALTAMIRANO, L., et al. A PSO algorithm to solve a Real Anaesthesiology Nurse Scheduling Problem. *International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR)*. Paris, Francia, 7-10 Diciembre 2010. IEEE, 2010. p. 139-144.
- BACHOUCH, R.; GUINET, Al. y HAJRI-GABOUJ, S. An optimization model for task assignment in home health care. *IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM)*. (18-20, febrero, 2010: Venice, Italy). IEEE, 2010. 6 p.
- LI, D.; LIU, G.y GAO, Y. Uncertainty Optimization Model for Emergency Resource Scheduling. *Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, KAM '09*. (30, Noviembre - 01, Diciembre, 2009: Wuhan, China). vol.1, p. 55-58.
- MAJZOUBI, F; BAI, L. y HERAGU, S. A Heuristic Method for Transporting Patients to Hospitals. *Industrial and Systems Engineering Research Conference*. San Juan, Puerto Rico, 18-22 Mayo, 2013. 2013, p. 1737-1746.
- LIM, G y MOBASHER, A. Operating Suite Nurse Scheduling Problem: A Heuristic Approach. *Industrial and Systems Engineering Research Conference*. Orlando, Florida 19-23, Mayo, 2012.
- COSTANTINO, et al. A model for the optimal design of the Hospital Drug Distribution Chain. *Workshop on Health Care Management Febrero, 2010*. p.1-6.
- LÓPEZ, J.; LANZARINI, L. y DE GIUSTI, A. Evolutionary Multiobjective Optimization for Emergency Medical Services. *13th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation*. Dublin, Irlanda, 12-16, Julio, 2011. New York: ACM. p. 83-84.
- AMALDI, E.; CONIGLIO, S. y IULIANO, C. Optimization models for injured people evacuation in medium/maxi health-care emergencies. *Workshop on Health Care Management, Venice, Italy, 18-20 Febrero, 2010*. IEEE, 2010. 6 p.
- NI, Ch., et al. A Genetic Algorithm for the Optimization of Admission Scheduling Strategy in Hospitals. *Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Barcelona, España, 18-23 Julio, 2010. 2010, 5p.
- Optimization Modeling and Algorithm of Facility Location Problem in Perishable Commodities Emergency System. *Third International Conference on Conference: Natural Computation Hainan, China, 24-27, Agosto, 2007*. Volume: 1 2007, 5 p.
- ZHANG, et al. Location Decision Model on Distribution Center of emergency Logistics for Emergency Event Based on Multilayer Fuzzy Optimization *International Conference on Energy and Environment Technology*. Guilin, China, 16-18, Octubre. 2009. p. 385-388.
- Transport Hub-and-spoke Network Optimization Model Construction of Pharmaceuticals Cold-chain Logistics. *Novena conferencia internacional sobre ingeniería de negocios electrónico*. Hangzhou, China, 9-11, Septiembre, 2012. Hangzhou : Zhejiang University, 2012. p. 304-307.
- 2nd International conference on software engineering and service science (2: 15-17, Julio 2011: Beijing, China)*. A Relatively Robust Optimization Algorithm for Emergency Facility Location. Beijing International Convention Center. Julio, 2011. p. 243-246.
- GUO, Y. et al. The Optimization Model of Hospital Sick Beds' Rational Arrangements. *Information Computing and Applications : International Conference,, Tangshan, China, October 15-18, 2010*. Proceedings, Part I. 2010. En: RONGBO ZHU, et al (Eds.).vol. 105, p, 40-47.
- ZHENG, B; YOON, S y LU, S. An optimization model for reliable healthcare inventory sharing network. *Conferencia de Investigación de Ingeniería Industrial y de Sistemas*. (2013, Universidad Estatal de Nueva York, Binghamton). KRISHNAMURTHY Y W.K.V. CHAN, (Eds.) 2013. p. 1542-1551.

ANEXO G

RELACIÓN DE PUBLICACIONES RECUPERADAS EN EL ESTADO DEL ARTE SOBRE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA LOGÍSTICA HOSPITALARIA

Tema logístico	No	Año de Publicación	Título de la Publicación	Autores	País del caso de estudio o aplicación	Problema Logístico	Método de solución	Enfoque de solución
1. Gestión de inventarios farmacéuticos	1	2004	Single cycle policies for the one-warehouse N-retailer inventory/distribution system	ABDUL, Beatriz; GUTIÉRREZ, José y SICILIA, Joaquín.	España	Gestión de inventario farmacéutico.	Heurística	Heurístico
	2	2008	Modelo de coordinación de inventarios en la cadena de abastecimiento de medicamentos de un hospital público	HERNÁNDEZ, P.C.; AMAYA, Ciro y VELASCO, Nubia	Colombia	Gestión de inventarios multiproducto.	heurísticas de búsqueda local, algoritmos Genéticos (GA)	Metaheurístico
	3	2002	Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application	NICHOLSON, Lawrence. VAKHARIA, Asoo J. y ERENGUC, S. Selcuk.	USA	Gestión de inventario farmacéutico de productos no críticos.	Heurística	Heurístico
	4	2013	Joint-optimization of inventory policies on a multi-product multi-echelon pharmaceutical system with batching and ordering constraints	GUERRERO; YEUNG, T. y GUÉRET, C.	Francia	Gestión de inventarios.	Algoritmo heurístico	Heurístico
	5	2013	Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital	UTHAYAKUMAR R. y PRIYAN S.	India	Coordinación de cadena de abastecimiento incluyendo producción y distribución de productos farmacéuticos.	método algorítmico del Multiplicador de Lagrange	Metaheurístico
	6	2013	An Optimization Model for Reliable Healthcare Inventory Sharing Network	ZHENG, Bichen; YOON, Sang Won y LU, Susan.	USA	Gestión de inventarios compartidos entre hospitales.	GA	Metaheurístico
	7	2010	A Model for the Optimal Design of the Hospital Drug Distribution Chain	COSTANTINO, et al.	Italia	Diseño de una cadena de distribución.	Método de grafos.	Heurístico
2. Ruteo interno y externo de inventarios	8	2012	Transport Hub-and-spoke Network Optimization Model Construction of Pharmaceuticals Cold-chain Logistics	Li Dongjiu, et al.	China	Diseño de una cadena de distribución de productos fríos, (localización y ruteo de vehículos).	Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Teoría de Grafos.	Heurístico
	9	2008	Optimización del sistema de entrega de linos en un hospital público por medio de un problema de ruteo de inventarios	LAMAR, et al.	Colombia	Ruteo de inventarios interno de ropa limpia.	Algoritmo de inserción algoritmo de la ruta más corta.	Heurístico
	10	2008	Simulación Del Proceso De Entrega De Ropa Limpia En Un Hospital De Bogotá	AMAYA, Ciro, et al.	Colombia	Ruteo de inventarios interno de ropa limpia.	Simulación.	Simulación
	11	2013	Metaheuristic algorithms for solving two interconnected vehicle routing problems in a hospital complex	Kergosien, Y, et al.	Francia	Enrutamiento de vehículos interconectados en un sistema hospitalario (2-VRP) multiproducto	Algoritmo Genético (GA) y Búsqueda Tabú (TS),	Metaheurístico
	12	2010	An Optimization Model for Locating and Sizing Emergency Medical Service Stations	COSKUN, Nusin y EROL, Rizvan.	Turquía	Localización de centros de atención urbanos.	Herramienta Computacional, software de optimización LINGO	Herramienta Computacional

