



**Análisis comparativo de la eficiencia operativa del servicio de esterilización de la E.S.E
Metrosalud y definición de un modelo óptimo según las necesidades de la red hospitalaria**

Aenny Elizabeth Raigoza Restrepo

Informe de práctica presentado para optar al título de Bioingeniero

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Asesores

Javier Hernando García Ramos, Magíster (MSc) en Ingeniería

Juliana María Ballesteros Lora Especialista (Esp) en Gerencia de Instituciones de Salud

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Bioingeniería

Medellín, Antioquia, Colombia

2026



Cita	Raigoza Restrepo [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] A. E. Raigoza Restrepo, “Optimización del proceso de esterilización de instrumental odontológico en la red de la E.S.E. Metrosalud: análisis de centralización y estrategias de eficiencia operativa”, Trabajo de grado profesional, Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2026.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A un Dios que me permitió adquirir conocimiento, a una madre cuyo sacrificio fue la victoria de su siguiente generación, a un padre, ingeniero de corazón que ahora mora en el cielo y a una familia cuyo apoyo trasciende las fronteras.

Agradecimientos

Este trabajo es el reflejo de una construcción colectiva, del aporte de un conjunto de seres maravillosos que me brindaron el honor de pasearse por mi vida, por lo tanto, mis agradecimientos son extensos pero el espacio corto. No obstante, agradezco a todos aquellos que desde su conocimiento académico y de vida me permitieron llegar hasta este lugar, desde mis asesores a los cuales les agradezco su inmensa paciencia y apoyo, continuando con las risas de mis compañeros, pasando por los abrazos reconfortantes de una pareja, siguiendo con el calor del seno familiar hasta culminar en la mirada de un lector al cual le doy muchas gracias si encuentra en este escrito algo de utilidad.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	12
A. Objetivo general	12
B. Objetivos específicos	12
III. MARCO TEÓRICO	13
IV. METODOLOGÍA	15
V. ANÁLISIS DE RESULTADOS	17
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
REFERENCIAS	51
ANEXOS.....	53

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS Y TAREAS DEL PROCESO DE ESTERILIZACIÓN	18
TABLA 2 MATRIZ DE COSTOS FIJOS MODELO DESCENTRALIZADO PARA LA EJECUCIÓN DEL SERVICIO DE ESTERILIZACIÓN	20
TABLA 3 COSTOS DE INVERSIÓN DE TECNOLOGÍA PARA CUMPLIR CRITERIO DE SUFICIENCIA	24
TABLA 4 TIEMPOS DE RUTA UPSS BELÉN.....	27
TABLA 5 TIEMPOS DE RUTA UPSS CASTILLA	27
TABLA 6 TIEMPOS DE RUTA UPSS DOCE OCTUBRE	28
TABLA 7 TIEMPOS DE RUTA UPSS MANRIQUE	28
TABLA 8 TIEMPOS DE RUTA UPSS SAN JAVIER.....	29
TABLA 9 TIEMPOS DE RUTA UPSS SAN CRISTOBAL	29
TABLA 10 TIEMPOS DE RUTA UPSS SAN ANTONIO	30
TABLA 11 TIEMPOS DE RUTA UPSS SANTA CRUZ.....	30
TABLA 12 TIEMPOS DE RUTA UPSS BUENOS AIRES	31
TABLA 13 TIEMPOS DE RUTAS UPSS NUEVO OCCIDENTE.....	31
TABLA 14 MATRIZ DE COSTOS FIJOS MODELO CENTRALIZADO PARA LA EJECUCIÓN DEL SERVICIO DE ESTERILIZACIÓN	34
TABLA 15 COSTOS DE INVERSIÓN DE TECNOLOGÍA PARA CUMPLIR CRITERIO DE SUFICIENCIA Y SUMINISTRO DIARIO.....	38
TABLA 16 COSTOS DE INVERSIÓN DE TECNOLOGÍA PARA CUMPLIR CRITERIO DE SUFICIENCIA Y SUMINISTRO 3 VECES POR SEMANA	39
TABLA 17 ANÁLISIS COMPARATIVO MODELO CENTRALIZADO Y DESCENTRALIZADO	40
TABLA 18 MATRIZ DE COSTOS FIJOS MODELO HÍBRIDO PARA LA EJECUCIÓN DEL SERVICIO DE ESTERILIZACIÓN.....	43
TABLA 19 COSTOS DE INVERSIÓN DE TECNOLOGÍA PARA CUMPLIR CRITERIO DE SUFICIENCIA Y SUMINISTRO DIARIO EN 5 SEDES	46
TABLA 20 COSTOS DE INVERSIÓN DE TECNOLOGÍA PARA CUMPLIR CRITERIO DE SUFICIENCIA Y SUMINISTRO 3 VECES POR SEMANA EN 5 SEDES.....	47

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama de Ichikawa Riesgos potenciales modelo descentralizado.....	21
Fig. 1. Porcentaje de adherencia al manual de esterilización de la E.S.E Metrosalud.....	25
Fig. 3. Ruta de entrega y recepción de material UPSS Belén.....	27
Fig. 4. Ruta de entrega y recepción de material UPSS Castilla.....	27
Fig. 5. Ruta de entrega y recepción de material UPSS Doce Octubre.....	28
Fig. 6. Ruta de entrega y recepción de material UPSS Manrique.....	28
Fig. 7. Ruta de entrega y recepción de material UPSS San Javier.....	29
Fig. 8. Ruta de entrega y recepción de material UPSS San Cristobal.....	29
Fig. 9. Ruta de entrega y recepción de material UPSS San Antonio	30
Fig. 10. Ruta de entrega y recepción de material UPSS Santa Cruz.....	30
Fig. 11. Ruta de entrega y recepción de material UPSS Buenos Aires.....	31
Fig. 12. Ruta de entrega y recepción de material UPSS Nuevo Occidente.....	31
Fig. 13. Diagrama de Ichikawa Riesgos potenciales modelo centralizado	36
Fig. 14. Diagrama de Ichikawa Riesgos potenciales modelo centralizado	45

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

E.S.E.	Empresa Social del Estado
UPSS	Unidad Prestadora de Servicios de Salud

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo analizar el proceso de esterilización de la E.S.E. Metrosalud con el fin de desarrollar una propuesta de optimización del servicio a nivel de la red institucional. Para ello, se realizó una revisión documental de manuales, informes técnicos y normatividad vigente, incluyendo el Decreto 915 de 2025, mediante el cual se adopta el Manual de Requisitos para la Implementación de las Buenas Prácticas, así como el análisis de los procedimientos operativos establecidos en la institución para la gestión segura de dispositivos médicos.

Como resultado, se evaluaron tres modelos de prestación del servicio de esterilización: descentralizado, centralizado e híbrido, considerando parámetros como tiempos de respuesta, carga financiera y riesgos potenciales, estos últimos analizados mediante la metodología de Ishikawa. El análisis evidenció que el modelo centralizado presenta un desempeño favorable en cinco de las nueve variables evaluadas; sin embargo, su implementación no resulta viable en el contexto económico actual de la institución. En consecuencia, se determinó como alternativa más eficiente la adopción de un modelo híbrido en las Unidades Prestadoras de Servicios de Salud (UPSS) con menor número de sedes adscritas, el cual permite una centralización progresiva del proceso de esterilización con menores costos y riesgos controlables.

***Palabras clave* — Servicio esterilización, optimización, modelo centralizado, modelo descentralizado, modelo híbrido.**

ABSTRACT

This study aimed to analyze the sterilization process of E.S.E. Metrosalud in order to develop a proposal for optimizing the service across the institutional network. To this end, a documentary review of manuals, technical reports, and applicable regulations was conducted, including Decree 915 of 2025, through which the Manual of Requirements for the Implementation of Good Practices is adopted. Additionally, an analysis of the operational procedures established within the institution for the safe management of medical devices was carried out.

As a result, three sterilization service delivery models were evaluated: decentralized, centralized, and hybrid. The assessment considered parameters such as response times, financial burden, and potential risks, the latter analyzed using the Ishikawa methodology. The analysis showed that the centralized model demonstrates favorable performance in five of the nine variables evaluated; however, its implementation is not feasible under the institution's current economic conditions. Consequently, the adoption of a hybrid model was identified as the most efficient alternative for Units Providing Health Services (UPSS) with a smaller number of affiliated facilities, as it allows for a gradual centralization of the sterilization process with lower costs and manageable risks.

***Keywords* — Sterilization service, optimization, centralized model, decentralized model, hybrid model.**

I. INTRODUCCIÓN

La Empresa Social del Estado (E.S.E) METROSALUD es una institución de carácter pública que abarca una red de 10 unidades hospitalarias y 43 centros de salud cuyo propósito es brindar servicios de atención integrales a la población de Medellín y de la región antioqueña. Entre los procesos vitales que debe desarrollar la entidad para dar cumplimiento efectivo de las actividades indicadas en su portafolio de servicios, se encuentra el proceso de esterilización que es definido como aquella actividad física o química a través de la cual es posible la erradicación de todos los microorganismos presentes en dispositivos médicos o equipos reutilizables hasta llevarlos un nivel aceptable que dé garantía de seguridad para su nuevo uso, por medio de esta tarea es posible asegurar la continuidad de la atención al usuario ya que permite la disponibilidad constante de material estéril (como instrumental quirúrgico, equipos odontológicos e insumos reutilizables básicos, entre otros) [1].

Adicionalmente, en el contexto internacional, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) publicó en el 2008 el Manual de Esterilización para Centros de Salud, documento en el cual se destaca la relevancia de emplear un sistema de esterilización centralizado que permite alcanzar mayor eficiencia mediante la uniformidad y coordinación de procedimientos, reducir costos al evitar la adquisición de equipos costosos de forma individual y aumentar la seguridad al velar por la reducción de las posibilidades de falla, ya que acorde a la OMS alrededor de 1,4 millones de personas en el mundo contraen infecciones asociadas a la atención de salud causadas por una variedad de agentes infecciosos [2].

En concordancia con lo anterior, la red de Metrosalud, ha implementado diferentes estrategias para dar cumplimiento a los requisitos de esterilización de los equipos que requieran ser sometidos a dicho proceso, por ello 46 sedes disponen de autoclaves pequeños con una capacidad de reservorio de tanque entre los 20 L aproximadamente, los cuales deben ser utilizados en múltiples ciclos diarios debido a la alta demanda de material estéril por la acumulación de cargas, esto principalmente en los servicios de salud oral (distribuidos en 127 unidades odontológicas en toda la red) ocasionado por la reducida disponibilidad del instrumental odontológico, esta insuficiencia ocasiona una sobrecarga operativa del equipo generando así un mayor consumo de recursos (en aspectos como energía, agua y materiales de empaque), dificultades para cumplir con la periodicidad y trazabilidad de los controles biológicos como consecuencia de la escasez de

ampollas, y también un riesgo de retrasos en la atención por la limitada disponibilidad de sets de instrumental esterilizado, en este último aspecto se debe resaltar que solo entre los meses de Junio y Diciembre se registraron en el análisis de tecnovigilancia 14 eventos e incidentes adversos relacionados con el retraso en la atención del servicio, el daño o falencia de los autoclaves, la carencia de insumos o material estéril.

Por otro lado, las 10 unidades hospitalarias de la red cuentan con autoclaves de mayor capacidad que permiten procesos de esterilización más eficientes y seguros; sin embargo, estos equipos no se encuentran integrados dentro de un esquema centralizado que permita beneficiar a las sedes cercanas, siendo esta situación un factor que impacta la estandarización de los protocolos de bioseguridad en toda la red.

A partir de este panorama, surge la necesidad de evaluar la viabilidad de un modelo de centralización de equipos de esterilización en las unidades hospitalarias, teniendo como objetivo incrementar la eficiencia optimizar recursos y fortalecer los mecanismos de control de calidad.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar la viabilidad de un modelo centralizado para la esterilización del instrumental odontológico en la red de la E.S.E Metrosalud, a través del análisis de tiempos, costos de operación y mantenimiento de los equipos, la operatividad del servicio, el talento humano y la infraestructura requerida.

B. Objetivos específicos

1. Identificar los tiempos y costos asociados a la operación, mantenimiento y recursos actualmente requeridos (insumos, equipos, talento humano e infraestructura) para el proceso descentralizado de esterilización, mediante la revisión de las bases de datos de inventario de la red.
2. Determinar los nuevos requerimientos técnicos y logísticos derivados de la implementación de un modelo centralizado, considerando la suficiencia de equipos e insumos, así como las necesidades de transporte del instrumental.
3. Comparar el modelo actual descentralizado con el modelo centralizado a partir del análisis de costos y tiempos de respuesta, con el fin de establecer lineamientos para la implementación de actividades de mejora en la entidad.

III. MARCO TEÓRICO

Actualmente el Ministerio de Salud de Colombia expidió el decreto 915 de 2025 mediante el cual se adopta el Manual de Requisitos para la Implementación de las Buenas Prácticas de Reprocesamiento de Dispositivos Médicos y Elementos Reutilizables. Este documento constituye un referente normativo clave para garantizar estándares de calidad dentro de las instituciones prestadoras de servicios de salud [3]. En dicho manual se mencionan diversos conceptos esenciales que enmarcan los procesos de esterilización, entre los cuales se encuentran:

Centrales de reprocesamiento: son aquellas instalaciones de las entidades prestadoras de servicios de salud destinadas al desarrollo de las actividades de reprocesamiento las cuales cuentan con áreas destinadas a limpieza y descontaminación, secado, inspección, empaque y etiquetado, esterilización, almacenamiento y distribución de los insumos.

Esterilización: es el proceso físico o químico que permite la eliminación de los microorganismos en un nivel aceptable de garantía clínica.

Cargas de esterilización: abarca los productos a esterilizar o aquellos que ya han sido esterilizados.

Ciclo de esterilización: es la secuencia de etapas realizadas en un esterilizador para garantizar que el instrumental se encuentra libre de microorganismos.

Prueba de esterilidad: operación técnica que permite determinar la ausencia o presencia de microorganismos en el instrumental procesado.

Tiempo de calentamiento: periodo que tarda el esterilizador y su carga total en alcanzar la temperatura de esterilización seleccionada.

Tiempo de exposición: tiempo en el cual la temperatura se mantiene constante dentro de un rango de esterilización.

Tiempo de ciclo: lapso transcurrido desde el momento de cierre de la puerta e inicio del ciclo hasta que se abre nuevamente la puerta

Indicadores: herramienta de prueba para revelar variables preespecificadas de los resultados del proceso de esterilización con el fin de evaluar la eficacia del reprocesamiento.

Materiales de empaque: materiales diseñados e implementados para evitar afectaciones al contenido estéril almacenado, siendo un ejemplo de este el papel grado médico.

Estos conceptos son vitales para comprender el funcionamiento de los sistemas de esterilización y la relevancia de una adecuada gestión en su aplicación. En la práctica, el

cumplimiento de estas definiciones normativas permite a las instituciones estructurar procedimientos homogéneos, reducir la variabilidad de los procesos y asegurar que la esterilización del instrumental clínico se realice bajo parámetros verificables de seguridad y eficacia.

