

Energía solar  
Lean healthcare  
Productividad

Ulises Caicedo Espinosa

Luz Ángela Caicedo Ordóñez

Daniel Muñoz Palma

Óscar Pérez Vargas

Angélica Burbano Collazos

Juan José Cardona Melo

Óscar Rubiano Ovalle



**BITÁCORAS DE LA MAESTRÍA**

**ENERGÍA SOLAR  
LEAN HEALTHCARE  
PRODUCTIVIDAD**



**BITÁCORAS DE LA MAESTRÍA**

**ENERGÍA SOLAR  
LEAN HEALTHCARE  
PRODUCTIVIDAD**

*Ulises Caicedo Espinosa  
Daniel Muñoz Palma  
Óscar Pérez Vargas  
Luz Ángela Caicedo Ordóñez  
Óscar Rubiano Ovalle  
Angélica Burbano Collazos  
Juan José Cardona Melo*

*Editorial Universidad Icesi, 2020*

### **Energía solar - Lean healthcare - Productividad**

© Ulises Caicedo E., Luz Ángela Caicedo O., Daniel Muñoz P., Óscar Pérez V., Angélica Burbano C., Juan José Cardona M., Óscar Rubiano O.

1 ed. Cali, Colombia. Universidad Icesi, 2020

154 p., 19x24 cm

Incluye referencias bibliográficas

ISBN: 978-958--5590-33-5 (PDF)

<https://doi.org/10.18046/EUI/bm.5.2020>

1. Smart grids 2. Optimization methods 3. Productivity I.Tit  
629 – dc22

© Universidad Icesi, 2020

Facultad de Ingeniería

Colección: Bitácoras de la maestría, vol. 5.

Rector: Francisco Piedrahita Plata

Decano Facultad de Ingeniería: Gonzalo Ulloa Villegas

Coordinador editorial: Adolfo A. Abadía



Producción y diseño: Claros Editores SAS.

Editor: José Ignacio Claros V.

La publicación de este libro se aprobó luego de superar un proceso de evaluación doble ciego por dos pares expertos. El contenido de esta obra no compromete el pensamiento institucional de la Universidad Icesi ni le genera responsabilidades legales, civiles, penales o de cualquier otra índole, frente a terceros.



Calle 18 #122-135 (Pance), Cali-Colombia  
editorial@icesi.edu.co  
[www.icesi.edu.co/editorial](http://www.icesi.edu.co/editorial)  
Teléfono: +57(2) 555 2334

La serie Bitácoras de la Maestría es una publicación de la Universidad Icesi que tiene como objetivo mejorar la difusión de los trabajos de grado meritorios de sus estudiantes, exponiéndolos a un público más amplio, no necesariamente académico, que pueda aprovecharlos en su cotidianidad. Se trata de “mover” las tesis, desde los anaqueles de las bibliotecas, hacia las manos de los actores de la vida diaria y establecer un vínculo entre autores y potenciales usuarios. En cada volumen se incluyen tres trabajos con temática diversa. Por lo heterogéneo de su contenido, el nombre de cada volumen está compuesto por el nombre de la serie y el de los tres temas que incluye.

## **Ulises Caicedo Espinosa**

Ingeniero de Materiales y Tecnólogo en Electricidad Industrial y de Potencia de la Universidad del Valle (Cali, Colombia) y Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi (Cali); Diplomados en Interventoría (Universidad del Valle) y Sistemas Fotovoltaicos conectados a Red (Universidad Autónoma de Occidente, Cali). Su vida profesional ha estado ligada al sector público de servicios, específicamente como profesional en ingeniería de las Empresas Municipales de Cali, en donde actualmente coordina el programa Aforos de Energía. [ulcaicedo@emcali.com.co](mailto:ulcaicedo@emcali.com.co)

## **Luz Ángela Caicedo Ordóñez**

Ingeniera Industrial de la Universidad Santiago de Cali (Colombia) y Especialista en Calidad para la Competitividad y Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi (Cali). Durante sus más de quince años de experiencia ha liderando las áreas de calidad, administración y operaciones y participado en: el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas de gestión de la calidad (ISO 9001); la definición de planes estratégicos y operativos; y la definición, ejecución y seguimiento de proyectos para la adopción de mejores prácticas enfocados en el logro de resultados y la reducción de costos. [luzan88@hotmail.com](mailto:luzan88@hotmail.com)

## **Óscar A. Pérez Vargas**

Ingeniero de Producción de la Universidad Autónoma de Occidente (Cali, Colombia) y Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi (Cali). Trabajó como ingeniero auxiliar y encargado de la adecuación y control de datos en cambios de referencia en Cristal (Buga, Colombia) y en la coordinación y adecuación de máquinas para corte y empaque de alimentos en City Baking (New York, NY). Actualmente labora como Jefe de Adecuaciones y Mantenimiento en Bela Nova (Cali), en donde participó en la obtención del Sello de Calidad Turística y el Sello Ambiental Colombiano. [oscarperez79@gmail.com](mailto:oscarperez79@gmail.com)



## **Daniel Muñoz Palma**

Estadístico de la Universidad del Valle (Cali, Colombia) con Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi (Cali). Su trabajo profesional ha estado ligado al sector salud, primero como Profesional Estadístico en la Clínica Oftalmológica de Cali, actualmente como Coordinador de Estadística de la Clínica Nuestra Señora de los Remedios (Cali). palma8904@gmail.com