	13	2013	A multi-objective grouping Harmony Search algorithm for the optimal distribution of 24-hour medical emergency units	LANDA TORRES, et al.	España	Localización de distintos puntos de atención de emergencia en una zona rural.	algoritmo de búsqueda armónica con agrupación multi-objetivo (MOGHS)	Metaheurístico
3. Localización de centros de atención y puntos de distribución para situaciones de urgencia	14	2013	A Modified p-Median Model for the Emergency Facilities Location Problem and Its Variable Neighbourhood Search-Based Algorithm	MENGHAO, Xi, et al.	China	Instalación de varios puntos de centros de emergencia como un problema de la p-mediana básico y p-mediana.	algoritmo de búsqueda en la vecindad variable (VNS)	Metaheurístico
	15	2011	Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review	XUEPING, Li, et al.	USA	Revisión literaria.	Revisión literaria	Revisión literaria
	16	2011	A Relatively Robust Optimization Algorithm for Emergency Facility Location Location Decision Model on Distribution Center of emergency Logistics for	Weimin Ma, y Zhi Zheng	China	Localización de un punto de distribución de bienes.	algoritmo de optimización robusto	Heurístico
	17	2009	Emergency Event Based on Multilayer Fuzzy Optimization	ZHANG, Jinhui, et al.	China	Ubicación de un centro de distribución en la logística de urgencias.	entropía de la información AHP	Heurístico
	18	2007	Optimization Modeling and Algorithm of Facility Location Problem in Perishable Commodities Emergency System	Min Zhang y Jun Yang	China	Ubicación de los puntos de distribución estratégico para el suministro de productos perecederos en casos de urgencias.	algoritmo de remarcado que inicia aplicando Dijkstra (re-marking algorithm)	Exacto
	19	2009	Modeling and Optimizing the Public-Health Infrastructure for Emergency Response	LEE, Eva K, et al.	Georgia	Planeación estratégica y operativa de un sistema de distribución de suministros en caso de emergencias por medio de un software.	heurística de búsqueda local y un GA	Heurístico Y Metaheurístico
	20	2010	Logistics Routes Optimization Model under Large Scale Emergency Incident	CHANG, Chunguang, et al.	China	Ruteo que soporten la distribución de insumos ante incidentes de gran escala.	método de grafos y aplicando un Algoritmo Genético (GA)	Metaheurístico
	21	2010	d-Cover Algorithm for Location in Urban Emergency Systems	ZHAO, Yan-Chao, et al.	China	Localización de los puntos de despacho temporales de emergencia (localización-ruteo).	algoritmo heurístico de cobertura denominado d-Cover Algorithm	Heurístico
4. Proceso de despacho de suministros ante una emergencia	22	2009	Resource Emergency Dispatching Mathematical Model under Transport Capacity Constraints	CHEN, Chao; ZHOU, Dequn y BAI, Yang.	China	Política de despacho de recursos ante una situación de emergencias.	Algoritmo Heurístico	Heurístico

4. Proceso de despacho de suministros ante una emergencia	23	2011	Evolutionary Multiobjective Optimization for Emergency Medical Services	LÓPEZ, Javier; LANZARINI, Laura y DE GIUSTI, Armando.	Argentina	Despacho y ruteo de vehículos de emergencia.	Metaheurísticas NSGA II, SPEA2, PAES, varMOPSO, OMOPSO y SMPPO	Metaheurístico
	24	2012	Scheduling Optimization of Multi to Multi Emergency Supplies Model	ZHAO, Ming y SONG, Xiao-yu.	China	Planificación de despachos de suministros.	GA	Metaheurístico
	25	2012	A Particle Swarm Optimization Algorithm for Grain Emergency Scheduling Problem	BAO ZHAN, Biao y JIANJUN, Wu	China	Distribución de suministros de alimentos.	algoritmo de optimización por partículas.	Metaheurístico
	26	2011	Robust Optimization for Emergency Logistics Planning: Risk Mitigation in Humanitarian Relief Supply Chains	AHARON, Ben-Tal, et al.	Israel y USA	Desarrollo de planificación logística de cadena de cadena de suministros médicos de ayudas humanitarias.	method "Affinely Adjustable Robust Counterpart" (AARC)	Heurístico
	27	2010	A heuristic relief transportation planning algorithm for emergency supply chain management	CHERN; CHEN y KUNG	China	Distribución de suministros de médicos.	ERTPA (Emergency Relief Transportation Planning Algorithm)	Heurístico
5. Localización de ambulancias	28	2005	Heuristic Solution of an Extended Double-Coverage Ambulance Location Problem for Austria	DOERNER, et al.	Austria	Ubicación de un número determinado de ambulancia con cobertura doble.	algoritmo de Búsqueda Tabú (TS) y el desarrollo de un algoritmo de colonia de hormigas (ACO) con búsqueda local	Metaheurístico
	29	2011	A modified grouping genetic algorithm to select ambulance site locations	SATOSHI, Sasaki, et al	Japón	Ubicación de ambulancias.	algoritmo genético de agrupación (GGA) de dos grupos	Metaheurístico
	30	2010	Using genetic algorithms to optimize current and future health planning - the example of ambulance locations	SASAKI, Satoshi, et al.	Japón	Ubicación de ambulancias.	Algoritmo Genético de Agrupación (GGA),	Metaheurístico
	31	2011	Impact of Ambulance Dispatch Policies on Performance of Emergency Medical Services	CHENG SIONG Lim; MAMAT y Rosbi; BRAUNL, Thomas.	Malasia	Reubicación de ambulancias.	técnica de simulación	Simulación
	32	2013	An effective heuristic for the P-median problem with application to ambulance location	DZATOR, Michael y DZATOR, Janet.	Australia	Instalación de ambulancias como un problema de p-mediana.	Algoritmo Miope (MA), Búsqueda en la Vecindad (NS) y Heurística de Intercambio (EH). Heurística con Reducción (RH)	Heurístico Y Metaheurístico
	33	2013	A stochastic optimization mode for real-time ambulance redeployment	NAOUM SAWAYA, Joe y ELHEDHLI, Samir.	Canadá	Relocalización de ambulancias.	Herramienta Computacional, CPLEX 11.0.	Herramienta Computacional

	34	2012	Resource planning for ambulance services in mass casualty incidents: a DES-based policy model	RAUNER, Marion S, et al.	Austria	Planificación de ambulancias.	modelo de simulación	Simulación
6. Asignación y ruteo de ambulancia ante una llamada de emergencia	35	2006	HEURISTIC METHODS FOR THE ANALYSIS OF A QUEUING SYSTEM DESCRIBING EMERGENCY MEDICAL SERVICE DEPLOYED ALONG A HIGHWAY	ATKINSON, J. B, et al.	Brasil	Calculo de la probabilidad de que una llamada de emergencia entrante no pueda ser atendida.	método exacto y dos heurísticas	Exacto Y Heurístico
6. Asignación y ruteo de ambulancia ante una llamada de emergencia	36	2010	Optimizing Resources Involved in the Reception of an Emergency Call	GUARACAO, P, et al.	Colombia	Optimización de los recursos involucrados en la recepción de una llamada de emergencia.	Software de simulación Arena	Simulación
	37	2008	A hypercube queuing model embedded in a genetic algorithm for ambulance deployment on highways	IANNONI, Ana Paula; MORABITO, Reinaldo y SAYDAM, Cem	Brasil	Problema de regionalización en donde se determina las áreas de respuesta óptimas a las que se debe enviar las ambulancias.	Algoritmo Genético (GA)	Metaheurístico
	38	2009	Uncertainty Optimization Model for Emergency Resource Scheduling	LI, Dii; LIU, Guangli y GAO, Youjian.	China	Diseño de rutas de distribución, en situación de emergencias, problema de programación restringida con probabilidad difusa (FCCP).	Teoría de la credibilidad con tiempos difusos, híbrido algoritmo de Recocido Simulado (SA) algoritmo Genético (GA).	Metaheurístico
	39	2010	Application of Crossover Mutation Ant Colony Algorithm in Emergency Logistics Vehicle Routing Problem	SUN, Yunshan, et al.	China	El problema de ruteo de vehículos de emergencia (VRP).	Algoritmo Genético para el cruce y mutación del Algoritmo de la Colonia de Hormigas (ACO)	Metaheurístico
	40	2013	A Heuristic Method for Transporting Patients to Hospitals	MAJZOUBI, Farshad; BAI, Lihui y HERAGU, Sunderesh S.	USA	problema de ruteo de vehículos con recogida y entrega (VRPPD)	Algoritmo de Recocido Simulado (SA) y otro de Búsqueda local.	Metaheurístico
	41	2010	Modelo para la asignación de rutas de ambulancias de la empresa Health Society S.A para la prestación de servicio en Bogotá	ELEJALDE DEL RÍO, Candy y CASTAÑEDA, Leila	Colombia	asignación de ambulancias y diseño de rutas en área urbana	Algoritmo heurístico de Clarke y Wright, algoritmo de Floyd Warshall, un Traveling salesman Problem (TSP), un modelo lógico de simulación y el problema del ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP).	Metaheurístico