IV. METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, se desarrolló una investigación descriptiva con enfoque cuantitativo, utilizando como técnicas principales la observación directa y el análisis de contenido. Las actividades que conforman el proceso investigativo se detallan a continuación:

- ➔ **Revisión documental de procesos internos de esterilización en el modelo descentralizado:** se llevó a cabo una búsqueda en las bases de datos institucionales de la E.S.E. Metrosalud identificando la información asociada a los gastos de insumos necesarios para el reprocesamiento de dispositivos médicos, los costos de mantenimiento-operación de los equipos empleados en dicha tarea, las proyecciones de valor de los nuevos dispositivos a adquirir para continuar con la prestación del servicio y el pago salarial del recurso humano que lleva a cabo cada una de las etapas de esterilización. Adicionalmente, se revisaron los protocolos internos con los cuales se estructuran las prácticas de esterilización en los centros de salud y unidades hospitalarias de la red, como también se consultaron la cantidad de eventos e incidentes adversos ligados al proceso, que hayan sido reportados en los últimos dos trimestres.
- ➔ **Elaboración de matrices de costos y tiempos en el modelo descentralizado:** a partir de la revisión documental, se diseñó y estructuró matrices que registren los tiempos invertidos en las diferentes etapas del proceso de esterilización, así como los costos asociados a equipos, insumos, operación y mantenimiento. Estas matrices también contemplan la infraestructura utilizada (espacios, servicios públicos, adecuaciones) y el talento humano requerido para garantizar la continuidad del proceso.
- ➔ **Evaluación de los requerimientos del modelo centralizado de esterilización:** se establecieron las necesidades logísticas, de equipamiento, infraestructura y transporte para la eventual implementación de un sistema centralizado de esterilización, incluyendo así las inversiones necesarias para desplegar su implementación en la red y garantizar la capacidad de respuesta de las centrales de esterilización.
- ➔ **Elaboración de matrices de costos y tiempos en el modelo centralizado:** de igual manera se diseñaron matrices equivalentes a las del modelo descentralizado, contemplando los requerimientos específicos del modelo centralizado. En este punto, se recurrió al análisis

de mercado y especificaciones técnicas cuando fue necesario incluir adquisiciones de equipos o instrumental adicional.

- ➔ **Desarrollo de análisis mediante espina de pescado para la identificación causa-raíz de los principales aspectos a reforzar de los modelos descentralizado y centralizado:** se realizó una evaluación a partir de la metodología de espina de pescado con el fin de establecer los riesgos, las desventajas y las acciones de mejora de los factores que pueden retrasar, interrumpir o afectar la calidad del proceso de esterilización en la red.
- ➔ **Comparación de ambos modelos y selección de la alternativa óptima:** mediante el análisis comparativo de las matrices de costos, tiempos y riesgos, se evaluaron los beneficios, limitaciones e inversiones requeridas en cada modelo. Con base en ello, se determinó la alternativa que presenta mayor viabilidad técnica, económica y operativa. Finalmente, se presentó un plan de acción con propuestas de optimización del proceso de esterilización, destacando ventajas, desventajas y estrategias para afrontar las contingencias actuales del servicio con base en indicadores de eficiencia (tiempo de esterilización por ciclo, costo operativo por instrumento, tasa de fallas o reprocesos).

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

MODELO DESCENTRALIZADO DEL PROCESO DE ESTERILIZACIÓN.

Descripción del sistema actual desarrollado en institución: La E.S.E. Metrosalud ha desplegado un sistema estratégico para garantizar la prestación del servicio de esterilización en sus principales puntos de atención. Para ello, la red dispone con 54 autoclaves operativos distribuidos en 46 sedes, de este total, 10 equipos cuentan con una capacidad máxima de tanque mayor o igual a 100 L, los cuales se encuentran ubicados en las centrales de esterilización de las Unidades Hospitalarias con el propósito de atender la alta demanda asistencial.

Por otro parte, los 44 esterilizadores restantes, cuya capacidad máxima de reservorio del tanque es menor a 100 L, están ubicados en las áreas de esterilización de 43 sedes, principalmente en el servicio de salud oral, correspondientes en su mayoría a centros de salud con menor volumen de atención. Además, la institución dispone de 7 autoclaves nuevos de carácter rotativo a la espera de una asignación de ubicación definitiva.

Teniendo en cuenta que la mayor concentración de equipos se encuentra en el área de odontología, es relevante resaltar que actualmente la red cuenta con 48 sedes prestadoras de este servicio, de las cuales 45 disponen de autoclaves independientes dentro de la unidad con el fin de garantizar la esterilización del instrumental y demás dispositivos necesarios para la oportuna atención de los pacientes. Bajo este contexto, se procedió a analizar el modelo institucional desde las dimensiones de costos, tiempos y riesgos, con énfasis en el área de odontología, dado que concentra una proporción significativa de la demanda del proceso de esterilización.

Análisis de actividades y tiempos:

La tabla N°1 presenta la distribución de las actividades esenciales que conforman el proceso de esterilización al interior de cada una de las sedes que cuentan con este servicio. Dicha información se representa acompañada con indicadores de color que permiten reconocer las tareas que demandan una mayor inversión de tiempo durante la jornada laboral. A partir de esta información, se evidencia que las etapas con mayor tiempo invertido, las cuales representan alrededor del 70,4 % del tiempo total del proceso, corresponden a la esterilización en autoclave, el aireado y secado del instrumental y la preparación, empaque y entrega del material. Este comportamiento se explica, en primer lugar, por la necesidad de respetar los ciclos preprogramados propios de los equipos para garantizar la adecuada esterilización del material; en segundo lugar, por el carácter manual y detallado del proceso de secado posterior; y finalmente, por la ejecución

manual del sellado y rotulado de cada una de las cargas procesadas. Todas estas etapas se determinan y desarrollan conforme a lo establecido en el manual de esterilización interno que posee la institución.

TABLA 1
DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS Y TAREAS DEL PROCESO DE ESTERILIZACIÓN

Etapas del Proceso	Sub-Etapa (Acción Específica)	Frecuencia (por día)	Tiempo Promedio [min]	Total de tiempo invertido en la actividad durante toda la jornada laboral [min]	Personal Involucrado
Limpieza del material	Retiro del material adherido que no haga parte del dispositivo por medio de un detergente enzimático	2	10	20	Auxiliares de odontología, enfermería y enfermeros
Recepción del material	Ingreso de los materiales e instrumentales	2	5	10	Auxiliares de odontología, enfermería y enfermeros
Clasificación	Categorizar acorde al tipo del material	2	7	14	Auxiliares de odontología, enfermería y enfermeros
Prelavado, remojo o descontaminación	Sumergir el material en un recipiente con detergente enzimático (acorde a los tiempos determinados por el fabricante) hasta la disolución de toda la materia orgánica	2	5	10	Auxiliares de odontología, enfermería y enfermeros
Lavado manual y enjuague del material	Realización del cepillado manual, limpiando mecánicamente todas las superficies del dispositivo	2	3	6	Auxiliares de odontología, enfermería y enfermeros
Aireado y Secado	Secado de los instrumentos inmediatamente después del enjuague por medio de paños de limpieza o aire comprimido	2	25	50	Auxiliares de odontología, enfermería y enfermeros
Esterilización	Esterilización por medio de vapor de agua a través de autoclave	2	30	60	Auxiliares de odontología, enfermería y enfermeros
Preparación y empaque del material	Envolver y proteger los dispositivos de la contaminación por polvo, suciedad o microorganismos para su posterior almacenamiento, transporte y entrega	2	20	40	Auxiliares de odontología, enfermería y enfermeros
Identificación y rotulado	Texto que contiene el nombre del elemento, fecha de esterilización, número de ciclo e identificación del esterilizador, nombre de persona responsable del empaque y procesado, fecha de caducidad definida y condiciones especiales de almacenamiento o manipulación cuando son necesarias	2	10	20	Auxiliares de odontología, enfermería y enfermeros
Entrega en servicio	Entrega de material estéril a su respectiva ubicación en carros de transporte	2	20	40	Auxiliares de odontología, enfermería y enfermeros
TOTAL		20	135	270	

A partir de la información previamente analizada, se establece que el personal asistencial focaliza en promedio un total de 4 horas con 30 minutos en la ejecución y repetición de las actividades asociadas al proceso de esterilización. Este tiempo corresponde a la realización del proceso al menos 2 veces por día, frecuencia determinada con base en los valores promedio reportados por las líderes de las centrales de esterilización de las UPSS).

Análisis financiero:

Con el fin de evaluar la carga financiera fija que representa la ejecución del servicio de esterilización, se consolidaron los costos relacionados con mantenimiento de equipos, operación, insumos y talento humano necesario. Los resultados de esta búsqueda se presentan en la Tabla 2, en la cual se aprecia que el principal componente del gasto mensual corresponde al rubro de talento humano, seguido por los costos asociados a insumos tales como materiales de empaque, indicadores y detergentes.

En cuanto al rubro de equipos, los costos se clasificaron en mantenimiento preventivo y en mantenimientos correctivo. El mantenimiento preventivo se calculó acorde a los valores establecidos en los contratos vigentes para posteriormente multiplicarse por su respectiva frecuencia de intervención en el año. Por su parte, el mantenimiento correctivo se estimó a partir del análisis histórico de las solicitudes cerradas y ejecutadas durante un periodo de 3 años (comprendidos entre el 2023 al 2025) relacionadas con autoclaves, de toda esta revisión se determinó que el costo promedio anual de mantenimiento por autoclave en la institución asciende a \$ 592.676,33 COP.

Como resultado de la evaluación global, se identificó que los costos actuales para el proceso de esterilización en un mes alcanzaron un tope de \$ 227.443.773,50 COP. De ese total, \$ 73.491.864,33 COP corresponden a gastos anuales de mantenimiento de equipos, equivalentes a \$ 6.124.322,03 COP mensuales, mientras que \$ 221.319.451,47 COP se asocian a gastos mensuales de insumos generales, operación y talento humano, este último valor representa el 97% del costo total del servicio de esterilización.

Es importante destacar que, para el cálculo del costo de talento humano, se estableció una jornada diaria de 4 horas, ejecutada por 2 miembros del personal asistencial, durante una semana laboral de 6 días, utilizando como referencia un valor de hora labor en \$13.711,173 COP.

TABLA 2
MATRIZ DE COSTOS FIJOS MODELO DESCENTRALIZADO PARA LA EJECUCIÓN DEL SERVICIO DE
ESTERILIZACIÓN

Rubro Principal	Componente de Costo	Unidad de Medida (Ej.)	Periodo de corte para el análisis	Cantidad (Unidades/Frec.)	Costo Total Estimado al mes (\$)	Base de Datos / Fuente
I. Equipos y Reproceso	Costo de mantenimiento preventivo de los autoclaves	# Servicio / Año	Anual	62	\$ 5.563.413,67	Información de contratos vigentes con los proveedores de mantenimiento EMKO, KAIKA, GEMIMED
	Costo de mantenimiento correctivo de los autoclaves	\$ Histórico / Año	A necesidad de la sede	55	\$ 560.908,36	Histórico de solicitudes cerradas y ejecutadas en un periodo de 3 años comprendido entre 2023 a 2025 relacionadas con el mantenimiento correctivo de los autoclaves
II. Insumos Consumibles	Materiales de empaque	#Rollo / Mes	Mensual	158	\$ 34.023.492,30	Registro de consumo promedio reportado en los archivos del área de insumos hospitalarios
	Indicadores biológicos y químicos	# Unidad / Mes	Mensual	1938	\$ 9.977.437,19	
		# Ampolla / Mes	Mensual			
	Detergentes enzimáticos y desinfectantes	Frasco / Mes	Mensual	2101	\$ 6.581.478,98	
III. Operación e Infraestructura	Consumo de energía eléctrica (Autoclaves)	kWh / Ciclo	Mensual	318,075	\$ 7.275.965,63	Reportes encontrados en las características técnicas de los autoclave indicadas en el manual de usuario y servicio teniendo en cuenta los usos promedio del equipo dentro de las sedes de atención
	Consumo de agua	m3 / Mes	Mensual	2,076	\$ 243.273,98	
IV. Talento Humano	Horas/Costo del personal encargado del reprocesamiento	# Horas / Mes	Mensual	NA	\$ 163.217.803,39	Consolidado de pago salarial registrado en el área de talento humano
Total de Costos Operativos Descentralizados (Anual)					\$ 227.443.773,50	

Análisis de problemas que representan riesgos considerables en la prestación del servicio de esterilización:

Teniendo como objetivo evaluar las principales problemáticas que pueden potenciar riesgos significativos en el servicio del actual sistema descentralizado de la institución se procedió con la elaboración de un análisis causa raíz por medio de la metodología Ishikawa que se aprecia en la Figura 1.

Diagrama de Ishikawa

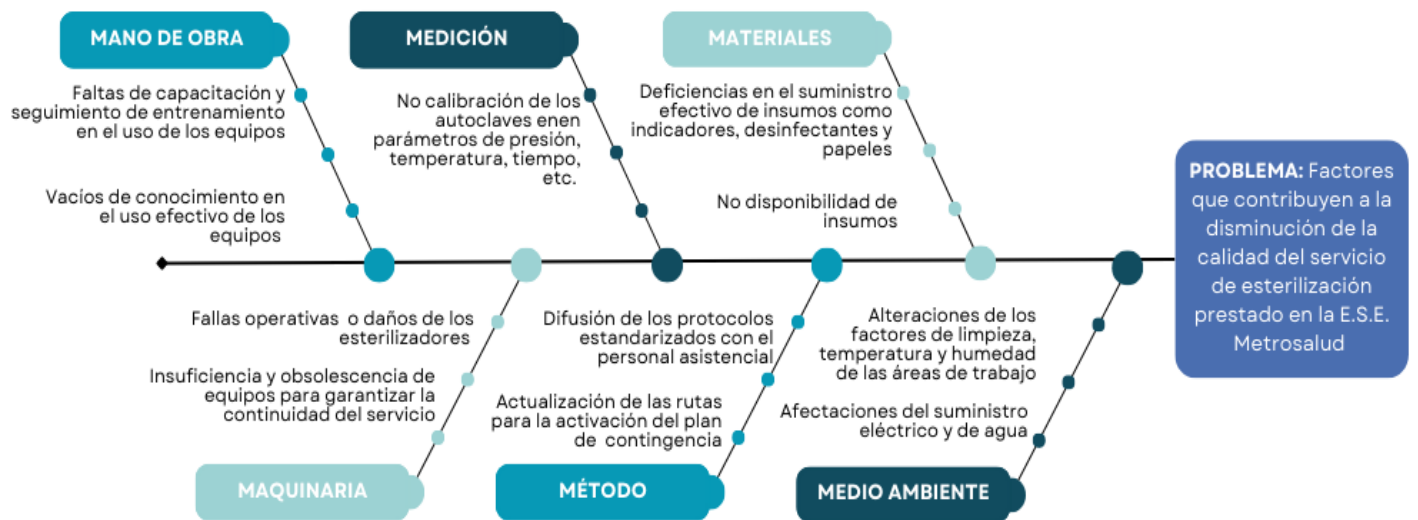


Fig. 2. Diagrama de Ishikawa Riesgos potenciales modelo descentralizado

Los aspectos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del análisis causa-raíz del modelo descentralizado se describen a continuación de acuerdo con las principales categorías evaluadas:

Mano de obra: se consideraron las posibles falencias en el conocimiento de las características, configuraciones y uso adecuado de los equipos de esterilización. La falta de capacitación y entrenamiento del personal en el manejo de estas tecnologías se reconoce como una causa potencial de desequilibrio del sistema y de retrasos en la atención. Esta situación se corrobora en la revisión de las solicitudes de mantenimiento correctivo registradas en el software AM, donde para el periodo comprendido entre los meses de junio y agosto del 2025 se evidenciaron 2

solicitudes relacionadas a la incorrecta configuración o disposición inadecuada de los autoclaves [4].