6. Asignación y ruteo de ambulancia ante una llamada de emergencia	42	2011	An Application of the A* Algorithm on the Ambulance Routing	NORDIN, Noraimi, et al.	Malasia	asignación de ambulancias y enrutamiento urbano	Algoritmo A* (A asterisco).	Heurístico
	43	2012	Finding Shortest Path of the Ambulance Routing: Interface of A* Algorithm using C# Programming	NORDIN, Noraimi, et al.	Malasia	Ruteo de ambulancias.	Algoritmo A*	Heurístico
	44	2014	Combined location and routing problems for drug distribution	CESELLI, Alberto; RIGHINI, Giovanni y TRESOLDI, Emanuele	Italia	Problema de distribución y localización generalizado (GLDP) (ruteo y localización (LRP).	Algoritmo exacto basado en los algoritmos de Brand-and-Cut-and-Price y de Generación de Columnas.	Exacto
	45	2010	Optimization models for injured people evacuation in medium/maxi health-care emergencies	AMALDI, Edoardo; CONIGLIO, Stefano y IULIANO, Claudio	Italia	Evacuación simultánea de personas heridas en una situación desde el punto de emergencia (asignación de ambulancias).	Algoritmo branch and bound and price y un algorithm Greedy.	Exacto
	46	2014	Multi-objective optimization models for patient allocation during a pandemic influenza outbreak	SUN, Li; DEPUY, Gail y EVANS, Gerald W.	USA	Asignación de recursos humanos y físicos como ambulancias, en caso de requerirlos asignar más recursos de los que hay.	Herramienta Computacional, LINGO11.0	Herramienta Computacional
	47	2013	An Algorithm for Transition of Care in the Emergency Department	KESSLER, Chad, et al.	USA	Mejorar la transición de atención en el servicio de urgencias.	Modelo de Gestión	Modelo de Gestión
7. Programación del personal en urgencias y unidades médicas	48	2006	A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents	TOPALOGU, Seyda.	Turquía	Programación de turnos de residentes médicos en un dpto. De emergencia.	Herramienta Computacional, CPLEX 9.0 (2003)	Herramienta Computacional
	49	2009	Medical doctor rostering problem in a hospital emergency department by means of genetic algorithms	PUENTE, Javier, et al	España	Programación de turnos de médicos.	GAs	Metaheurístico
	50	2011	Gestión de Capacidad en el Servicio de Urgencia en un Hospital Público	REVECO, Carlos y WEBER, Richard.	Chile	Programación de los turnos médicos.	software de optimización llamado ZIMPL y el Solver no comercial SCIP	Herramienta Computacional
	51	2008	Planeación y Programación del Personal del Servicio de Urgencias en un Centro Médico	AGUIRRE; AMAYA, Ciro y VELAZCO, Nubia.	Colombia	Determinación óptima de niveles del personal médico, enfermeras y auxiliares de enfermería en la unidad de emergencia.	Herramienta Computacional, Xpress-MP, Microsoft Solver Foundation, Microsoft Solver Foundation, para Office Excel 2007.	Herramienta Computacional

	52	2011	A constraint programming based solution approach for medical resident scheduling problems	TOPALOGLU, Seyda y OZKARAHAN, Irem	Turquía	Programación de residentes de medicina general.	Método de Generación de Columnas (CG)	Heurístico
	53	2009	A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare	TOPALOGLU, Seyda.	Turquía	Programación de residentes de medicina general.	métodos secuencial y ponderado con un seguimiento BYB	Heurístico
8. Localización de centros de atención	54	2010	Optimization of preventive health care facility locations	GU, Wei; WANG, Xin y MCGREGOR, Elizabeth. Optimization	Canadá	Localización de centros de atención preventiva (PHCFL).	Algoritmo de Intercambio.	Heurístico
	55	2013	Hybrid metaheuristic method for determining locations for long-term health care facilities	MARIĆ, Miroslav; STANIMIROVIĆ, Zorica y BOŽOVIĆ, Srdjan.	Serbia	Localización de centros de atención de salud a largo plazo.	Metaheurística híbrida, método evolutivo y VNS (búsqueda variable en la vecindad)	Metaheurístico
	56	2013	A Lagrangian heuristic algorithm for a public healthcare facility location problem	KIM, Dong-Guen y KIM, Yeong-Dae.	Japón	Instalación y asignación de pacientes.	Heurística de relajación de Lagrange	Metaheurístico
	57	2012	A comprehensive location-allocation method for specialized healthcare services	SIDDHARTHA, S. Syama y MURRAY, J. Côté.	USA	Instalación y asignación de pacientes.	Herramienta Computacional, CPLEX-OPL	Herramienta Computacional
9. Programación de salas de cirugías	58	2007	Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertain	DENTON, Brian; VIAPIANO, James y VOGL, Andrea	USA	Programación de salas de cirugías.	Heurística de Intercambio y Heurística basada en la media y varianza	Heurístico
	59	2008	Implementación De Reglas De Despacho Para La Programación De Cirugías En Un Hospital De Bogotá	VELOZA, et al.	Colombia	Programación de salas de cirugías.	Algoritmo Heurístico	Heurístico
	60	2012	Scheduling an operating theatre under human resource constraints	ROLAND, B, et al.	Bélgica	Programación de salas de cirugías.	algoritmos genéticos	Metaheurístico
	61	2012	Minimizing the waiting time for emergency surgery	VAN ESSEN, J.T., et al.	Países Bajos	Programación de salas de cirugías.	Métodos exactos y metaheurísticas de Recocido Simulado y Búsqueda Tabú	Exacto Y Metaheurístico
	62	2012	. Una formulación matemática y de solución para programar cirugías con restricciones de recursos humanos en el hospital público	PRADENAS ROJAS, Lorena y MATAMALA VERGARA, Exequiel	Chile	Programación semanal de salas de cirugías.	GA	Metaheurístico

	63	2010	A Multi-Objective Block Scheduling Model for the Management of Surgical Operating Rooms: New Solution Approaches via Genetic Algorithms	CONFORTI, Domenico; GUERRIERO, Francesca y GUIDO, Rosita.	Italia	Programación de salas de cirugías	Algoritmo genético NSGA	Metaheurístico
	64	2012	Long term evaluation of operating theater planning policies	AGNETIS, A., et al.	Italia	Programación de salas de cirugías.	Modelos de Simulación	Simulación
	65	2012	Modelos de Programación Matemática Para Asignación de Pabellones Quirúrgicos en Hospitales Públicos	WOLFF Patrcio; DURÁN, Guillermo y REY, Pablo.	Chile	Elección del día de operación de cada paciente, la asignación de especialistas a cada operación y la secuenciación de las operaciones en un día.	Algoritmo Basado en un Modelo de Factibilidad, Algoritmo del Tipo Baccktracking	Heurístico
	66	2014	Scheduling elective surgeries in a Portuguese hospital using a genetic heuristic	MARQUES, Inés; CAPTIVO, Eugenia y VAZ PATO, Margarita	Portugal	Programación de salas de cirugías	GA	Metaheurístico
	67	2013	The implementor/adversary algorithm for the cyclic and robust scheduling problem in health-care	HOLTE, Matias y MANNINO, Carlo	Italia	Programación de salas e cirugías	Algoritmo de generación de filas y columnas	Heurístico
10. Asignación de recursos médicos	68	2002	The nonlinear knapsack problem – algorithms and applications	BRETTAUER, Kurt M. y SHETTY, Bala.	USA	Problema de la mochila.	Revisión literaria	Revisión literaria
	69	2012	Developing a resource allocation model for the Scottish patient transport service	BOWERS, John; LYONS, Bob y MOULD, Gillian.	Escocia	Asignación de recursos para el servicio de transporte de pacientes no urgentes (STP) en áreas urbanas y rurales.	heurística simple basada en una serie de experimentos de simulación de Monte Carlo,	Metaheurístico
	70	2010	The Optimization Model of Hospital Sick Beds' Rational Arrangements	GUO, Yajun, et al.	China	Asignación y programación de camas para pacientes hospitalizados en un centro de salud oftalmológico	Herramienta Computacional, Matlab	Herramienta Computacional
	71	2013	Analysis and Optimization of Patient Bed Assignments within a Hospital Unit while Considering Isolation Requirements	CIGNARALE, Christina	USA	Asignaciones de camas a pacientes con condición de aislamiento.	Método de Simulación	Simulación
	72	2007	Adaptive Optimization of Hospital Resource Calendars	VERMEULEN, I, et al.	Países Bajos	Programación específica de scanner computarizados para tomografías (CT- scan).	Método de Simulación	Simulación
	73	2011	Managing magnetic resonance imaging machines: support tools for scheduling and planning	CARPENTE, Adam, et al.	USA	Asignación y programación de máquinas de resonancia.	técnicas de algoritmos de proximidad	Heurístico
11. Programación de admisiones	74	2010	Characterizing An Effective Hospital Admissions Scheduling And Control Management System: A Genetic Algorithm Approach	HELM, Jonathan; LAPP, Marcial y SEE, Brendan.	USA	Programación de admisiones de pacientes.	GAs y un modelo de simulación	Metaheurístico

11. Programación de admisiones	75	2013	Admission and capacity planning for the implementation of one-stop-shop in skin cancer treatment using simulation-based optimization	ROMERO, H., et al.	Países Bajos	Planificación de admisiones y capacidad.	Heurística	Heurístico
	76	2010	A Genetic Algorithm for the Optimization of Admission Scheduling Strategy in Hospitals	NI, Chen, et al.	China	Programación de admisiones de pacientes.	GA	Metaheurístico
	77	2010	A non-homogeneous discrete time Markov model for admission scheduling and resource planning in a cost or capacity constrained healthcare system	GARG, Lalit, et al.	Reino Unido	Programación de admisiones de pacientes.	Modelado de Markov	Exacto
	78	2011	A Markov decision process approach to multi-category patient scheduling in a diagnostic facility	GOCGUN, Yasin.	USA	La programación de pacientes para tomografías computarizadas.	Heurística	Heurístico
	79	2011	Use of VNS heuristics for scheduling of patients in hospital	VLAH, S; LUKAC, Z. y PACHECO, J	España	Programación de tratamientos a pacientes.	método heurístico , algoritmo Búsqueda variable en la vecindad VNS denominado (RVNS)	Heurístico
	80	2014	A multi-class multi-server accumulating priority queue with application to health care	STANFORD, David A, et al	Canadá y Australia	Atención de pacientes para distintos tratamientos.	Heurística	Heurística
	81	2014	Improving an outpatient clinic utilization using decision analysis based patient scheduling	LOTFI, Vahid y TORRES, Edgar.	USA	Programación de pacientes en una clínica ambulatoria.	Método de Árboles de decisión	Exacto
	82	2014	Scheduling patient appointments via multilevel template A case study in chemotherapy	CONDOTTA, A. y SHAKHLEVICH. N.V.	Reino Unido	Reservas y programación de citas de la unidad.	herramienta de optimización	Heurístico
83	2012	One hyper-heuristic approach to two timetabling problems in health care	BILGIN, Burak, et al	Bélgica	Programación de atención médica.	Híperheurística	Heurístico	
12. Atención Domiciliaria	84	2013	Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care	LIU, Ran, et al.	Francia y China	Ruteo en donde vehículos se encargan de un proceso de entrega y recogida.	Algoritmo genético (GA) y otro de Búsqueda Tabú (TS)	Metaheurístico
	85	2010	An optimization model for task assignment in home health care	BACHOUCH, Rym; GUINET, Alain y HAJRI-GABOUJ, Sonia.	Francia	Programación estas tareas de enfermeras.	Herramienta Computacional, LINGO	Herramienta Computacional
	86	2012	Optimal patient and personnel scheduling policies for care-at-home service facilities	KOELEMAN, P.M; BHULAI, S. y VAN MEERSBERGEN, M.	Países Bajos	Planificación de personal.	heurística trunk reservation	Heurístico

87	2014	A cardinality-constrained robust model for the assignment problem in Home Care services	CARELLO, Giuliana y LANZARONE, Ettore.	Italia	Programación de enfermeras en una atención continua.	Herramienta Computacional, Solver CPLEX-OPL	Herramienta Computacional
88	2014	Robust nurse-to-patient assignment in home care services to minimize overtimes under continuity of care	LANZARONE, Ettore y MATTA, Andrea.	Italia	Asignación enfermera-paciente en atención domiciliaria bajo continuidad de la atención.	Heurística	Heurístico
89	2006	A hybrid setup for a hybrid scenario: combining heuristics for the home health care problem	BERTELS, Stefan y FAHLE, Torsten	Alemania	Programación híbrida de turnos de enfermeras y enrutamiento para vivistas a pacientes.	Distintas heurísticas para su solución la Programación con Restricciones (CP), Búsqueda Tabú (TS) y Recocido Simulado (SA).	Heurístico Y Metaheurístico
90	2013	Metaheuristics for solving a multimodal home-healthcare scheduling problem	HIERMANN, Gerhard , et al.	Austria	Programa y asigna el personal de atención y determina el enrutamiento de vehículos.	Algoritmos metaheurístico de VNS, algoritmo mimético (MA), búsqueda dispersa o híper heurística de recocido simulado (SAHH).	Metaheurístico
91	2013	Home Health Care Logistics Management: Framework and Research Perspectives.	GUTIÉRREZ, E. Valentina; GUTIÉRREZ, Valentina y VIDAL, Carlos	Colombia	Revisión literaria	Revisión literaria	Revisión literaria

13. Programación de turnos de enfermería

92	2001	Genetic Algorithm with the Constraints for Nurse Scheduling Problem.	KAWANAKA, Hiroharu, et al.	Japón	Programación mensual de turnos de enfermería.	GA	Metaheurístico
93	2004	An indirect Genetic Algorithm for a nurse-scheduling problem.	AICKELIN, Uwe y DOWSLAND, Kathryn.	Reino Unido	programación semanal de turnos de enfermería	GA	Metaheurístico
94	2004	Building Better Nurse Scheduling Algorithms.	AICKELIN, Uwe y WHITE, Paul.	Reino Unido	Programación de turnos de enfermería.	Algoritmos evolutivos (GA).	Metaheurístico
95	2009	A genetic algorithm approach to the nurse scheduling problem with fuzzy preferences.	DUENAS, Alejandra; TÛTÛNCÛ, Yazgi y CHILCOTT, James B.	Reino Unido	Programación de turnos de enfermería.	GA	Metaheurístico
96	2010	Optimization of Nurse Scheduling Problem with a Two-Stage. Mathematical Programming Model	TSAI, Chang-Chun y LEE, Cheng-Jung	Taiwán	Programación de turnos de enfermería.	GA	Metaheurístico
97	2009	A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem	TSAI, Chang-Chun y LI, Sherman.	Taiwán	Programación de turnos de enfermería.	GA	Metaheurístico
98	2011	Hybrid Swarm-Based Optimization Algorithm of GA&VNS for Nurse Scheduling Problem	ZHANG, Zebin; HAO, Zhifeng y HUANG, Han.	China	Programación de enfermeras.	GA y VNS	Metaheurístico

13. Programación de turnos de enfermería

99	2012	A GENETIC ALGORITHM-BASED METHOD FOR CREATING IMPARTIAL WORK SCHEDULES FOR NURSES	YANG, Feng-Cheng y WU, Wei-Ting.	Taiwán	Programación de turnos de enfermería.	GA	Metaheurístico
100	2003	A Bayesian Optimization Algorithm for the Nurse Scheduling Problem	JINGPENG, Li y AICKELIN, Uwe.	Reino Unido	Programación de turnos de enfermería.	Algoritmo basado en la optimización bayesiana.	Exacto
101	2007	An estimation of distribution algorithm for nurse scheduling problem	AICKELIN, Uwe y LI, Jingpeng.	Reino Unido	Programación de turnos de enfermería.	Algoritmo de Estimación de Distribución (AED).	Metaheurístico
102	2007	An estimation of distribution algorithm with intelligent local search for rule-based nurse rostering	AICKELIN, Uwe; BURKE, EK y LI, Jingpeng.	Reino Unido	Programación de turnos de enfermería.	Reglas heurísticas, Algoritmo memético de Estimación de Distribución (AED), metodología ant – miner.	Metaheurístico
103	2003	A subproblem-centric model and approach to the nurse scheduling problem	IKEGAMI, Atsuko y NIWA, Akira.	Japón	Programación de turnos de enfermería.	Metaheurístico, búsqueda local y ByB.	Metaheurístico
104	2007	Cyclic preference scheduling of nurses using a Lagrangian-based heuristic	BARD, Jonathan F. y PURNOMO, Hadi W	USA	Programación de turnos de enfermería.	Método de Lagrange y Branch and Bound (BYB).	Exacto
105	2005	A 0-1 goal programming model for nurse scheduling	AZAIENZA M.N. y AL SHARIF, S.	Arabia Saudita	Programación de turnos de enfermería.	Herramienta Computacional, LINGO	Herramienta Computacional
106	2006	Metaheuristics For Handling Time Interval Coverage Constraints In Nurse Scheduling	BURKE, Edmund K, et al.	Bélgica	Programación de enfermeras enmarcado en un contexto real	Algoritmo de inicialización y una metaheurística.	Metaheurístico
107	2007	An ACO algorithm for a dynamic regional nurse-scheduling problem in Austria	GUTJAHR, Walter J. y RAUNER, Marion S.	Austria	Programación de enfermeras.	METAHEURISTICO ACO	Metaheurístico
108	2013	An Ant Colony Optimization Approach For Nurse Rostering Problem	JIE-JUN, Wu, et al.	China	Programación de enfermeras.	ACO- NR.	Metaheurístico
109	2008	A Simple Evolutionary Algorithm with Self-adaptation for Multi-objective Nurse Scheduling	LANDA SILVA, Dario y LE, Khoi N.	Reino Unido	Programación de turnos de enfermería.	Algoritmo evolutivo simple con auto adaptación.	Metaheurístico
110	2009	A Component-Based Heuristic Search Method with Evolutionary Eliminations for Hospital Personnel Scheduling	LI, Jingpeng; AICKELIN, Uwe y BURKE, Edmund K.	Reino Unido	Programación de turnos de enfermería.	Búsqueda heurística basada en componentes con eliminaciones evolutivas.	Heurístico
111	2003	Nurse rostering problems—a bibliographic survey	CHEANG, B., et al.	Revisión literaria	Revisión literaria	Revisión literaria	Revisión literaria
112	2008	Analysis of Daily Nursing Care: a Nursing Care Scheduling Algorithm	CHENG, Mingang, et al.	Japón	Programación de tareas de enfermería en un día.	Algoritmo basado en técnicas de despacho tradicionales.	Heurístico
113	2008	A branch-and-price approach for integrating nurse and surgery scheduling	BELIEN, Jeroen y DEMEULEMEESTER, Erik.	Bélgica	Programación de horario de enfermeras y sala de cirugías.	BYP	Exacto