Medición: una afectación en la calidad del servicio de esterilización puede originarse a partir de la no calificación o validación de los autoclaves, dado que desviaciones en parámetros críticos como presión, temperatura, tiempo, etc. pueden ocasionar fallas en el procedimiento dando lugar a instrumental y equipos no aptos para su utilización clínica. No obstante, este riesgo se mitiga mediante los cronogramas de mantenimiento, calibración y calificación de equipos médicos, los cuales son elaborados, actualizados y supervisados de manera periódica por el área de ingeniería biomédica. Dichos cronogramas cuentan con seguimiento mensual para evaluar el avance de las actividades, las acciones de mejora y el estado de cumplimiento de las metas trazadas en la institución.

Materiales: otro factor considerado como detonante de retrasos e inconvenientes para efectuar el servicio de esterilización corresponde al suministro oportuno de insumos, tales como indicadores químicos, biológicos y físicos, desinfectantes y detergentes enzimáticos y papeles grado médico para empaque. Durante el último trimestre analizado, se reportaron 3 casos de incidentes adversos no serios relacionados a dificultades en la prestación del servicio por ausencia de estas herramientas, estas situaciones estuvieron principalmente relacionadas con episodios de desabastecimiento en la red, el retraso en el pago de proveedores o demoras en el proceso de adquisición y distribución de los materiales.

Maquinaria: dentro de las principales causas de contingencia del modelo descentralizado se consideraron las fallas operativas y daños de los esterilizadores ubicados en los puntos de atención, señalando que solo para el periodo de 2025 se reportaron en el software de gestión AM 53 solicitudes de mantenimiento correctivo asociadas a un desempeño deficiente de los equipos de esterilización [4], lo cual derivó en eventos adversos como ampollas de indicadores positivas, instrumental quemado o presencia de humedad residual, de estos eventos se documentaron un total de 11 casos para el periodo de agosto a diciembre. Es importante destacar que acorde al formato de evaluación de obsolescencia, se determinó que el porcentaje promedio de obsolescencia de los autoclaves operativos en la red es de 59 % este valor se obtuvo a partir del análisis de 3 variables: tiempo de uso (relación de años que el equipo ha operado respecto a la vida útil establecida por el fabricante), costo de operación (costos de mantenimientos y repuestos dentro del periodo 2023-2025) y estado del equipo (evaluación técnica del proveedor que indica la condición actual de la

estructura del equipo) tal como se detalla en el Anexo A, este análisis permite clasificar la necesidad de reposición de los equipos en corto (cuando su porcentaje de condición operativa es menor al 50 %), mediano (cuando el porcentaje de condición operativa está entre el 50 % y 80 %) o largo plazo (cuando el porcentaje de condición operativa es mayor al 80%), señalando que alrededor del 47 % de los autoclaves de la red que se encuentran operando actualmente requieren reposición inmediata. En este mismo anexo se presentan los costos estimados de adquisición de los equipos que requieren reposición inmediata acorde a las especificaciones técnicas y valores establecidos en contratos previos de la institución en 2025, en consecuencia se estima una inversión de \$ 277.746.000,00 COP para la adquisición de 29 esterilizadores con una capacidad de tanque inferior a 100 L que requieren reposición inmediata, esto sin tener en cuenta aquellos que ya se encuentran fuera de servicio, dado que para los UH de Santa Cruz y Doce de Octubre se requiere la reposición de 2 esterilizadores de una capacidad mayor igual a 100 L debido a que sus sistemas completamente manuales presentan obsolescencia tecnológica, los cuales acorde a las especificaciones técnicas de los autoclaves de barrera adquiridos en el contrato N°2671 de 2025 alcanzan un valor de \$718.109.342 IVA incluido [5].

Finalmente, un aspecto importante a mencionar es la insuficiencia de los equipos de atención odontológica de la red que requieren ser reprocesados para continuar con la atención en el área de salud oral, dado que el bajo nivel de stock disponible impide cumplir con la programación de citas, debido a que parte del instrumental se encuentra en proceso de esterilización y no alcanza a estar disponible en los tiempos requeridos. Este hecho se corrobora al revisar los registros de tecnovigilancia de la institución donde se reportan un total de 3 incidentes adversos relacionados con la ausencia de material estéril en el último trimestre del 2025. Como respuesta de lo anterior se levantó una mesa de trabajo con los líderes de odontología e ingeniería biomédica con el fin de evaluar la suficiencia requerida de estos dispositivos, por ende la Tabla 3 presenta la comparación entre el inventario actual, el umbral ideal de equipos necesarios y la brecha existente, así como la estimación de costos para la adquisición de los dispositivos faltantes acorde a las especificaciones técnicas y valores encontrados en el contrato de compra N°5283 de estas herramientas del año 2024, a partir de esta información se indica que para cumplir con el criterio de suficiencia se requiere una inversión de \$ 1.064.145.696,00.

TABLA 3
COSTOS DE INVERSIÓN DE TECNOLOGÍA PARA CUMPLIR CRITERIO DE SUFICIENCIA

Consolidado total de equipos	Cantidad calculada en la evaluación de suficiencia	Cantidad real con la que cuenta la sede	Diferencia	Precio unitario del equipo con IVA	Costo de adquisición
Pieza de mano de alta velocidad	635	327	935	\$ 852.516	\$ 797.102.460
Pieza de mano de baja velocidad	627			\$ 690.000	
Pieza recta	127	No diferenciado en el inventario	No diferenciado en el inventario	\$ 387.000	\$ 49.149.000
Cavitrón	135	117	18	\$ 3.433.150	\$ 61.796.700
Contra ángulo	627	261	366	\$ 426.496	\$ 156.097.536
Total de inversión					\$ 1.064.145.696

Método: al revisar los protocolos internos con los que cuenta la E.S.E Metrosalud, se identificaron procedimientos estandarizados que describen de manera detallada cada una de las etapas del proceso de esterilización desarrolladas en todas las sedes de la red, dichos procedimientos se encuentran consolidados en el Manual de Esterilización interno. Además, se observó que la institución cuenta con instructivos para el transporte de los equipos estériles y por esterilizar, lista de chequeo de autoinspección para esterilización, formatos de seguimiento de indicador biológico, condiciones de empaque, recepción y entrega de dispositivos médicos. Adicionalmente, se dispone de fichas técnicas y guías rápidas para el uso adecuado de los insumos y equipos requeridos en el proceso, así como de un formato de adherencia al manual de esterilización, del cual acorde al indicador institucional (definido como la relación entre el número de criterios del proceso de esterilización evaluados con cumplimiento sobre el total de criterios aplicables) se evidencia que se ha cumplido satisfactoriamente en los últimos 4 trimestres del 2025 con el porcentaje de adherencia, tal como se presenta en la Figura 2 obtenida en la plataforma ALMERA de la red. A pesar del alto grado de estructuración documental de los procesos, se requiere potenciar la difusión de estos formatos dentro del personal asistencial con el fin de consolidar la cultura organizacional en torno al proceso de esterilización. En este sentido, se recomienda reforzar las estrategias de recepción, socialización y seguimiento al uso de las guías

rápidas, así como verificar de manera periódica su correcta aplicación durante la operación diaria. Por otro lado, se debe actualizar y robustecer las rutas de atención de contingencias asociadas a fallas o daños en los autoclaves de la red contempladas dentro del plan de contingencia institucional, identificando las herramientas (como el software Amsi) para el reporte de daño del equipo al área de ingeniería biomédica, así como definir claramente los responsables y canales de comunicación para la atención de solicitudes de urgencia en las que se requiera la activación del plan B basado en el uso de un vehículo para el envío de paquetes a otras unidades, esto debido a que el formato elaborado en 2023 disponible en la plataforma ALMERA no cuenta con esta información [6-7].



Fig. 3. Porcentaje de adherencia al manual de esterilización de la E.S.E. Metrosalud
Nota: fuente Indicadores institucionales portal ALMERA <https://sgi.almeraim.com/sgi/?conid=sgimetrosalud>

Medio Ambiente: otro elemento esencial a tener en cuenta en el panorama de riesgos son las afectaciones u alteraciones ambientales relacionadas al suministro eléctrico y de agua, como también el control de los factores de limpieza temperatura y humedad ambiente del área de trabajo, almacenamiento y vehículo de transporte en los que se manipula el material estéril o por esterilizar, esto debido a que las variaciones significativas de estos parámetros pueden implicar, el daño, la contaminación o la no desinfección de los equipos sometidos al proceso de esterilización, trayendo como consecuencia la repetición de todo el procedimiento y retrasos en los tiempos de atención.

MODELO CENTRALIZADO DEL PROCESO DE ESTERILIZACIÓN

Descripción del modelo centralizado a considerar: con el propósito de optimizar los tiempos de respuesta del servicio de esterilización y garantizar el suministro oportuno de material estéril en las distintas sedes de la red, se plantea la consolidación de centrales de esterilización en

cada una de las Unidades Hospitalarias de la E.S.E. Metrosalud. Bajo este esquema, cada unidad hospitalaria asumiría la responsabilidad de atender la demanda de esterilización de los centros de salud adscritos a su respectiva UPSS.

En este modelo, todas las etapas del proceso de esterilización, desde la limpieza y preparación del instrumental hasta su esterilización, empaque y almacenamiento, se ejecutarían en un único punto, limitando la operación independiente actualmente desarrollada en cada sede. Una vez procesado y empaquetado, el material estéril sería distribuido de manera estratégica a los puntos de atención que conforman la UPSS mediante el servicio de transporte interno institucional. Posteriormente, tras su utilización, el instrumental, los equipos y los dispositivos médicos serían retornados a la unidad hospitalaria correspondiente para reiniciar el ciclo de reprocesamiento, configurando así un proceso operativo cíclico, continuo y estandarizado.

Análisis de actividades y tiempos:

En adición a las etapas principales que abarca el proceso de esterilización previamente descritas en la Tabla 1, el modelo incorpora de manera crítica los tiempos asociados al transporte del material estéril y limpio entre las unidades hospitalarias y sus centros de salud adscritos. Para tal fin, se trazaron rutas logísticas viables por medio de la herramienta de Google Maps, siendo posible determinar el tiempo total del recorrido al cual se le adicionó 20 minutos por sede con el fin de contemplar el lapso que le toma al personal descargar y entregar cada una de las cargas y gestionar los propicios actos administrativos, este análisis consideró tanto el recorrido de entrega de material estéril como el retorno del material limpio que ya utilizado. A continuación, en las Tablas 4 - 13 se listan las unidades hospitalarias relacionadas con sus respectivos centros de salud, la totalidad del tiempo de recorrido y en las Figuras 3 – 12 se presenta el mapa correspondiente a la ruta más viable encontrada.

TABLA 4
TIEMPOS DE RUTA UPSS BELÉN

UPSS BELÉN			
Puntos en el mapa	Sede	Tiempo de entrega estimado para recepción en la sede [min]	Tiempo total de ruta ida y vuelta [min]
A	UH Belén	20	110
B	CS Trinidad	20	
C	CS El Poblado	20	
D	CS Guayabal	20	
E	CS Belén Rincón	20	
F	CS Altavista	20	
Tiempo total de entrega y recepción [min]			230

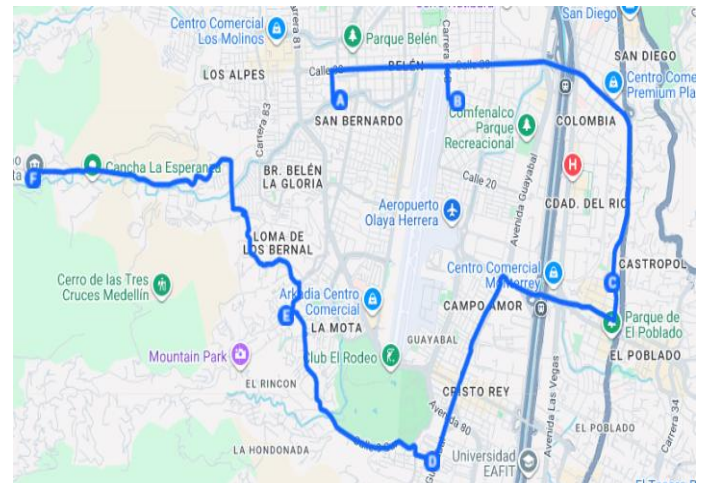


Fig. 4. Ruta de entrega y recepción de material UPSS Belén

TABLA 5
TIEMPOS DE RUTA UPSS CASTILLA

UPSS CASTILLA			
Puntos en el mapa	Sede	Tiempo de entrega estimado para recepción en la sede [min]	Tiempo total de ruta ida y vuelta [min]
A	UH Castilla	20	98
B	CS Aranjuez	20	
C	CS Moravia	20	
D	CS Alfonso López	20	
E	CS Santander	20	
F	CS Robledo	20	
Tiempo total de entrega y recepción [min]			218

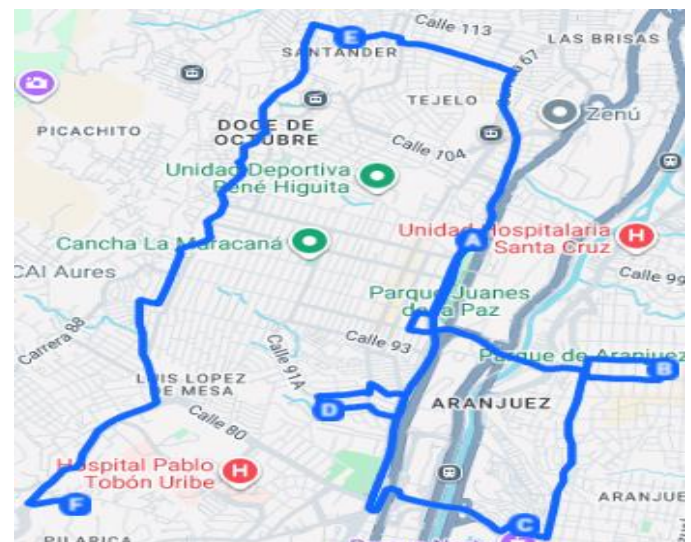


Fig. 5. Ruta de entrega y recepción de material UPSS Castilla

TABLA 8
 TIEMPOS DE RUTAS UPSS SAN JAVIER

UPSS SAN JAVIER			
Puntos en el mapa	Sede	Tiempo de entrega estimado para recepción en la sede [min]	Tiempo total de ruta ida y vuelta [min]
A	UH San Javier	20	76
B	CS La Esperanza	20	
C	CS Villa Laura	20	
D	CS Estadio	20	
E	CS Santa Rosa de Lima	20	
F	CS La Quiebra	20	
Tiempo total de entrega y recepción [min]			196