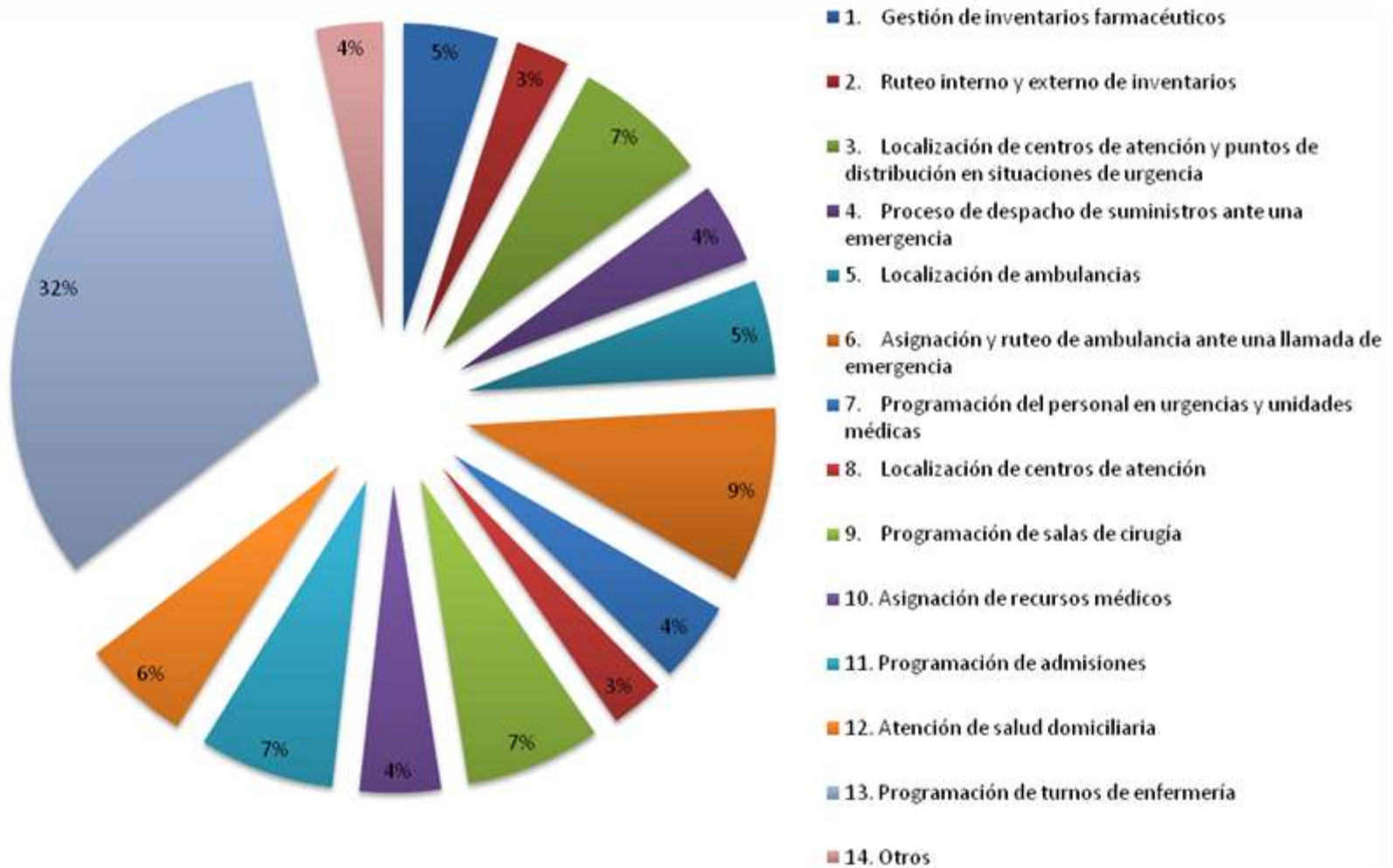
114	2013	An integrated nurse staffing and scheduling analysis for longer-term nursing staff allocation problems	MAENHOUT, Broos y VANHOUCHE, Mario.	Bélgica	Programación y asignación de turnos de enfermería.	Branch and Price	Exacto
115	2010	Nurse Scheduling using fuzzy modeling approach	TOPALOGLU, Seyda y SELIM, Hasan.	Turquía	Programación de turnos de enfermería.	Métodos de solución difusos.	Metaheurístico
116	2010	A PSO algorithm to solve a Real Anaesthesiology Nurse Scheduling Problem	ALTAMIRANO, Leopoldo, et al. A	Chile	Programación de turnos de enfermería.	Algoritmo PSO	Metaheurístico
117	2010	Nurse Scheduling optimization a general clinic and an operating suite	MOBASHER, Arezou.	USA	Programación de turnos de enfermería.	métodos heurísticos	Heurístico
118	2012	A Differential Evolution Algorithm Developed For A Nurse Scheduling Problem	P. SHAHNAZARI Shahrezaei, et al.	Irán	Programación de turnos de enfermería.	dos meta-heurísticas, algoritmo de evolución diferencial (DE) y (GRASP)	Metaheurístico
119	2010	A Mathematical Programming Model for Scheduling of Nurses' Labor Shifts	YILMAZ , Ebru.	Turquía	Programación de turnos de enfermería.	LINGO 8.1	Herramienta Computacional
120	2012	Operating Suite Nurse Scheduling Problem: A Heuristic Approach	LIM, Gino y MOBASHER, Arezou.	USA	Programación de turnos de enfermería.	Heurístico.	Heurístico
121	2013	A heuristic algorithm based on multi-assignment procedures for nurse scheduling	LANDA-SILVA, Dario, et al.	Brasil	Programación de turnos de enfermería.	Heurística MAPA (algoritmo basado en problemas multi-asignación)	Heurístico
122	2013	Scheduling of nurses: A case study of a Kuwaiti health care unit	M'HALLAH, Rym y ALKHABBAZ, Amina	Kuwait	Programación de turnos de enfermería.	Optimized Off the Shelf, Gams y CPLEX	Herramienta Computacional
123	2013	Applicability of artificial bee colony algorithm for nurse scheduling problems	BUYUKOZKAN, Kadir y SARUCAN, Ahmet.	Turquía	Programación de turnos de enfermería.	algoritmo de colonia de abejas ABC	Metaheurístico
124	2013	Bee Colony Optimization Algorithm for Nurse Rostering	TODOROVIC, Nikola y PETROVIC, Sanja.	Bélgica	Programación de turnos de enfermería.	algoritmo de colonia de abejas	Metaheurístico
125	2014	An evolutionary algorithm based on constraint set partitioning for nurse rostering problems	HUANG, Han, et al.	China	Programación de turnos de enfermería.	Algoritmo evolutivo	Heurístico
126	2013	A harmony search algorithm for nurse rostering problems	HADWAN, Mohammed, et al.	Malasia	Programación de turnos de enfermería.	Algoritmo de búsqueda armónica.	Metaheurístico
127	2013	Centralized nurses cheduling to simultaneously improves chedule cost and nurses satisfaction	WRIGHT, Daniel y MAHAR, Stephen.	USA	Programación de turnos de enfermería.	Herramienta Computacional, GAMS/CPLEX	Herramienta Computacional
128	2013	A program of nurse algorithm-guided care for adult patients with acute minor illnesses in primary care	FABRELLAS, Núria, et al.	España	programación diaria de enfermeras pare atención de enfermedades agudas	Análisis De Gestión De Programación Por Dos Años	Modelo de Gestión