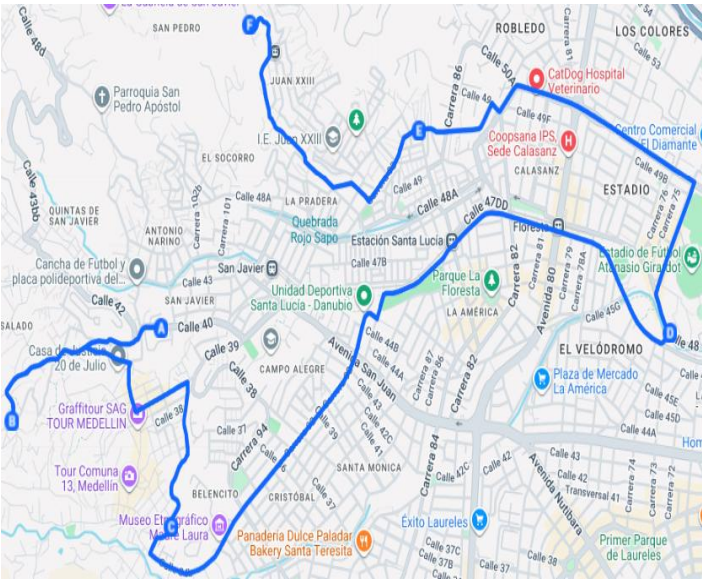


Fig. 8. Ruta de entrega y recepción de material UPSS San Javier

TABLA 9
 TIEMPOS DE RUTAS UPSS SAN CRISTOBAL

UPSS SAN CRISTOBAL			
Puntos en el mapa	Sede	Tiempo de entrega estimado para recepción en la sede [min]	Tiempo total de ruta ida y vuelta [min]
A	UH San Cristobal	20	20
B	CS La Loma	20	
0	CS Palmitas	No se encuentra vía nueva actualizada en google maps	
Tiempo total de entrega y recepción [min]			60

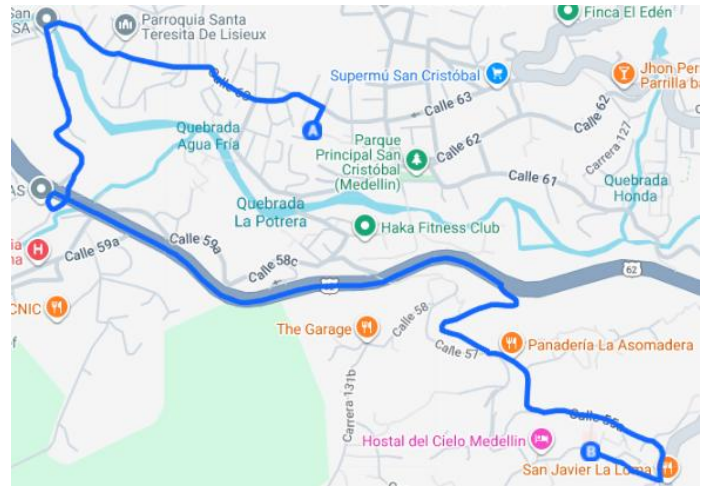


Fig. 9. Ruta de entrega y recepción de material UPSS San Cristobal

TABLA 10

UPSS SAN ANTONIO DE PRADO			
Puntos en el mapa	Sede	Tiempo de entrega estimado para recepción en la sede [min]	Tiempo total de ruta ida y vuelta [min]
A	UH San Antonio de Prado	20	14
B	CS El limonar	20	
Tiempo total de entrega y recepción [min]			54

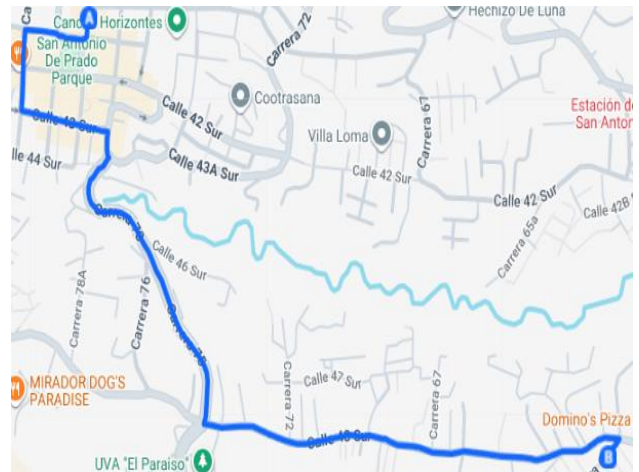


Fig. 10. Ruta de entrega y recepción de material UPSS
San Antonio de Prado

TABLA 11

UPSS SANTA CRUZ			
Puntos en el mapa	Sede	Tiempo de entrega estimado para recepción en la sede [min]	Tiempo total de ruta ida y vuelta [min]
A	UH Santa Cruz	20	72
B	CS Pablo VI	20	
C	CS Popular 1	20	
D	CS Santo Domingo	20	
E	CS Villa del Socorro	20	
F	CS Carpinelo	20	
Tiempo total de entrega y recepción [min]			192

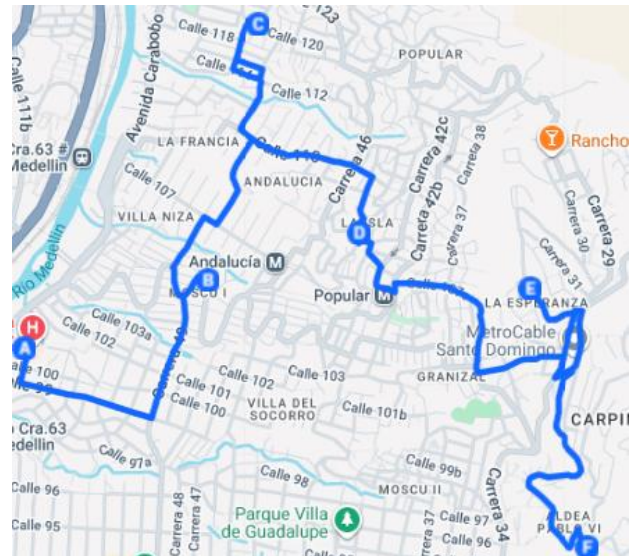


Fig 11. Ruta de entrega y recepción de material UPSS
Santa Cruz

TABLA 12
TIEMPOS DE RUTAS UPSS BUENOS AIRES

UPSS BUENOS AIRES			
Puntos en el mapa	Sede	Tiempo de entrega estimado para recepción en la sede [min]	Tiempo total de ruta ida y vuelta [min]
A	UH BUENOS AIRES	20	160
B	CS EL SALVADOR	20	
C	CS SAN LORENZO	20	
D	CS ENCISO	20	
E	CS LLANADITAS	20	
F	CS SANTA ELENA	20	
	CS SOL DE ORIENTE	No se encuentra vía nueva actualizada en google maps	
Tiempo total de entrega y recepción [min]			280

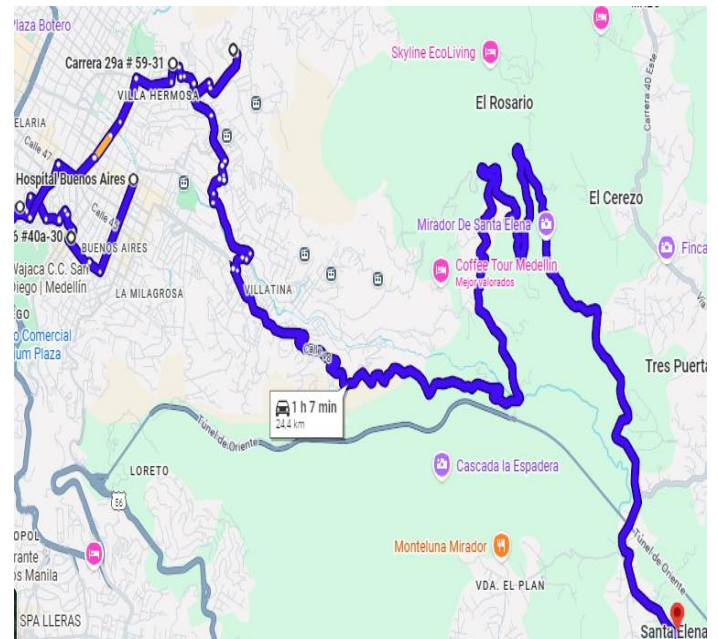


Fig. 12. Ruta de entrega y recepción de material UPSS Buenos Aires

TABLA 13
TIEMPOS DE RUTAS UPSS NUEVO OCCIDENTE

UPSS NUEVO OCCIDENTE			
Puntos en el mapa	Sede	Tiempo de entrega estimado para recepción en la sede [min]	Tiempo total de ruta ida y vuelta [min]
A	UH Nuevo Occidente	20	42
B	CS Manantial de Vida	20	
C	CS Las Margaritas	20	
Tiempo total de entrega y recepción [min]			102

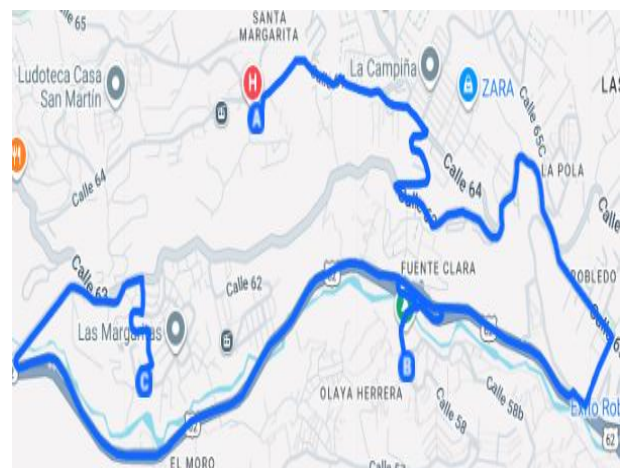


Fig. 13. Ruta de entrega y recepción de material UPSS Nuevo Occidente

Gracias a esta evaluación se indica que las sedes que requieren de una mayor inversión de tiempo para cumplir con las rutas de entrega y recepción de carga son las UPSS de Buenos Aires, Belén y Castilla en donde cada una requiere una disponibilidad de transporte de alrededor de 4 horas, seguidas por las UPSS de San Javier y Santa Cruz quienes requieren una disponibilidad de 3 horas y 15 minutos, todos estos tiempos fueron tomados en una misma franja horaria iniciando desde las 8:00 de la mañana y teniendo como lugar de inicio del recorrido las unidades hospitalarias de la UPSS respectiva. Durante este planteamiento se encontraron dos casos especiales los cuales correspondieron al centro de salud Palmitas de la UPSS San Cristobal y el centro de salud de Sol de Oriente de la UPSS de Buenos Aires cuya dirección exacta no fue posible simular debido a lo retirado que se encuentra el centro del casco urbano.

Ahora bien, para garantizar el suministro oportuno del material se propone disponer de una cantidad de 5 vehículos de transporte, de modo que cada uno cubra el recorrido de 2 UPSS en un lapso máximo de 6 a 7 horas. No obstante, este escenario evidencia una de las principales limitaciones del modelo: bajo un esquema de suministro diario, las centrales de esterilización no dispondrían del tiempo suficiente para reprocesar la totalidad de las cargas dentro de la jornada laboral, Por ejemplo, iniciando el proceso a las 8:00 a.m. las primeras cargas estarían disponibles alrededor de las 10:00 a.m. sin embargo en la UPSS con rutas extensas como Buenos Aires y Belén, la entrega final se realizaría cerca de las 12:30 p.m. limitando la posibilidad de recolectar el instrumental utilizado antes del cierre de la jornada asistencial, también se indica que actualmente se dispone de 4 vehículos internos que pueden ser adaptables para el transporte del material, razón por la cual en este modelo se abarca la totalidad del transporte no tercerizado de la institución por un periodo extenso de tiempo y no se alcanza la suficiencia de 5 vehículos para toda la red sin recurrir a los vehículos subcontratados.

Como alternativa, se evaluó un esquema de suministro de material cada 2 días, el cual mitiga parcialmente estas restricciones al destinar un día para el procesamiento y envío del material estéril y otro para la recolección del material utilizado. No obstante, esta opción implica mayores inversiones en inventario, las cuales se analizan posteriormente.

Es importante resaltar que el personal y los vehículos destinados para el transporte deben cumplir con los siguientes requisitos expresos en el Manual de Buenas Prácticas de

Reprocesamiento de Dispositivos Médicos y Elementos Reutilizables expedido por el ministerio de salud y el Manual de esterilización interno de la institución realizado en 2023 [3] [6]:

- El conductor y el responsable del cargue y descargue de los dispositivos médicos y elementos reutilizables debe capacitarse mínimo en: manejo de las cargas de materiales limpios y estériles, limpieza y desinfección del ambiente de carga, control de temperatura y humedad, e higienización de manos.
- El vehículo debe contar con barrera física completa que separe el espacio del conductor.
- El vehículo debe contar con cabina y compartimientos independientes y cerrados para transportar al mismo tiempo dispositivos limpios y estériles.
- Garantizar en los compartimientos los rangos de temperatura y humedad adecuados llevando su adecuado registro.

Estas exigencias implican adaptaciones a los vehículos que pueden representar un costo representativo dentro de las inversiones de este modelo, esto debido a que los vehículos de transporte de este tipo de herramientas con los que cuenta la E.S.E. Metrosalud eran antiguas ambulancias que debido a las actualizaciones normativas no cumplían con los requisitos para continuar en operación.

Análisis financiero:

Para el modelo centralizado se simularon los posibles gastos fijos que llegara a requerir su ejecución continua al mes, teniendo en cuenta la reducción de costos de mantenimiento, personal e insumos pertinentes, generada por la focalización del servicio de esterilización, los resultados se presentan en la Tabla 14.

Es importante resaltar que se estableció como dotación del modelo centralizado un total de 31 autoclaves, de los cuales 29 se encuentran actualmente operativos en la red, los cuales consisten en 9 esterilizadores con capacidad mayor a 100 L y 20 esterilizadores de menor tamaño cuyo porcentaje de obsolescencia es superior al 58 % distribuidos en pares en cada unidad hospitalaria con el fin de brindar apoyo a la central de esterilización, y los dos autoclaves restantes corresponden a la simulación de los esterilizadores nuevos necesarios para las sedes de Santa Cruz y Santo Domingo.