	129	2003	An Integer Multicommodity Flow Model Applied to the Rostering of Nurse Schedules	MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida.	Portugal	Programación de turnos de enfermería.	Heurística y Solver computacional.	Heurístico
	130	2004	Solving the Problem of Rostering Nurse Schedules with Hard Constraints: New Multicommodity Flow Models	MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida.	Portugal	Programación de turnos de enfermería.	Relajación heurística basado en el método BYB y generación de columnas	Exacto
	131	2007	A genetic algorithm approach to a nurse rostering problem	MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida.	Portugal	Programación de turnos de enfermería.	Heurísticas constructivas y GA.	Metaheurístico
	132	2008	Solving a bi-objective nurse rostering problem by using a utopic Pareto genetic heuristic	MOZ, Margarida y VAZ PATO, Margarida.	Portugal	Programación de turnos de enfermería.	Heurística con aplicación de Pareto.	Heurístico
	133	2008	Parallel Processing of Cooperative Genetic Algorithm for Nurse Scheduling	OHKI, M; UNEME, S y KAWANO, H	Japón	Programación de turnos de enfermería.	Algoritmo genético cooperativo.	Metaheurístico
	134	2013	a parameter free algorithm of cooperative genetic algorithm for nurse scheduling problem	OHKI, M y KISHIDA, S.	Japón	Programación de turnos de enfermería.	Algoritmo genético cooperativo.	Metaheurístico
	135	2009	A hybrid metaheuristic case-based reasoning system for nurse rostering	KBEDDOE, Gareth; PETROVIC, Sanja y LI, Jingpeng.	Reino Unido	Programación de turnos de enfermería.	Algoritmo memético (GA y Razonamiento basado en casos)	Metaheurístico
	136	2009	Accommodating individual preferences in nurse Scheduling via auctions and optimization.	DE GRANO, Melanie; MEDEIROS, D y EITEL	USA	Programación de turnos de enfermería.	Algoritmo heurístico	Heurístico
14. Otros	137	2012	A Framework for Genetic Algorithm Application in Hospital Facility Layout Design	ARISH, Ibrahim.	India	Programación de turnos de enfermería.	GA	Metaheurístico
	138	2010	Optimizing the Makespan of Washing Operations Of Medical Devices in Hospital Sterilization Services	OZTURK, Onur, et al.	Francia	Se considera como un problema de programación por lotes para optimizar el proceso de lavado en esterilización.	Heurísticas basadas en clásicos algoritmos Bin-Packing.	Heurístico
	139	2014	A branch and bound based heuristic for makespan minimization of washing operations in hospital sterilization services	OZTURK, Onur, et al.	Canadá	Para optimizar el tiempo de makespan proceso de lavado en esterilización en un hospital.	Heurística basada en el método Branch and Bound.	Heurístico
	140	2008	Optimización Del Proceso De Esterilización De Paquetes Quirúrgicos En Un Hospital Privado.	FORERO, A, et al.	Colombia	Optimización del proceso de esterilización.	Herramienta Computacional, Xpress-MP.	Herramienta Computacional
	141	2013	Centralized versus distributed sterilization service: A location-allocation decision model	TLAHIG, Houda, et al.	Francia	Decisión de centralización o no de un proceso de esterilización.	Solucionador IBM ILOG CPLEX 12.2. basado en el BYB.	Exacto

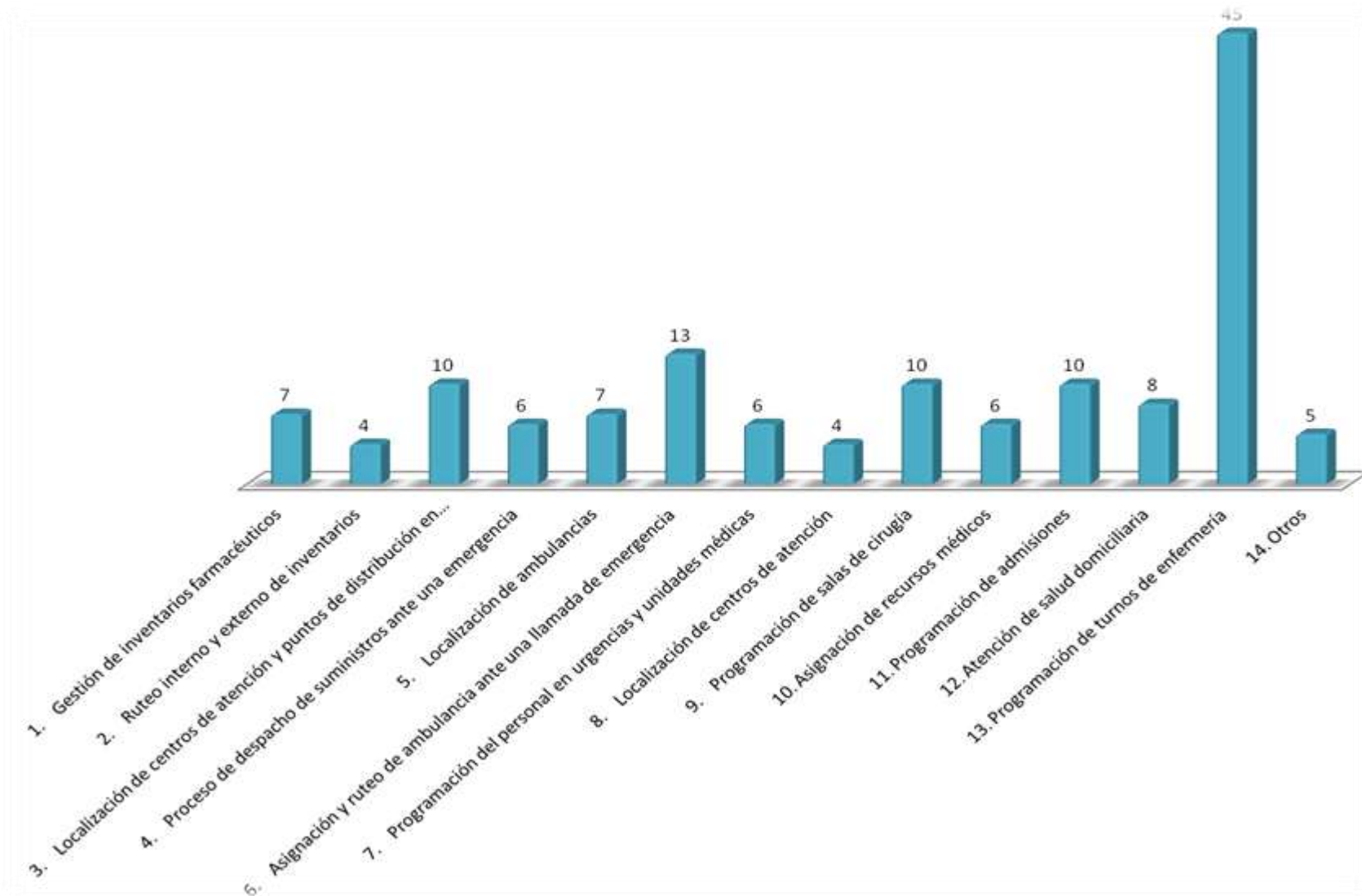
ANEXO H

INFORMACIÓN DE PUBLICACIONES RECUPERADAS SEGÚN TEMA LOGÍSTICO

PUBLICACIONES RECUPERADAS EN EL ESTADO DEL ARTE SEGÚN TEMA LOGÍSTICO (%)