TABLA 14
MATRIZ DE COSTOS FIJOS MODELO CENTRALIZADO PARA LA EJECUCIÓN DEL SERVICIO DE
ESTERILIZACIÓN

Rubro Principal	Componente de Costo	Unidad de Medida (Ej.)	Periodo de corte para el análisis	Cantidad (Unidades/Frec.)	Costo Total Estimado al mes (\$)	Base de Datos / Fuente
I. Equipos y Reproceso	Costo de mantenimiento preventivo de los autoclaves	# Servicio / Año	Anual	78	\$ 9.633.852,67	Información de contratos vigentes con los proveedores de mantenimiento EMKO, KAIKA, GEMIMED este valor se promedió y dividió por 12 meses para obtener costo mensual
	Costo de mantenimiento correctivo de los autoclaves	\$ Histórico / Año	A necesidad de la sede	55	\$ 380.446,11	Histórico de solicitudes cerradas y ejecutadas en un periodo de 3 años comprendido entre 2023 a 2025 relacionadas con el mantenimiento correctivo de los autoclaves, este valor se promedió y dividió por 12 meses para obtener costo mensual
II. Insumos Consumibles	Materiales de empaque	#Rollo / Mes	Mensual	158	\$ 34.023.492,30	Registro de consumo promedio reportado en los archivos del área de insumos hospitalarios
	Indicadores	# Unidad / Mes	Mensual	1938	\$ 10.138.693,80	
		# Ampolla / Mes	Mensual			
	Detergentes enzimáticos y desinfectantes	Frasco / Mes	Mensual	2101	\$ 2.003.058,82	
III. Operación e Infraestructura	Consumo de energía eléctrica (Autoclaves)	kWh / Ciclo	Diario / Mensual	349,675	\$ 7.998.815,63	Reportes encontrados en las características técnicas de los autoclave indicadas en el manual de usuario y servicio teniendo en cuenta los usos promedio del equipo dentro de las sedes de atención
	Consumo de agua	m3 / Mes	Mensual	2,085	\$ 244.328,64	
IV. Talento Humano	Horas/Costo del personal encargado del reprocesamiento	# Horas / Mes	Mensual	NA	\$ 43.436.996,06	Consolidado de pago salarial registrado en el área de talento humano
Total de Costos Operativos Descentralizados (Mensual)					\$ 107.859.684,03	

Por medio de la información previamente expuesta se indica que en el modelo centralizado los costos fijos mensuales se totalizan en \$ 107.859.684,03 COP de los cuales el 91 % equivalen a

gastos mensuales asociados a insumos generales, operación y talento humano, con este valor se refleja una disminución de \$ 119.584.089,47 COP respecto al modelo descentralizado, implicando una reducción del 52 % de los gastos aproximadamente.

Esta simulación financiera se desarrolló considerando los siguientes criterios:

- Para los costos del mantenimiento correctivo se recopiló el histórico de los años 2023 a 2025 de los 29 autoclaves activos en la institución cuyo porcentaje de obsolescencia fue superior a 58 % realizando posteriormente el promedio de los gastos y asignando este valor como costo anual de mantenimiento correctivo, posteriormente dicho valor se dividió en 12 meses para tener el costo mensual de mantenimiento.
- Para el mantenimiento preventivo de los equipos se incrementó la frecuencia de los 9 esterilizadores de mayor capacidad presentes en las unidades hospitalarias, este hecho se justifica debido al aumento de las cargas a esterilizar que trae como consecuencia el alza en el número de ciclos que debe realizar el equipo, siendo por el incremento de la demanda que se adicionó a cada uno de estos autoclaves un mantenimiento preventivo adicional indicando que el costo total de mantenimientos de un esterilizador en este modelo se incrementa a \$ 969.125,69.
- Teniendo en cuenta el incremento de la carga en los centros de las unidades hospitalarias, se consideró un incremento del 40 % para el costo de insumos detergentes y desinfectantes el cual fue aplicado al costo mensual base de las 10 sedes consideradas en la simulación. Mientras que para el valor de los indicadores se calculó el costo unitario requerido para una carga y se multiplicó por el número de cargas que se estipulan para realizar en un día (4 cargas en esterilizadores grandes y dos en pequeños) en cada una de las unidades hospitalarias.
- Finalmente, para la sección de talento humano se estableció una jornada de 6 horas dirigida por 2 miembros del personal asistencial, en una semana laboral de 6 días, para la cual se tomó el precio de hora labor en \$13.711,173

Análisis de problemas que representan riesgos considerables en la prestación del servicio de esterilización:

Para establecer las principales problemáticas que pueden representar riesgos significativos en el sistema de esterilización centralizado se elaboró un análisis causa raíz por medio de la metodología Ishikawa el cual se presenta en la Figura 13.

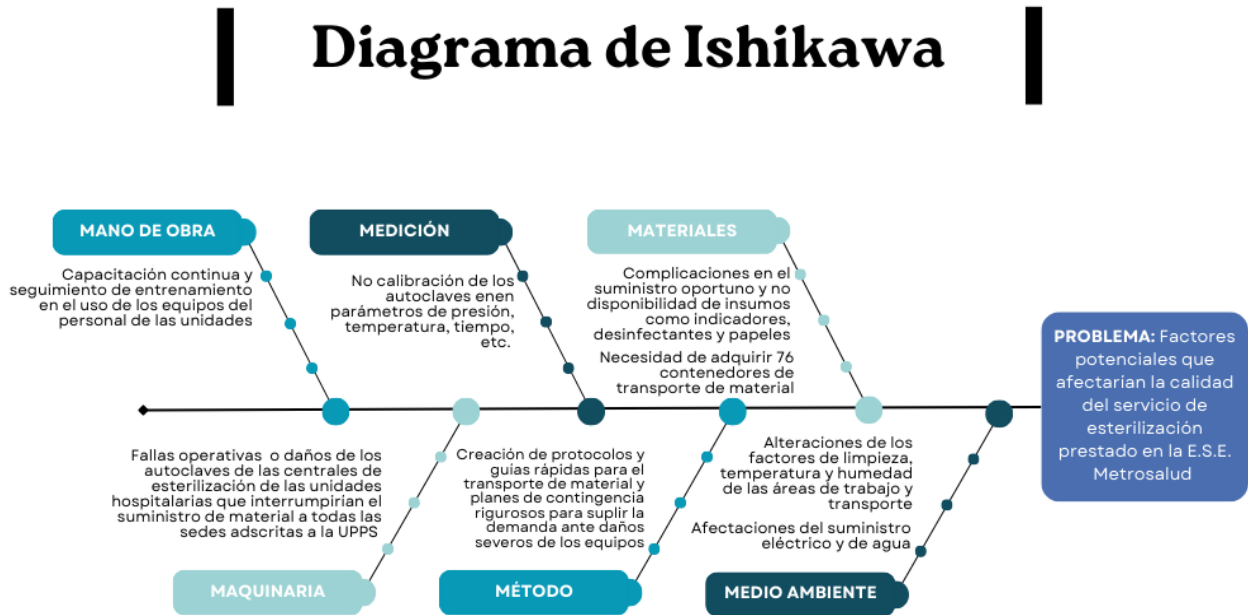


Fig. 14. Diagrama de Ishikawa Riesgos potenciales modelo centralizado

Los principales factores que se tuvieron en cuenta para este análisis se detallan a continuación:

Mano de obra: en la implementación de este modelo se indica una reducción de las posibles falencias en el conocimiento de las características y usos de los equipos de esterilización, generada por la disminución de personal en los puntos de esterilización, dado que el proceso lo llevarían a cabo los líderes de las centrales de la unidad hospitalaria, un grupo focalizado capacitado y en constante formación continua, sin embargo la interrupción de los programas de capacitación sigue representando un riesgo potencial, aunque de menor magnitud que en el modelo descentralizado.

Medición: al igual que en el modelo descentralizado, al no realizar de manera pertinente la revisión, calificación y validación de los autoclaves se genera un riesgo en la calidad del servicio de esterilización quienes pueden brindarle al personal las medidas de las magnitudes de forma errada, restándole confiabilidad y seguridad a los equipos repotenciados y dirigidos a la atención de pacientes, siendo este uno de los factores que justifica la adición de un mantenimiento preventivo en la simulación del sistema con el fin de prever oportunamente las desviaciones o

falencias en los sensores de las magnitudes relevantes, razón por la cual se requiere de la modificación del cronograma establecido por el área de ingeniería biomédica y una renegociación con los proveedores respectivos del servicio.

Materiales: para este elemento se detectan los mismos inconvenientes detectados en el modelo descentralizado, puesto que el suministro efectivo de insumos generales necesarios para ejecutar el proceso de esterilización depende del efectivo trámite administrativo, el cual en la institución está sujeto a retrasos para la adquisición y distribución de los materiales dado a los constantes ajustes presupuestales. Agregando a lo anterior, entre los gastos de materiales para este modelo se debe considerar la inversión de cajas selladas óptimas para el transporte de material estéril y limpio, de las cuales se requerirían mínimamente 2 por cada sede a abastecer, por ello al realizar una cotización en distintas tiendas del mercado virtual se encontró que el precio unitario de estos contenedores es de \$650.000,00 y teniendo en cuenta que se requieren mínimamente 76 unidades se establece una inversión de \$49.400.000,00.

Maquinaria: para este factor es importante tener en cuenta la urgente reposición de 2 autoclaves de una capacidad mayor igual a 100 L destinadas a las UH de Santa Cruz y Doce de Octubre, estipulándose como necesaria la inversión mencionada en el modelo descentralizado-cercana a los \$ 277.746.000,00. Por otro lado, la ocurrencia de una falla que implique dejar temporalmente por fuera de servicio al autoclave principal de la central de esterilización detonaría una contingencia grave en este modelo centralizado, puesto que implicaría la interrupción, el retraso y la cancelación de servicios destinados a la atención del paciente por carencia de material estéril en todas las sedes pertenecientes a la UPSS de la misma unidad hospitalaria afectada, situación que puede generar una masa relevante de incidentes y eventos adversos dentro de la red.

Otro aspecto fundamental para considerar es el abastecimiento de los equipos e instrumental odontológico que requieren de algún proceso de esterilización, con el fin de garantizar la suficiencia de material en cada una de las sedes prestadoras del servicio de salud sin interrumpir ni disminuir el número de actividades y procedimientos destinados a la atención del usuario, para ello se utilizó como base el análisis de suficiencia creado en la mesa de trabajo con los líderes de odontología e ingeniería biomédica, y posteriormente se extrapoló dicho valor teniendo en cuenta que cada unidad odontológica atiende 10 procedimientos diarios que requieren el uso de herramientas estériles, considerando además los siguientes escenarios:

- *Suministro diario de material estéril:* tomando como panorama el suministro diario de cada una de las unidades hospitalarias a todas sus sedes respectivas, se utilizó un factor multiplicativo de 2 para establecer la cantidad de instrumental a adquirir y garantizar la continuidad en el servicio durante toda la jornada laboral, cumpliendo con los 10 procedimientos diarios que deben de realizarse por unidad, los resultados de la cantidad con sus respectivos costos (basados en el contrato de compra N°5283 de estas herramientas del año 2024) se presentan a continuación en la Tabla 15:

TABLA 15
COSTOS DE INVERSIÓN DE TECNOLOGÍA PARA CUMPLIR CRITERIO DE SUFICIENCIA Y
SUMINISTRO DIARIO

Consolidado total de equipos	Cantidad calculada evaluación suficiencia	Cantidad requerida modelo centralizado suministro diario	Cantidad real con la que cuenta la sede	Diferencia	Precio unitario del equipo	Costo de adquisición
Pieza de mano de alta velocidad	635	1270	327	2197	\$ 852.516,00	\$ 1.872.977.652,00
Pieza de mano de baja velocidad	627	1254			\$ 690.000,00	
Pieza recta	127	254	no diferenciado en el inventario	no diferenciado en el inventario	\$ 387.000,00	\$ 98.298.000,00
Cavitrón	135	270	117	153	\$ 3.433.150,00	\$ 525.271.950,00
Contra ángulo	627	1254	261	993	\$ 426.496,00	\$ 423.510.528,00
Total						\$ 2.920.058.130,00

Con este cálculo se asegura que cada odontólogo cuente mínimamente con 10 piezas de mano de alta velocidad, 10 piezas de mano de baja velocidad, 2 piezas rectas, 2 cavitrones y 10 contra ángulos para cumplir con la meta de atención, sin embargo, se indica que los costos de adquisición de estas herramientas alcanzan un valor de \$ 2.920.058.130,00 duplicando la inversión del modelo descentralizado.

- *Suministro 3 veces a la semana:* para el análisis del escenario en el cual la entrega de las cargas sucias y estériles se realice cada dos días en todas las sedes, se implementó un factor multiplicativo de 4 con el fin de garantizar 20 piezas de mano

de alta velocidad, 20 piezas de mano de baja velocidad, 4 piezas rectas, 4 cavitrones y 20 contra ángulos necesarios para atender la demanda de 20 procedimientos diarios por unidad, las cantidades y precios de este planteamiento se presentan a continuación en la Tabla 16.

TABLA 16
COSTOS DE INVERSIÓN DE TECNOLOGÍA PARA CUMPLIR CRITERIO DE SUFICIENCIA Y
SUMINISTRO 3 VECES POR SEMANA

Consolidado total de equipos	Cantidad calculada evaluación suficiencia	Cantidad requerida modelo centralizado suministro 3 veces por semana	Cantidad real con la que cuenta la sede	Diferencia	Precio unitario del equipo	Costo de adquisición
Pieza de mano de alta velocidad	635	2540	327	4721	\$ 852.516,00	\$ 4.024.728.036,00
Pieza de mano de baja velocidad	627	2508			\$ 690.000,00	
Pieza recta	127	508	no diferenciado en el inventario	no diferenciado en el inventario	\$ 387.000,00	\$ 196.596.000,00
Cavitron	135	540	117	423	\$ 3.433.150,00	\$ 1.452.222.450,00
Contra ángulo	627	2508	261	2247	\$ 426.496,00	\$ 958.336.512,00
Total						\$ 6.631.882.998,00

Para este panorama la inversión se cuadruplica alcanzando un tope de \$ 6.631.882.998,00, resaltando además que en ninguno de los casos anteriormente mencionados se consideró agregar un stock adicional ante posibles contingencias por lo que el valor total corresponde a la inversión necesaria para cumplir con los mínimos de abastecimiento en cada unidad.

Método: al analizar las metodologías requeridas para la implementación del sistema centralizado, se identifica la necesidad de elaborar guías rápidas de inspección de los vehículos y de preparación del material a transportar, las cuales permitan estandarizar las actividades previas al traslado del material estéril y por esterilizar. Asimismo, resulta indispensable revisar y, de ser necesario, actualizar o reformular los protocolos de limpieza, desinfección y control de temperatura aplicables a los vehículos adaptados para el transporte de carga estéril. De manera complementaria,

se debe diseñar un plan de emergencia que contemple fallas mecánicas de los vehículos o inconvenientes en las rutas establecidas, con el fin de minimizar los retrasos en la entrega del material. En esta misma línea, se resalta la necesidad de formular un plan de contingencia específico ante el daño o falla del autoclave principal de las unidades hospitalarias, dado que un incidente severo en estos equipos puede interrumpir el suministro de material estéril a todas las sedes adscritas a la respectiva UPSS.

Medio ambiente: en relación con el componente ambiental, se mantienen los riesgos asociados al suministro de energía eléctrica y agua, así como al control de las condiciones de limpieza, temperatura y humedad ambiental. En el modelo centralizado, estos controles adquieren una mayor exigencia no solo en las centrales de esterilización, sino también en los vehículos destinados al transporte del material, dado que el despliegue de rutas constituye un elemento crítico del sistema. En este contexto, una inadecuada gestión de estas variables puede favorecer la contaminación cruzada durante las actividades de envío y recepción de las cargas, comprometiendo la integridad del material estéril.

COMPARACIÓN ENTRE AMBOS MODELOS Y PROPUESTAS DE ACCIONES DE MEJORA

Cada uno de los modelos presentados cuentan con fortalezas y desventajas para el despliegue de su ejecución, con el fin de contrarrestar cada una de estas se realizó un comparativo entre las características más importantes de cada sistema, cuyo resultado se presenta en la Tabla 17.