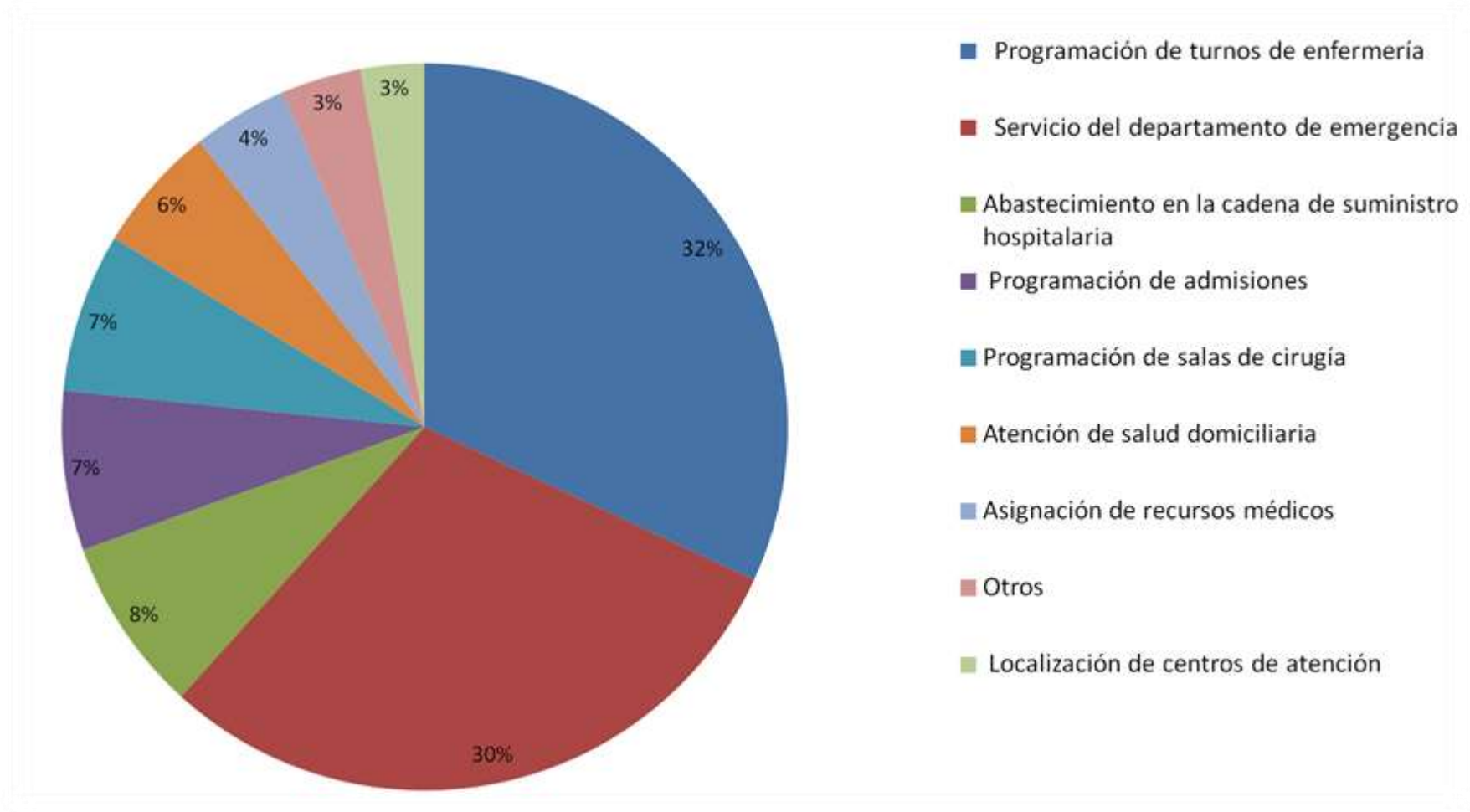


CANTIDAD DE PUBLICACIONES RECUPERADAS EN EL ESTADO DEL ARTE SEGÚN TEMA LOGÍSTICO



ANEXO I

PUBLICACIONES RECUPERADAS POR TEMA LOGÍSTICO EN EL ESTADO DEL ARTE UNIFICANDO EL SISTEMA DE EMERGENCIAS MÉDICAS (%)



ANEXO J

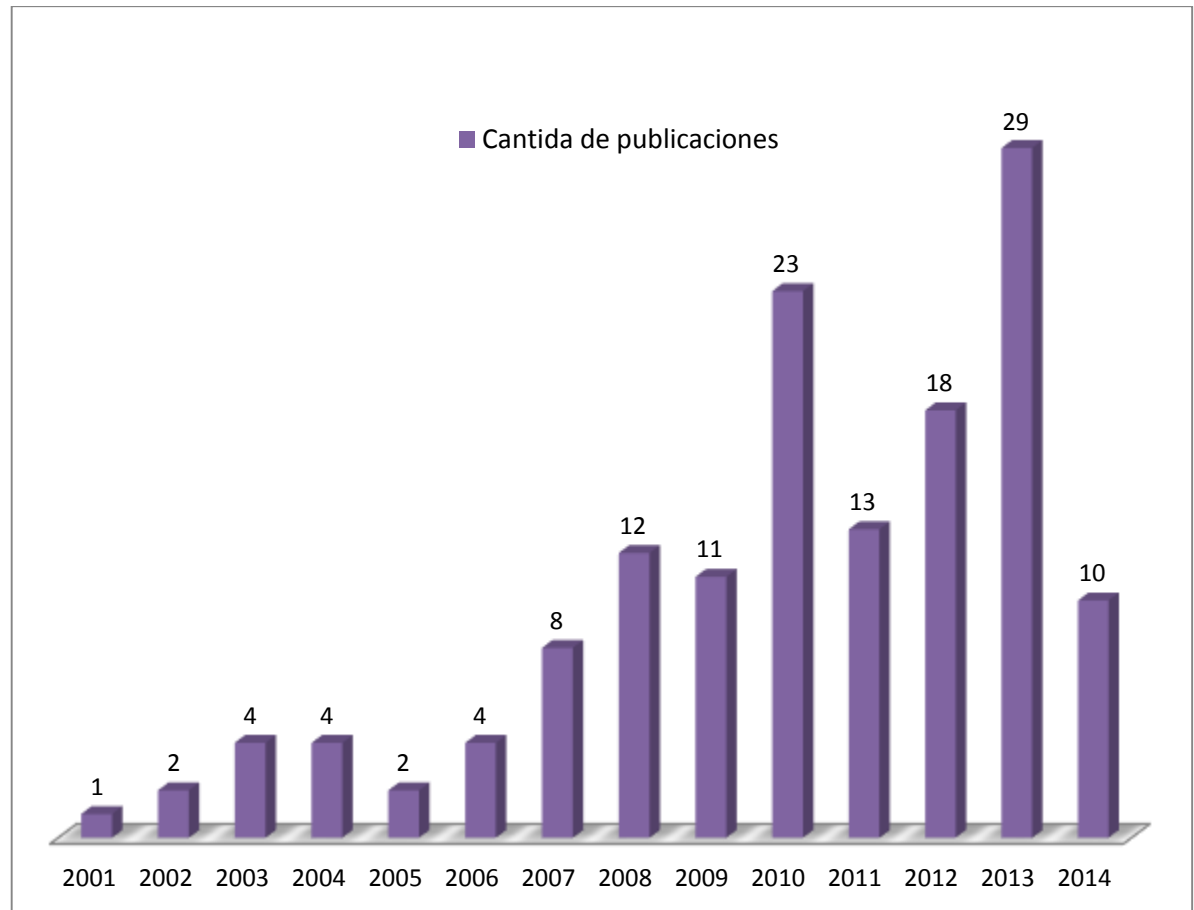
PUBLICACIONES RECUPERADAS SEGÚN AÑO DE PUBLICACIÓN

✚ MATRIZ DE CORRELACIÓN CANTIDAD DE ARTÍCULOS RECUPERADOS EN EL ESTADO DEL ARTE SEGÚN TEMA LOGÍSTICO VS AÑO DE PUBLICACIÓN

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Cantidad Total	
ABASTECIMIENTO EN LA CADENA DE SUMINISTROS HOSPITALARIA	1. Gestión de inventarios farmacéuticos		1		1				1		1			3		7	
	2. Ruteo interno y externo de inventarios								2				1	1		4	
SERVICIO DEL DEPARTAMENTO DE EMERGENCIA	3. Localización de centros de atención y puntos de distribución en situaciones de urgencia							1		2	3	2		2		10	
	4. Proceso de despacho de suministros ante una emergencia									1	1	2	2			6	
	Sistema de vehículos de emergencia	5. Localización de ambulancias					1				1	2	1	2			7
		6. Asignación y ruteo de ambulancia ante una llamada de emergencia						1		1	1	4	1	1	2	2	13
		7. Programación del personal en urgencias y unidades médicas						1		1	2		2				6
		8. Localización de centros de atención									1		1	2			4
		9. Programación de salas de cirugía							1	1		1		5	1	1	10
		10. Asignación de recursos médicos		1					1			1	1	1	1		6
		11. Programación de admisiones									3	2	1	1	3		10
		12. Atención de salud domiciliaria						1			1		1	3	2		8
		13. Programación de turnos de enfermería	1		4	3	1	1	5	5	5	5	1	3	10	1	45
		14. Otros								1		1		1	1	1	5
	141																