TABLA 17
ANÁLISIS COMPARATIVO MODELO CENTRALIZADO Y DESCENTRALIZADO

Factor	Modelo centralizado	Modelo descentralizado	Modelo que resultó más eficaz según el factor evaluado
Actividades y tiempos	El tiempo promedio invertido en efectuar el proceso de esterilización en todas las sedes es de 4 horas con 30 minutos, el cual se desarrolla de manera simultánea y no depende de factores externos como condiciones de transporte.	Requiere del despliegue de rutas de transporte cuyo tiempo de entrega y recepción varía desde los 60 min (1 hora) hasta los 280 min (4 horas con 40 min) aunque el proceso se puede hacer en simultáneo con el uso de varios vehículos de la institución requiere una mayor inversión temporal en transporte .	Modelo descentralizado
Costos fijos mensuales	Los costos fijos mensuales necesarios para desarrollar el proceso de esterilización de la red bajo este sistema alcanzan los \$227.443.773,50 COP	Los costos fijos mensuales para desarrollar el proceso de esterilización en las centrales de las unidades hospitalarias son de \$ 107.859.684,03 COP reflejando una disminución de \$119.584.089,47 COP respecto al modelo	Modelo centralizado

		centralizado, implicando una reducción del 52 % de los gastos	
Inversión requerida	Se requiere una inversión de \$995.855.342.00 COP para la compra de nuevos esterilizadores con el fin de abastecer la red y reducir el índice de obsolescencia. Además de una inversión de \$1.064.145.696 COP para la compra de equipos odontológicos con el fin de cumplir el criterio de suficiencia en todos los servicios, dando un total de \$2.060.001.038 COP	Se requiere de una inversión de \$49.400.000 COP para la compra de contenedores de transporte con tapa en compañía de una inversión de \$ 2.920.058.130,00 en equipo de material odontológico para cumplir con el criterio de suficiencia y el suministro diario del modelo, para un total de \$2.969.458.130. Además de los costos iniciales de las adaptaciones de los vehículos de transporte que no lograron ser evaluadas con exactitud.	Modelo descentralizado
Problemáticas por mano de obra	Debido a que este modelo cuenta con un mayor conjunto de personal asociado a la independencia de las sedes para ejecutar el proceso de esterilización es más propenso a eventos e incidentes adversos relacionados a falencias de conocimientos, técnicas o faltas de entrenamiento.	Presenta una disminución del personal que realiza el proceso de esterilización, contando con grupos focalizados que pueden ser fácilmente reunidos para su entrenamiento continuo.	Modelo centralizado
Problemáticas por medición	Este sistema cuenta con un mayor número de puestos de trabajo de esterilización sujetos a control de magnitudes esto gracias a contar con una mayor red de autoclaves que requieren de un proceso de calificación y revisión constante.	Como consecuencia de la centralización de los puntos de esterilización los equipos sujetos a control de magnitudes son reducidos, disminuyendo así las problemáticas por errores de medición al facilitar el seguimiento del estado de los equipos.	Modelo centralizado
Problemáticas por materiales	Dada la alta demanda en distintos puntos de atención este sistema es propenso a mayores retrasos en la distribución de material en todas sus sedes y a la priorización de abastecimiento de acuerdo con la urgencia de la actividad.	Este sistema reduce los tiempos de distribución y la demanda de material gracias a la reducción de los puestos de trabajo de esterilización en la red.	Modelo centralizado
Problemáticas por maquinaria	Las fallas o daños en los autoclaves traen como consecuencia retrasos en la atención al usuario, no obstante, pueden ser solventadas adecuadamente con el redireccionamiento del material a otra sede con el servicio.	El daño de cualquiera de las autoclaves principales de las unidades hospitalarias implica el desabastecimiento de todas las sedes adscritas a la UPSS cuya carga es demasiado alta para ser distribuida rápidamente hacia otros puntos que cuenten con el servicio.	Modelo descentralizado
Problemáticas por metodología	Cuenta con protocolos estandarizados y especificados que requieren actualizaciones menores como la especificación de la ruta a la cual el personal se puede dirigir ante una contingencia.	Requiere de la creación y actualización de protocolos para el transporte de material estéril y acciones específicas ante contingencias graves.	Modelo descentralizado
Problemáticas por medio ambiente	Requiere del monitoreo continuo de los factores externos de temperatura y humedad como también de limpieza y suministro de servicios públicos en todas las sedes prestadoras del servicio de esterilización.	Aunque solo requiere del monitoreo continuo de los factores externos de temperatura y humedad como también de limpieza y suministro de servicios públicos en las unidades hospitalarias, este sistema debe ser más riguroso en el control ambiental de mínimo 5 vehículos de transporte de material.	Modelo centralizado

De acuerdo con el comparativo realizado se observa que, de los 9 parámetros evaluados, el modelo descentralizado presenta un mejor desempeño en 4 de ellos, mientras que el modelo centralizado resulta favorable en un total de 5 parámetros. Este resultado implica que el modelo centralizado es desde el punto de vista técnico y operativo, más eficiente frente la dinámica de la institución, sin embargo, los costos asociados a su implementación son significativamente elevados, razón por la cual se imposibilita su adopción total con el actual presupuesto con el que dispone la E.S.E. Metrosalud. Por consecuente, se propone como alternativa realizar un modelo híbrido que permita la incorporación escalonada del modelo centralizado, el cual se detalla a continuación.

MODELO HÍBRIDO DEL PROCESO DE ESTERILIZACIÓN

Se considera la creación de centrales de esterilización en las UPSS de menor tamaño como lo son San Cristobal (que cuenta con 1 unidad hospitalaria y 2 centros de salud), San Antonio de Prado (que cuenta con 1 unidad hospitalaria y 1 centro de salud) y Nuevo Occidente (que cuenta con 1 unidad hospitalaria y 2 centros de salud), permitiendo así reducir los costos operativos de los centros de salud al retirar los autoclaves de menor tamaño para proceder con su baja, cuando aplique acorde al porcentaje de obsolescencia del equipo o su traslado a una sede que requiera un equipo en mejores condiciones. Adicionalmente, esta centralización parcial posibilita la focalización de gastos de funcionamiento e insumos únicamente hacia las unidades hospitalarias, para corroborarlo se simularon los costos fijos mensuales de las 3 centrales de esterilización seleccionadas teniendo en cuenta que cada Unidad hospitalaria cuenta con un autoclave pequeño de contingencia (para un total de 6 autoclaves cuyo porcentaje de obsolescencia se encontraba por encima del 50%) y además se estableció un incremento del 40 % de del consumo mensual de detergentes y materiales de empaque debido al incremento de la carga a reprocesar, esta información se presenta en la Tabla 18.

TABLA 18
MATRIZ DE COSTOS FIJOS MODELO HÍBRIDO PARA LA EJECUCIÓN DEL SERVICIO DE
ESTERILIZACIÓN

Rubro Principal	Componente de Costo	Unidad de Medida (Ej.)	Periodo de corte para el análisis	Cantidad (Unidades/Frec.)	Costo Total Estimado al mes (\$)	Base de Datos / Fuente
I. Equipos y Reproceso	Costo de mantenimiento preventivo de los autoclaves	# Servicio / Año	Anual	17	\$ 1.495.362,00	Información de contratos vigentes con los proveedores de mantenimiento EMKO, KAIKA, GEMIMED este valor se promedió y dividió por 12 meses para obtener costo mensual
	Costo de mantenimiento correctivo de los autoclaves	\$ Histórico / Año	A necesidad de la sede	55	\$ 34.157,25	Histórico de solicitudes cerradas y ejecutadas en un periodo de 3 años comprendido entre 2023 a 2025 relacionadas con el mantenimiento correctivo de los autoclaves, este valor se promedió y dividió por 12 meses para obtener costo mensual
II. Insumos Consumibles	Materiales de empaque	#Rollo / Mes	Mensual	158	\$ 3.106.492,78	Registro de consumo promedio reportado en los archivos del área de insumos hospitalarios
	Indicadores	# Unidad / Mes	Mensual	1938	\$ 2.534.673,45	
		# Ampolla / Mes	Mensual			
	Detergentes enzimáticos y desinfectantes	Frasco / Mes	Mensual	2101	\$ 600.917,65	
III. Operación e Infraestructura	Consumo de energía eléctrica (Autoclaves)	kWh / Ciclo	Diario / Mensual	50,15	\$ 1.147.181,25	Reportes encontrados en las características técnicas de los autoclaves indicadas en el manual de usuario y servicio teniendo en cuenta los usos promedio del equipo dentro de las sedes de atención
	Consumo de agua	m3 / Mes	Mensual	0,773	\$ 90.583,23	
IV. Talento Humano	Horas/Costo del personal encargado del reprocesamiento	# Horas / Mes	Mensual	NA	\$ 11.846.453,47	Consolidado de pago salarial registrado en el área de talento humano
Total de Costos Operativos Descentralizados (Mensual)					\$ 20.855.821,08	

Con base en la información previamente expuesta, se establece que el gasto mensual de las tres sedes que operan como centrales de esterilización asciende a \$20.855.821,08 COP. Al comparar este valor con los costos del modelo descentralizado, en el cual ocho sedes operan de manera simultánea, cuyo gasto mensual es de \$33.926.724,36 COP, se evidencia una disminución global del 38 % en los costos operativos. Asimismo, al excluir el componente correspondiente a la nómina de talento humano, la reducción de los gastos se mantiene en aproximadamente un 30 %.

No obstante, dentro de este balance financiero es necesario considerar costos adicionales asociados al transporte, tales como el consumo de combustible requerido para cumplir con las rutas de entrega y recepción del material estéril. En este caso, el costo estimado por concepto de gasolina, calculado a partir del kilometraje recorrido por tres vehículos para abarcar los 30 km mínimos necesarios, asciende a \$68.815 COP, valor que dependerá directamente de la frecuencia de suministro que defina la institución. Adicionalmente, se debe contemplar a mediano y largo plazo la reposición de los vehículos destinados al transporte de material estéril, una vez estos no cumplan con las condiciones técnicas y sanitarias necesarias para garantizar la integridad y seguridad de la carga reprocesada, lo que hace indispensable la formulación de un plan de adquisición y renovación vehicular.

Finalmente, se resalta que este esquema implica una menor sobrecarga del sistema de transporte, dado que es posible operar con dos a tres vehículos para el abastecimiento de las sedes garantizando la disponibilidad de al menos un vehículo para el resto de necesidades inmediatas y emergencias presentadas en la red. Esto se sustenta en que los tiempos de ruta de las UPSS consideradas se encuentran dentro de un rango aproximado de 54 a 102 minutos para la entrega y posterior recepción del material limpio, conforme a lo establecido en el análisis de rutas del modelo centralizado.

Agregando a lo anterior, se indica que los principales factores detectados bajo la metodología de Ishikawa para este modelo fueron:

Diagrama de Ishikawa

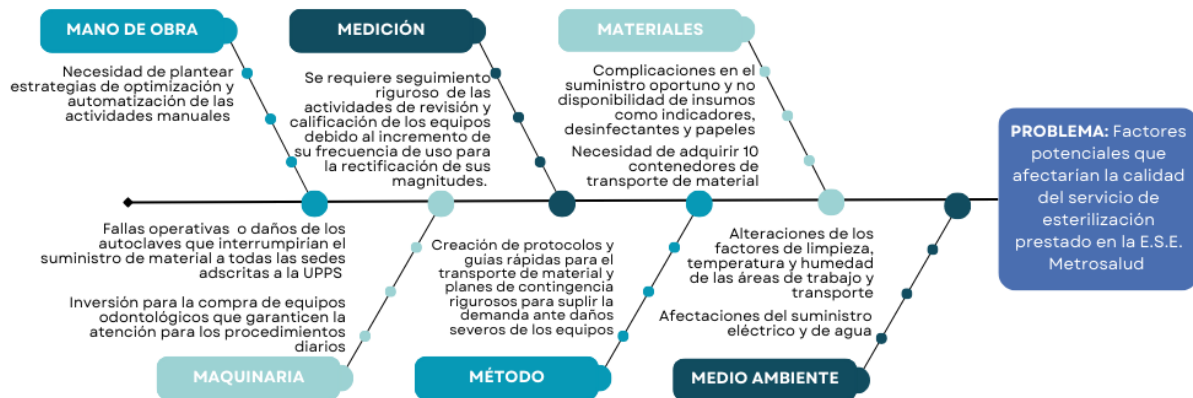


Fig. 15. Diagrama de Ishikawa Riesgos potenciales modelo híbrido.

Mano de obra: para el desarrollo efectivo de este modelo es necesario implementar estrategias de optimización y automatización de las actividades manuales realizadas por el personal asistencial durante el proceso de esterilización de dispositivos médicos, tales como el sellado de los empaques (actualmente efectuado mediante selladoras cuya vida útil ha sido ampliamente superada) y la marcación de los paquetes estériles, la cual se realiza de forma manual con lapicero.

Con el fin de mitigar estas limitaciones, la institución se encuentra actualmente en proceso de cotización de bolsas autosellables, las cuales permitirían reducir la dependencia de las selladoras y disminuir los tiempos de empaque. Adicionalmente, para el proceso de rotulado se recomienda la implementación de etiquetas de esterilización grado médico para vapor, cuyo costo por rollo de 500 unidades es de \$46.540 COP, las cuales pueden ser aplicadas de manera eficiente mediante el uso de pistolas etiquetadoras. Aparte de lo mencionado, también es importante resaltar persisten los requisitos del modelo centralizado respecto a la capacitación del personal de conducción en buenas prácticas de transporte de material.

Medición: teniendo en cuenta el incremento en la frecuencia de utilización de los autoclaves en las centrales de esterilización, se hace necesario implementar un seguimiento más riguroso y sistemático de las actividades de revisión y calificación de los equipos, dado que su operación continua incrementa la probabilidad de desconfiguraciones y desviaciones en las magnitudes medidas por los sensores. Estas variaciones pueden generar incertidumbre respecto a

la confiabilidad metrológica y la seguridad operativa de los equipos, impactando directamente la calidad del proceso de esterilización.

Materiales: además de los riesgos persistentes de desabastecimiento identificados en los modelos previamente analizados, el sistema híbrido requiere la inversión adicional en contenedores adecuados para el transporte de material estéril y limpio, con el fin de evitar la contaminación cruzada durante las actividades de entrega y recepción. En este contexto, se estima necesaria la adquisición de al menos 10 contenedores, cuya inversión aproximada asciende a \$6.500.000 COP.

Maquinaria: Por otro lado, al tratarse de un número reducido de sedes, se facilita la planificación y estimación de la inversión requerida para la adquisición de equipos odontológicos, en función de la frecuencia de suministro definida. En este sentido, las Tablas correspondientes presentan los costos estimados de adquisición necesarios para abastecer a los cinco centros de salud considerados (La Loma, Palmitas, El Limonal, Las Margaritas y Manantial de Vida), contemplando dos escenarios operativos: suministro diario y suministro tres veces por semana.

TABLA 19
COSTOS DE INVERSIÓN DE TECNOLOGÍA PARA CUMPLIR CRITERIO DE SUFICIENCIA Y
SUMINISTRO DIARIO EN 5 SEDES

CONSOLIDADO TOTAL DE EQUIPOS	CANTIDAD CALCULADA EVALUACIÓN SUFICIENCIA PARA LOS 5 CENTROS DE SALUD	CANTIDAD REQUERIDA MODELO CENTRALIZADO SUMINISTRO DIARIO	PRECIO UNITARIO DEL EQUIPO	COSTO DE ADQUISICIÓN
PIEZA DE MANO DE ALTA VELOCIDAD	50	200	\$ 852.516,00	\$ 170.503.200,00
PIEZA DE MANO DE BAJA VELOCIDAD	50	200	\$ 690.000,00	
PIEZA RECTA	10	40	\$ 387.000,00	\$ 15.480.000,00
CAVITRÓN	10	40	\$ 3.433.150,00	
CONTRA ÁNGULO	50	200	\$ 426.496,00	\$ 85.299.200,00
Total				\$ 271.282.400,00

TABLA 20
COSTOS DE INVERSIÓN DE TECNOLOGÍA PARA CUMPLIR CRITERIO DE SUFICIENCIA Y
SUMINISTRO 3 VECES POR SEMANA EN 5 SEDES

CONSOLIDADO TOTAL DE EQUIPOS	CANTIDAD CALCULADA EVALUACIÓN SUFICIENCIA PARA LOS 5 CENTROS DE SALUD	CANTIDAD REQUERIDA MODELO CENTRALIZADO SUMINISTRO 3 VECES POR SEMANA	PRECIO UNITARIO DEL EQUIPO	COSTO DE ADQUISICIÓN
PIEZA DE MANO DE ALTA VELOCIDAD	50	300	\$ 852.516,00	\$ 255.754.800,00
PIEZA DE MANO DE BAJA VELOCIDAD	50	300	\$ 690.000,00	
PIEZA RECTA	10	60	\$ 387.000,00	\$ 23.220.000,00
CAVITRÓN	10	60	\$ 3.433.150,00	
CONTRA ÁNGULO	50	300	\$ 426.496,00	\$ 127.948.800,00
Total				\$ 406.923.600,00

Las cantidades presentadas en las tablas anteriores incluyen la incorporación de un set de repuesto por cada sede, el cual permite garantizar la continuidad de la prestación del servicio durante una jornada laboral ante la ocurrencia de contingencias severas, tales como el daño y la salida de operación de los autoclaves principales de las centrales de esterilización, identificado como el riesgo crítico predominante asociado al factor maquinaria.

Método: para la adecuada implementación de este sistema, se considera fundamental el desarrollo de guías rápidas de inspección de los vehículos y de preparación del material a transportar, las cuales servirán como herramienta de apoyo operativo para el personal involucrado. Adicionalmente, se mantiene como requisito indispensable la revisión periódica y actualización de los protocolos de limpieza, desinfección y control de temperatura de los vehículos destinados al transporte de carga estéril, así como la formalización y socialización de un plan de contingencia específico ante fallas o daños del autoclave principal de las unidades hospitalarias.

Medio Ambiente: finalmente, desde el componente ambiental, persisten los riesgos asociados al suministro de energía eléctrica y agua, a los cuales se suma la necesidad de reforzar los controles de limpieza, temperatura y humedad tanto en las centrales de esterilización como en los vehículos de transporte del material. Estas medidas son indispensables para asegurar el

cumplimiento de los requisitos establecidos en la normatividad vigente y preservar la integridad del material reprocesado.

Para concluir, si bien la inversión requerida para la implementación del modelo híbrido es significativa (estimada en \$413.423.600,00 COP, correspondiente a la adquisición de instrumental odontológico y contenedores para paquetes estériles), su adopción permitiría reducir los costos fijos mensuales de las ocho sedes intervenidas, focalizar y optimizar los puntos de distribución del material estéril, y disminuir la ocurrencia de eventos e incidentes adversos asociados a la cancelación de citas y a la carencia de instrumental en condiciones óptimas para la atención. Como resultado, se contribuiría a la reducción del número de citas canceladas, al fortalecimiento de la continuidad del servicio y a la mejora de la experiencia del usuario, constituyéndose este último en un valor agregado relevante para la institución.

Elementos para considerar dentro del plan de contingencia:

Para finalizar, se plantean distintos escenarios adversos asociados al modelo híbrido, junto con las estrategias de respuesta propuestas para mitigar y gestionar de manera oportuna estas situaciones críticas:

- **Daño o falla severa del autoclave principal:** en el escenario en el que se determine una falla severa del autoclave de mayor capacidad de la central de esterilización, se recomienda utilizar de manera transitoria el esterilizador de menor capacidad disponible en la unidad hospitalaria, priorizando el reprocesamiento del instrumental requerido para las atenciones más urgentes. De forma paralela, el resto del instrumental restante deberá ser remitido mediante transporte institucional a la unidad hospitalaria más cercana con capacidad operativa disponible. Posteriormente, se deberá notificar de manera inmediata al área de ingeniería biomédica, con el fin de gestionar la solicitud ante el proveedor de mantenimiento y garantizar la atención y resolución de la falla en un plazo máximo de 24 horas. Asimismo, será necesario informar a los centros de salud adscritos a la UPSS para que hagan uso del instrumental de repuesto disponible en cada sede hasta la recepción del material reprocesado.
- **Daño del vehículo de transporte de material:** ante la ocurrencia de una falla mecánica o inconveniente operativo del vehículo durante la ruta de entrega que impida completar el recorrido, se deberá informar de inmediato al área de logística,

con el propósito de coordinar el despacho de un vehículo alternativo hacia la ubicación correspondiente para continuar con el traslado del material estéril. De manera simultánea, se deberá comunicar oportunamente a la sede afectada sobre el retraso presentado, permitiendo la utilización temporal del instrumental de repuesto, en caso de ser necesario, hasta la recepción del nuevo cargamento.

- **Inconvenientes en la vía de la ruta de entrega:** si durante el desplazamiento se presentan cierres viales u obstrucciones ocasionadas por condiciones ambientales, manifestaciones, accidentes u otros factores externos, se deberá notificar inmediatamente a la sede receptora sobre el retraso identificado, con el fin de que pueda hacer uso del instrumental de repuesto disponible. Adicionalmente, se deberá informar al personal de logística de transporte para la evaluación y definición de rutas alternas que permitan dar continuidad al proceso de entrega en el menor tiempo posible.

Es importante destacar que el instrumental de repuesto deberá almacenarse en áreas limpias, libres de polvo, sobre estantes o dentro de contenedores cerrados que eviten su manipulación frecuente y reduzcan el riesgo de deterioro del empaque estéril. Este material deberá ser renovado periódicamente, estableciendo un ciclo de reposición cada quince (15) días en caso de no ser utilizado, con el fin de preservar su integridad y garantizar su disponibilidad segura.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta el análisis desarrollado, es posible concluir que:

- El modelo descentralizado presenta protocolos operativos sólidamente estandarizados y estructurados, así como escenarios de contingencia con un menor nivel de impacto individual frente a eventos críticos, en comparación con esquemas de mayor concentración operativa. No obstante, sus altos costos fijos mensuales y el histórico de eventos e incidentes adversos evidencian que este modelo no se ajusta de manera óptima a la dinámica actual de la institución, haciendo necesario el diseño e implementación de estrategias de fortalecimiento y optimización.
- El modelo centralizado mostró un mejor desempeño global en el análisis comparativo, al resultar favorable en cinco de las nueve categorías evaluadas, destacándose principalmente por la reducción significativa de los costos fijos mensuales asociados a la operación del servicio de esterilización. Sin embargo, la alta inversión inicial requerida para su implementación integral limita su viabilidad en el corto plazo, impidiendo su adopción inmediata en toda la red y, por ende, su completa alineación con la capacidad presupuestal y operativa actual de la E.S.E. Metrosalud.
- En respuesta a las limitaciones identificadas, se propuso la implementación de un modelo híbrido, orientado a la centralización progresiva del servicio de esterilización en las Unidades Hospitalarias con menor número de sedes adscritas. Este esquema presenta riesgos controlables, una disminución de los costos operativos, y rutas claramente definidas para la entrega y recepción de cargas limpias y estériles. Si bien este modelo también requiere una inversión inicial significativa, esta resulta considerablemente menor en comparación con el modelo centralizado, permitiendo su adecuada adaptación a las necesidades, capacidades y proyección institucional.

REFERENCIAS

- [1] E. S. E. Metrosalud, Metrosalud – Entidad Pública de Medellín. [En línea]. Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/es/secretaria-privada/conglomerado-publico/entidades-del-conglomerado/metrosalud/>. [Accedido: 4-sep-2025].
- [2] Instituto Nacional de Salud, Boletín Epidemiológico Semanal – Comportamiento de las Infecciones Asociadas a la Atención en Salud (IAAS), Colombia, semana 44, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2023_Boletin_epidemiologico_semana_44.pdf. [Accedido: 4-sep-2025].
- [3] Ministerio de Salud y Protección Social, Resolución No. 914 de 2025 – Adopción del Manual de Requisitos para la Implementación de las Buenas Prácticas de Reprocesamiento de Dispositivos Médicos y Elementos Reutilizables (DMER). [En línea]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución%20No%20914%20de%202025.pdf. [Accedido: 4-sep-2025]
- [4] E.S.E Metrosalud, Informe Tecnovigilancia, julio-diciembre 2025, plataforma ALMERA, Medellín Colombia, 2025. [Documento interno].
- [5] Servicio Electrónico para la contratación Pública (SECOP II), “Contrato N°2671 de 2025”, contrato estatal, 2025. [En línea]
- [6] E.S.E. Metrosalud, “Manual de esterilización”, Versión 5, Subgerencia red de servicios, Medellín, Colombia, 2023. [Documento interno].
- [7] E.S.E. Metrosalud, “Instructivo transporte y esterilización de equipos”, Versión 2, Subgerencia red de servicios, Medellín, Colombia, 2023. [Documento interno].
- [8] Empresas Públicas de Medellín E.S.P., “Tarifas servicios de acueducto y alcantarillado, mes de facturación septiembre 2025”, EPM, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.epm.com.co/content/dam/epm/clientes-y-usuarios/aguas/tarifas-aguas/2025/09-tarifas-aguas-fact-sep-2025.pdf>
- [9] Empresas Públicas de Medellín E.S.P., “Tarifas y Costo de Energía Eléctrica – Mercado Regulado, publicación tarifas septiembre 17 2025”, EPM, 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.epm.com.co/content/dam/epm/clientes-y-usuarios/energia/tarifas-energia/tarifas-2025/PublicacionTarifasSeptiembre172025_ANT_OM.pdf
- [10] Midmark Corp., Manual de usuario: esterilizadores de vapor Series M9 y M11 (modelos M11 y M11-022), Midmark Corporation, Estados Unidos, s.f.
- [11] Baumer S.A., Manual del usuario: esterilizador a vapor por alto vacío HI SPEED II, Código 130020021, versión 3.000, Mogi Mirim, Brasil, s.f.

ANEXOS

Anexo A. Consolidado de evaluación de obsolescencia de los autoclaves de la red

Equipo	% Costo operativo efectivo	Ponderado % costo	Estado	Ponderado % estado	Tiempo en uso	Vida útil	%vida útil restante	Ponderado % tiempo de uso	% Condición operativa	Necesidad de reposición	Costo de adquisición
AUTOCLAVE 1	100%	30%	50%	15%	41	20	0%	0%	45%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 2	100%	30%	50%	15%	27.75	20	0%	0%	45%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 3	100%	30%	50%	15%	27.75	20	0%	0%	45%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 4	99%	30%	50%	15%	27.75	20	0%	0%	45%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 5	100%	30%	50%	15%	27.75	20	0%	0%	45%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 6	100%	30%	50%	15%	27.75	20	0%	0%	45%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 7	100%	30%	50%	15%	27.75	20	0%	0%	45%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 8	99%	30%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	42%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 9	88%	26%	30%	9%	26.92	20	0%	0%	35%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 10	94%	28%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	40%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 11	91%	27%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	39%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 12	66%	20%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	32%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 13	100%	30%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	42%	Inmediata	\$ 9.258.200,00

AUTOCLAVE 14	99%	30%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	42%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 15	100%	30%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	42%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 16	100%	30%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	42%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 17	94%	28%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	40%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 18	95%	28%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	40%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 19	95%	29%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	41%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 20	100%	30%	40%	12%	26.92	20	0%	0%	42%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 21	100%	30%	40%	12%	9.75	7	0%	0%	42%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 22	99%	30%	40%	12%	26.08	20	0%	0%	42%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE A VAPOR CON BARRERA SANITARIA 23	100%	30%	50%	15%	19.33	20	7%	3%	48%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE A VAPOR CON BARRERA SANITARIA 24	100%	30%	50%	15%	19.33	20	7%	3%	48%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 25	100%	30%	60%	18%	12.67	15	21%	8%	56%	Mediana	
AUTOCLAVE A VAPOR CON BARRERA SANITARIA 26	100%	30%	60%	18%	12.33	15	24%	10%	58%	Mediana	

AUTOCLAVE A VAPOR CON BARRERA SANITARIA 27	100%	30%	60%	18%	12.33	15	24%	10%	58%	Mediana	
AUTOCLAVE 28	100%	30%	60%	18%	11.5	15	29%	12%	60%	Mediana	
AUTOCLAVE 29	5%	1%	60%	18%	15.08	20	29%	12%	31%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 30	100%	30%	60%	18%	15.08	20	29%	12%	60%	Mediana	
AUTOCLAVE 31	5%	1%	60%	18%	15.08	20	29%	12%	31%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 32	100%	30%	60%	18%	14.5	20	32%	13%	61%	Mediana	
AUTOCLAVE 33	5%	1%	60%	18%	14.17	20	33%	13%	33%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 34	0%	0%	60%	18%	14.17	20	33%	13%	31%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 35	100%	30%	60%	18%	14.17	20	33%	13%	61%	Mediana	
AUTOCLAVE 36	36%	11%	60%	18%	10.25	15	37%	15%	44%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 37	82%	25%	60%	18%	10.08	15	39%	16%	58%	Mediana	
AUTOCLAVE 38	84%	25%	60%	18%	6.92	10	40%	16%	59%	Mediana	
AUTOCLAVE 39	71%	21%	70%	21%	6.83	10	41%	16%	59%	Mediana	
AUTOCLAVE 40	5%	1%	70%	21%	12.08	20	44%	18%	40%	Inmediata	\$ 9.258.200,00
AUTOCLAVE 41	100%	30%	70%	21%	11.5	20	47%	19%	70%	Mediana	

AUTOCLAVE A VAPOR CON BARRERA SANITARIA 270 LTS UNIDAD 43	100%	30%	70%	21%	11.5	20	47%	19%	70%	Mediana	
AUTOCLAVE 43	79%	24%	70%	21%	11.08	20	49%	20%	64%	Mediana	
AUTOCLAVE A VAPOR CON BARRERA SANITARIA 100 lts UNIDAD 44	100%	30%	70%	21%	8.25	15	51%	20%	71%	Mediana	
AUTOCLAVE 45	100%	30%	70%	21%	10.42	20	52%	21%	72%	Mediana	
AUTOCLAVE 46	100%	30%	70%	21%	10.33	20	53%	21%	72%	Mediana	
AUTOCLAVE 47	71%	21%	70%	21%	10.33	20	53%	21%	63%	Mediana	
AUTOCLAVE A VAPOR CON BARRERA SANITARIA 100 lts UNIDAD 48	100%	30%	70%	21%	7.08	15	59%	24%	75%	Mediana	
AUTOCLAVE 49	84%	25%	80%	24%	3.92	10	70%	28%	77%	Mediana	
AUTOCLAVE 50	85%	26%	80%	24%	7	20	70%	28%	78%	Mediana	
AUTOCLAVE 51	100%	30%	90%	27%	2.83	15	87%	35%	92%	Largo	
AUTOCLAVE 52	100%	30%	90%	27%	2.33	15	90%	36%	93%	Largo	
AUTOCLAVE 53	100%	30%	100%	30%	1.17	10	88%	35%	95%	Largo	