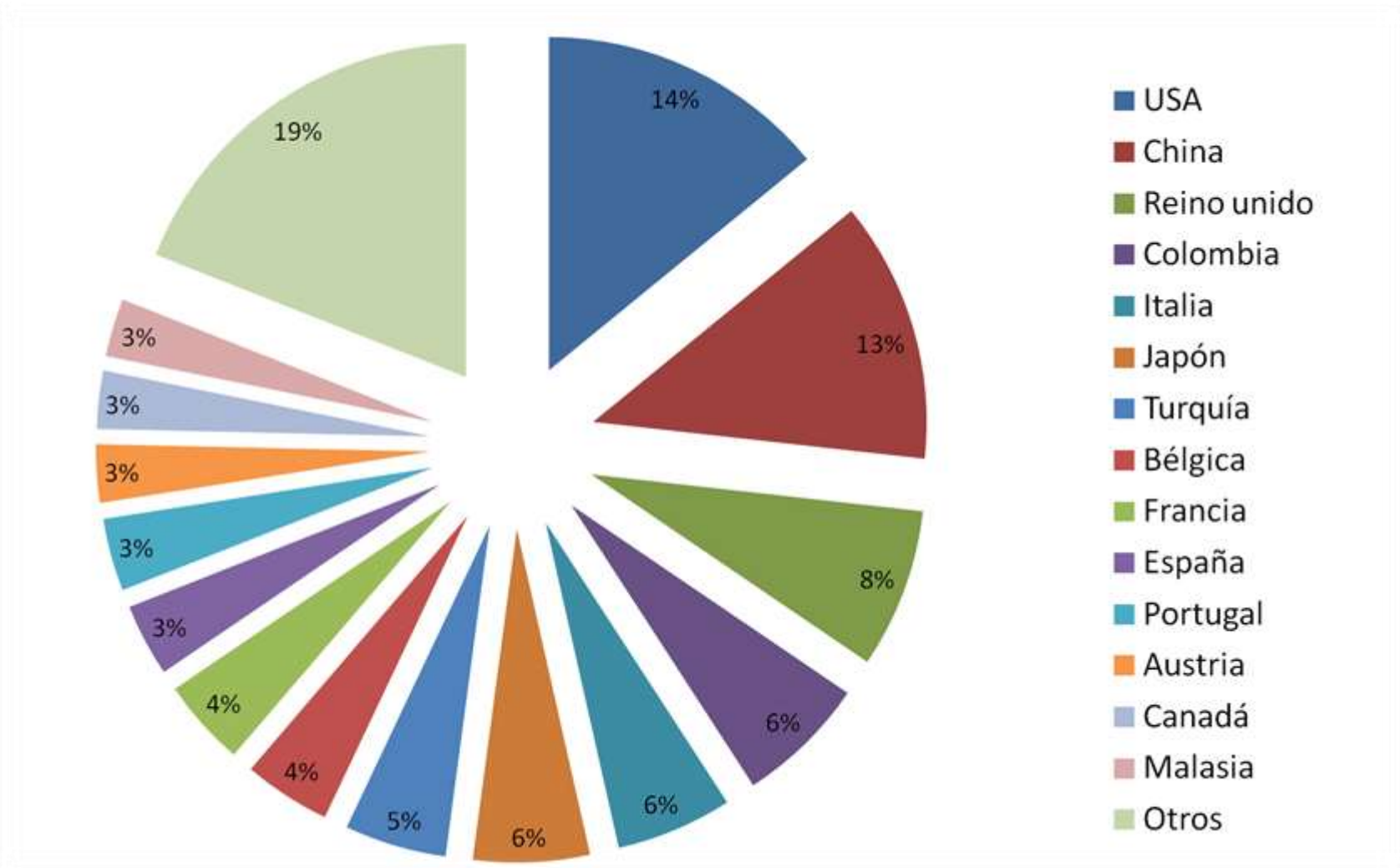
✚ DINÁMICA DE PUBLICACIONES POR AÑO DE ARTÍCULOS RECUPERADOS EN EL ESTADO DEL ARTE

Año	No de publicaciones recuperadas
2001	1
2002	2
2003	4
2004	4
2005	2
2006	4
2007	8
2008	12
2009	11
2010	23
2011	13
2012	18
2013	29
2014	10



ANEXO K

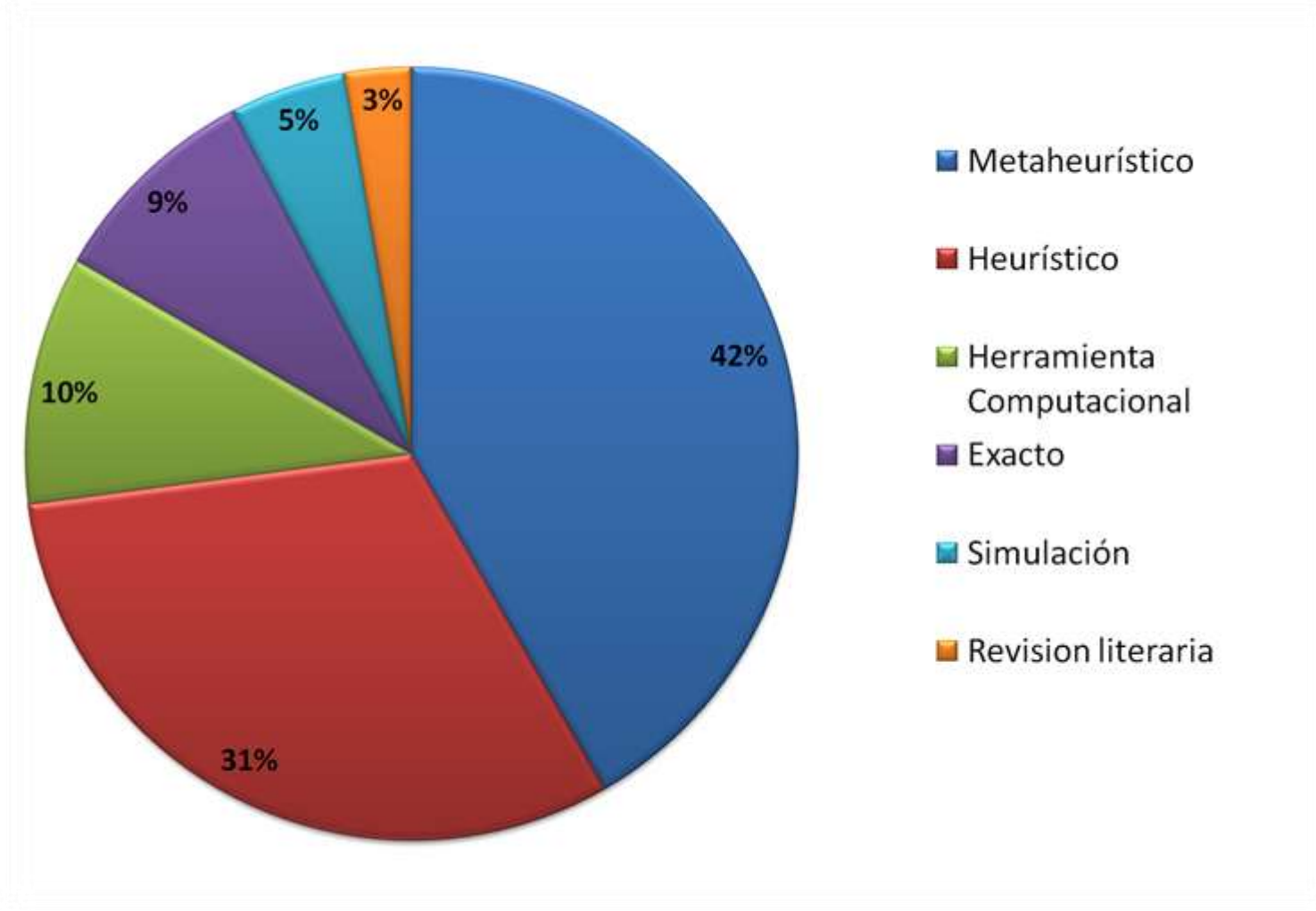
PUBLICACIONES RECUPERADAS EN EL ESTADO DEL ARTE SEGÚN PAÍS DE ESTUDIO (%)



ANEXO L

PUBLICACIONES RECUPERADAS SEGÚN ENFOQUE DE SOLUCIÓN

✚ ENFOQUES DE SOLUCION PROPUESTOS EN CASOS ANALIZADOS EN EL ESTADO DEL ARTE (%)



✚ CANTIDAD DE CASOS DE ESTUDIOS SEGÚN ENFOQUES DE SOLUCIÓN