AUTOCLAVE 54	100%	30%	100%	30%	1.17	10	88%	35%	95%	Largo	
AUTOCLAVE 55	100%	30%	100%	30%	126	5	SIN FECHA	#VALUE!	60%	Mediana	
AUTOCLAVE 56	99%	30%	100%	30%	26.92	10	0%	0%	60%	Mediana	
AUTOCLAVE 57	100%	30%	100%	30%	0.33	5	93%	37%	97%	Largo	
AUTOCLAVE 58	100%	30%	100%	30%	0.33	5	93%	37%	97%	Largo	
AUTOCLAVE 59	100%	30%	100%	30%	0.33	5	93%	37%	97%	Largo	
AUTOCLAVE 60	100%	30%	100%	30%	0.33	5	93%	37%	97%	Largo	
AUTOCLAVE 61	100%	30%	100%	30%	0.33	5	93%	37%	97%	Largo	
AUTOCLAVE 62	100%	30%	100%	30%	0.33	5	93%	37%	97%	Largo	
AUTOCLAVE 63	100%	30%	100%	30%	0.33	5	93%	37%	97%	Largo	

Anexo B. Histórico de costos de autoclaves modelo centralizado

Número de Mantenimientos preventivos realizados	Valor unitario de mantenimiento preventivo IVA incluido	Valor total de mantenimiento preventivo IVA incluido	Valor total IVA INCLUIDO mto + repuestos año 2023	Valor total IVA INCLUIDO mto + repuestos año 2024	Valor total IVA INCLUIDO mto + repuestos año 2025	Costo jornada de talento humano al mes (jornada de 4 horas esterilizando, 2 personas mínimo, por 6 días a la semana)	Consumo de agua según manual en m3 (se tiene en cuenta gasto por 2 usos)	Costo de mes al mes en \$/m3	Consumo de energía según manual en kW	Costo de energía al mes en \$/kWh
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ -	0,004	\$ 468,74	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 6.800.712,00	\$ 13.601.424,00			\$ 6.307.000,00	\$ 3.948.817,82	0,16	\$ 18.749,44	38	\$ 869.250,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 122.000,00			\$ -	0,004	\$ 468,74	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 6.800.712,00	\$ 13.601.424,00				\$ 3.948.817,82	0,16	\$ 18.749,44	38	\$ 869.250,00
2	\$ 6.800.712,00	\$ 13.601.424,00				\$ 3.948.817,82	0,04	\$ 4.687,36	38	\$ 869.250,00
2	\$ 6.800.712,00	\$ 13.601.424,00				\$ 3.948.817,82	0,16	\$ 18.749,44	38	\$ 869.250,00
2	\$ 6.800.712,00	\$ 13.601.424,00				\$ 3.948.817,82	0,16	\$ 18.749,44	38	\$ 869.250,00
4	\$ 1.737.461,00	\$ 6.949.844,00			\$ 359.499,00	\$ 3.948.817,82	0,32	\$ 37.498,88	11	\$ 251.625,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ -	0,004	\$ 468,74	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ -	0,004	\$ 468,74	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ -	0,004	\$ 468,74	1,425	\$ 32.596,88
3	\$ 202.300,00	\$ 606.900,00				\$ 3.948.817,82	0,04	\$ 4.687,36	38	\$ 869.250,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 5.000,00	\$ 155.000,00	\$ 110.000,00	\$ -	0,004	\$ 468,74	1,425	\$ 32.596,88
4	\$ 2.293.450,00	\$ 9.173.800,00			\$ 553.350,00	\$ 3.948.817,82	0,32	\$ 37.498,88	11	\$ 251.625,00
3	\$ 202.300,00	\$ 606.900,00				\$ 3.948.817,82	0,04	\$ 4.687,36	24	\$ 549.000,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ -	0,004	\$ 468,74	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 213.000,00			\$ -	0,004	\$ 468,74	1,425	\$ 32.596,88
4	\$ 1.737.461,00	\$ 6.949.844,00			\$ 650.311,00	\$ 3.948.817,82	0,32	\$ 37.498,88	11	\$ 251.625,00
2	\$ 6.800.712,00	\$ 13.601.424,00			\$ 4.890.900,00	\$ 3.948.817,82	0,16	\$ 18.749,44	38	\$ 869.250,00

2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ -	0,004	\$ 468,74	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00		\$110.000,00		\$ -	0,004	\$ 468,74	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ -	0,023	\$ 2.695,23	1,4	\$ 32.025,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 110.000,00	\$110.000,00		\$ -	0,004	\$ 468,74	1,425	\$ 32.596,88
3	\$ 202.300,00	\$ 606.900,00				\$ -	0,012	\$ 1.406,21	1,2	\$ 27.450,00
3	\$ 202.300,00	\$ 606.900,00				\$ -	0,018	\$ 2.109,31	1,2	\$ 27.450,00
3	\$ 202.300,00	\$ 606.900,00				\$ -	0,018	\$ 2.109,31	1,2	\$ 27.450,00
3	\$ 202.300,00	\$ 606.900,00				\$ -	0,018	\$ 2.109,31	1,2	\$ 27.450,00
3	\$ 202.300,00	\$ 606.900,00				\$ -	0,018	\$ 2.109,31	1,2	\$ 27.450,00
3	\$ 202.300,00	\$ 606.900,00				\$ -	0,018	\$ 2.109,31	1,2	\$ 27.450,00
3	\$ 202.300,00	\$ 606.900,00				\$ -	0,018	\$ 2.109,31	1,2	\$ 27.450,00
3	\$ 202.300,00	\$ 606.900,00				\$ -	0,018	\$ 2.109,31	1,2	\$ 27.450,00
78	\$ 51.023.244,00	\$ 115.606.232,00	\$ 450.000,00	\$375.000,00	\$12.871.060,00	\$ 43.436.996,06	2,085	\$ 244.328,64	349,675	\$ 7.998.815,63

Anexo C. Histórico de costos de autoclaves modelo centralizado

Número de Mantenimientos preventivos realizados	Valor unitario de mantenimiento preventivo IVA incluido	Valor total de mantenimiento preventivo IVA incluido	Valor total IVA INCLUIDO mto + repuestos año 2023	Valor total IVA INCLUIDO mto + repuestos año 2024	Valor total IVA INCLUIDO mto + repuestos año 2025	Costo jornada de talento humano al mes (jornada de 4 horas esterilizando, 2 personas mínimo, por 6 días a la semana)	Consumo de agua según manual en m3 (se tiene en cuenta gasto por 2 usos)	Costo de mes al mes en \$/m3	Consumo de energía según manual en kW	Costo de energía al mes en \$/kWh
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 452.500,00	\$ 26.300,00		\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 8.000,00		\$ 116.000,00	\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
1	\$ 6.800.712,00	\$ 6.800.712,00			\$ 6.307.000,00	\$ 2.632.545,22	0,12	\$ 14.062,08	38	\$ 869.250,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00		\$ 40.700,00		\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 710.000,00			\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 122.000,00			\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
1	\$ 6.800.712,00	\$ 6.800.712,00				\$ 2.632.545,22	0,12	\$ 14.062,08	38	\$ 869.250,00
1	\$ 6.800.712,00	\$ 6.800.712,00				\$ 2.632.545,22	0,12	\$ 14.062,08	38	\$ 869.250,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
3	\$ 1.737.461,00	\$ 5.212.383,00			\$ 359.499,00	\$ 2.632.545,22	0,24	\$ 28.124,16	11	\$ 251.625,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00			\$ 26.000,00	\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 5.000,00			\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00		\$ 255.000,00	\$ 110.000,00	\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50

2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 136.300,00			\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 112.500,00	\$ 8.000,00		\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00		\$ 7.500,00		\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 710.000,00			\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,08	\$ 9.374,72	38	\$ 869.250,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 5.000,00	\$ 155.000,00	\$ 110.000,00	\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 710.000,00		\$ 110.000,00	\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
3	\$ 2.293.450,00	\$ 6.880.350,00			\$ 553.350,00	\$ 2.632.545,22	0,24	\$ 28.124,16	11	\$ 251.625,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00			\$ 13.800,00	\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 1.302.500,00	\$ 228.500,00	\$ -	\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 45.000,00			\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00			\$ 107.747,00	\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 710.000,00			\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,08	\$ 9.374,72	24	\$ 549.000,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 5.000,00		\$ 16.000,00	\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 213.000,00			\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88

3	\$ 1.737.461,00	\$ 5.212.383,00			\$ 650.311,00	\$ 2.632.545,22	0,24	\$ 28.124,16	11	\$ 251.625,00
1	\$ 6.800.712,00	\$ 6.800.712,00			\$ 4.890.900,00	\$ 2.632.545,22	0,12	\$ 14.062,08	38	\$ 869.250,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 8.000,00			\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 45.000,00			\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00		\$ 110.000,00		\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,046	\$ 5.390,46	1,4	\$ 32.025,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 110.000,00	\$ 110.000,00		\$ 2.632.545,22	0,008	\$ 937,47	1,425	\$ 32.596,88
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 1.347,00	\$ 68.000,00	\$ 278.200,00	\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,024	\$ 2.812,42	1,2	\$ 27.450,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 36.447,00			\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00	\$ 16.000,00	\$ 71.300,00	\$ -	\$ 2.632.545,22	0,01	\$ 1.171,84	1,3	\$ 29.737,50
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,036	\$ 4.218,62	1,2	\$ 27.450,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,036	\$ 4.218,62	1,2	\$ 27.450,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,036	\$ 4.218,62	1,2	\$ 27.450,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,036	\$ 4.218,62	1,2	\$ 27.450,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,036	\$ 4.218,62	1,2	\$ 27.450,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,036	\$ 4.218,62	1,2	\$ 27.450,00
2	\$ 202.300,00	\$ 404.600,00				\$ 2.632.545,22	0,036	\$ 4.218,62	1,2	\$ 27.450,00
123	\$ 44.097.720,00	\$ 66.760.964,00	\$ 5.463.594,00	\$ 1.080.300,00	\$ 13.648.807,00	\$ 163.217.803,39	2,076	\$ 243.273,98	318,075	\$ 7.275.965,63

Anexo D. Poster jornada de prácticas académicas

Programa de Bioingeniería

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA OPERATIVA DEL SERVICIO DE ESTERILIZACIÓN DE LA E.S.E. METROSALUD Y DEFINICIÓN DE UN MODELO ÓPTIMO SEGÚN LAS NECESIDADES DE LA RED HOSPITALARIA

PRACTICANTE: Anny Elizabeth Raigoza Restrepo

ASESORES: Javier García, Juliana Ballesteros



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA: Bioingeniería

Modalidad de la práctica: Semestre de industria

Introducción

La Empresa Social del Estado (E.S.E) METROSALUD es una institución de carácter pública que abarca una red de 10 unidades hospitalarias y 43 centros de salud cuyo propósito es brindar servicios de atención integrales a la población de Medellín y de la región antioqueña. Entre los procesos vitales que debe desarrollar la entidad para dar cumplimiento efectivo de las actividades indicadas en su portafolio de servicios, se encuentra el proceso de esterilización que es definido como aquella actividad física o química a través de la cual es posible la erradicación de todos los microorganismos presentes en dispositivos médicos o equipos reutilizables hasta llevarlos a un nivel aceptable que dé garantía de seguridad para su nuevo uso clínico.

Metodología

Estudio descriptivo con enfoque cuantitativo cuyas etapas principales incluyeron:

- Revisión documental:** se analizaron las bases de datos institucionales para la identificación de costos principales y protocolos estandarizados.
- Elaboración de matrices de costos y tiempos del modelo centralizado y descentralizado:** se estructuraron matrices con el registro de tiempos de cada etapa necesaria en el proceso de esterilización, además de organización de costos asociados.
- Análisis de problemáticas de cada modelo mediante técnica de Ishikawa:** se evaluaron las principales desventajas de cada modelo con el fin de establecer los factores que afecten la calidad del servicio de esterilización en la red.
- Comparación de ambos modelos y selección de alternativa óptima:** a partir de las matrices de tiempos, costos y el análisis causa-raíz, se identificaron los beneficios y límites de cada modelo determinando la alternativa con mayor viabilidad técnica.

Resultados

El resultado de la evaluación se dividió en 3 escenarios:

- Modelo descentralizado:** cuenta con 54 autoclaves distribuidos en 46 sedes, donde el personal realiza en simultáneo el proceso de esterilización con un promedio de 4 horas y 30 minutos invertidos al día, este representa un costo fijo de operación al mes de \$ 227.443.773 COP.
- Modelo centralizado:** obtuvo un mejor desempeño en 5 de las 9 variables evaluadas representando un ahorro entre los costos fijos mensuales de operación de \$ 107.859.684 COP (52 % respecto al sistema actual). Sin embargo requiere una inversión inicial en instrumental de hasta \$ 6.631.882.998 COP para garantizar el suministro de equipos 3 veces por semana, además de requerir vehículos especializados para el transporte de carga estéril.
- Modelo Híbrido:** alternativa más eficiente y viable que permite una centralización progresiva, tomando como punto de partida las UPSS con la menor cantidad de sedes adscritas, este permite una reducción de los costos fijos de operación mensuales de las 3 unidades seleccionadas del 38% contando a su vez con riesgos controlables que permiten solventar las contingencias del modelo institucional actual sin representar una carga excesiva en la logística de transporte.

Objetivos

Evaluar la viabilidad de un modelo centralizado para la esterilización del instrumental odontológico en la red de la E.S.E Metrosalud, a través del análisis de tiempos, costos de operación y mantenimiento de los equipos, la operatividad del servicio, el talento humano y la infraestructura requerida.

Identificar los tiempos y costos asociados a la operación, mantenimiento y recursos actualmente requeridos (insumos, equipos, talento humano e infraestructura) para el proceso descentralizado de esterilización, mediante la revisión de las bases de datos de inventario de la red.

Determinar los nuevos requerimientos técnicos y logísticos derivados de la implementación de un modelo centralizado, considerando la suficiencia de equipos e insumos, así como las necesidades de transporte del instrumental.

Comparar el modelo actual descentralizado con el modelo centralizado a partir del análisis de costos y tiempos de respuesta, con el fin de establecer lineamientos para la implementación de actividades de mejora en la entidad.

Conclusiones

El Sistema descentralizado actual cuenta con protocolos estructurados y estandarizados, no obstante, sus elevados costos mensuales y su historial de eventos adversos señalan que este sistema no se adecua a la dinámica institucional.

A pesar de que el modelo centralizado cuenta con un mejor desempeño global teniendo como principal ventaja la reducción significativa de costos fijos mensuales, su mayor limitante se sitúa en la alta inversión inicial requerida en equipos, siendo inviable su implementación a corto plazo.

El modelo híbrido permite una centralización progresiva enfocada en las UPSS de menor tamaño, ofreciendo riesgos controlables, la disminución de costos operativos y rutas de transporte de carga claramente definidas.



DATOS DE CONTACTO DEL AUTOR:

+ 57 3022217725 +57 3022217725 anny.raigoza@udea.edu.co annyrestrepo12 <https://www.linkedin.com/in/anny-elizabeth-raigoza-restrepo-962207288/>