## **Angélica Burbano Collazos**

Ingeniera Industrial, Especialista en Producción y MBA de la Universidad Icesi (Cali, Colombia) y Doctora en Ingeniería de la University of Arkansas. Es profesora asociada, investigadora y Jefe del Departamento Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi. Sus áreas de interés en investigación son la logística hospitalaria y la educación en ingeniería. aburbano@icesi.edu.co

## **Juan José Cardona Melo**

Ingeniero Industrial e Ingeniero de Sistemas con Maestría en Administración de la Universidad Icesi (Cali, Colombia). Es profesor de tiempo completo del Departamento de Ingeniería Industrial de dicha universidad e integrante del grupo de investigación iCubo. Sus áreas de interés profesional son: el diseño de sistemas de producción y distribución de planta, los sistemas Lean, la gestión de cadenas de abastecimiento y la educación en ingeniería. jjcardona@icesi.edu.co

## **Óscar Rubiano Ovalle**

Ingeniero Industrial y Especialista en Finanzas de la Universidad del Valle (Cali, Colombia) y Experto en Prospectiva y Gestión Tecnológica y Doctor en Ingeniería Industrial de la Universidad de Sevilla (España). Es profesor titular y miembro del grupo de investigación Logística y Producción de la Universidad del Valle. Sus áreas de interés profesional son: estrategia de negocios; gerencia de operaciones; manufactura, proyectos y servicios Lean; pensamiento sistémico; logística; y dinámica de sistemas. oscar.rubiano@correounivalle.edu.co



# Tabla de contenido

Presentación	23
Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali	25
Resumen	27
Introducción	28
Marco teórico	31
Pérdidas comerciales de energía	31
Sistema de medición centralizada con un enfoque de red inteligente	31
Sistema de limitación de corriente	32
Sistemas de generación de energía eléctrica	32
Antecedentes	36
Marco legal	36
Consultorías especializadas	37
La academia	38
El proyecto	39
Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico	41
Modelo de reducción de pérdidas comerciales	43
Matriz de riesgos	45
5W-2H	48

Modelo de diagnóstico de pérdidas comerciales de energía	48
Escenarios de aplicación del modelo	49
Conclusiones y recomendaciones	55
Referencias	56
Anexo 1. Árboles de problemas y objetivos	58
Metodología para mejora de los procesos de una unidad de imágenes diagnósticas en una clínica de Cali	61
Resumen	63
Introducción	64
Marco teórico	67
Lean Manufacturing	67
Six Sigma	68
Antecedentes	69
Desarrollo de metodología Lean para la mejora en la unidad de imágenes	78
Definir	78
Medir	84
Analizar	85
Implementar	95
Controlar	99
Validación de la metodología	99
Conclusiones	104
Referencias	106

<b>Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario</b>	<b>111</b>
<b>Resumen</b>	<b>113</b>
<b>Introducción</b>	<b>114</b>
<b>Marco de referencia</b>	<b>117</b>
<b>Método</b>	<b>120</b>
<b>Paso 1. Definición del tiempo estándar de atención en caja</b>	<b>121</b>
<b>Paso 2. Definición de la capacidad instalada, la ocupación del cajero y la productividad</b>	<b>125</b>
<b>Paso 3. Análisis de tiempo de espera en cola y caracterización del patrón de arribo de usuarios</b>	<b>125</b>
<b>Paso 4. Validación de escenarios por medio de la simulación</b>	<b>126</b>
<b>La implementación</b>	<b>126</b>
<b>Paso 1. Definición del tiempo estándar de atención en caja</b>	<b>127</b>
<b>Paso 2. Definición de la capacidad instalada, la ocupación del cajero y la productividad</b>	<b>128</b>
<b>Paso 3. Análisis de tiempo de espera en cola y caracterización del patrón de arribo de usuarios</b>	<b>131</b>
<b>Paso 4. Validación de escenario por medio de la simulación</b>	<b>138</b>
<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>144</b>
<b>Referencias</b>	<b>146</b>



# Índice de Tablas

---

## MODELO PARA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS COMERCIALES DE ENERGÍA CON UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LAS ZONAS ESPECIALES DE CALI

---

Tabla 1. Componentes de la ecuación del modelo	44
Tabla 2. Definición de conceptos	45
Tabla 3. Resumen de la matriz de riesgos	46
Tabla 4. 5W-2H para las zonas especiales	48
Tabla 5. Modelo de diagnóstico de pérdidas comerciales	50
Tabla 6. Escenario 2. Costos y detalles de facturación	52
Tabla 7. Escenario 3. Costos y detalles de facturación	53
Tabla 8. Hoja de ruta del modelo y beneficios económicos	54

---

## METODOLOGÍA PARA MEJORA DE LOS PROCESOS DE UNA UNIDAD DE IMÁGENES DIAGNÓSTICAS EN UNA CLÍNICA DE CALI

---

Tabla 1. Estratificación de modalidades de estudio y relación tiempo de entrega real	80
Tabla 2. VOC /VOB de la unidad de imágenes en la modalidad de ecografía	83
Tabla 3. Clasificación de los tiempos de espera del proceso para entrega de resultados de la modalidad de ecografía	86
Tabla 4. Distribución horaria / día de las órdenes de ecografía de pacientes de urgencias en mayo de 2019	88

Tabla 5. Distribución de órdenes / franja horaria y tipo de ecografía	88
Tabla 6. Resumen del tiempo de entrega total / tipo de ecografía	89
Tabla 7. Frecuencia relativa de las actividades observadas en la etapa de recepción y programación de pacientes – modalidad de ecografía	90
Tabla 8. Frecuencia relativa de las actividades observadas en la etapa de toma y lectura – modalidad de ecografía	91
Tabla 9. Frecuencias relativas de las actividades observadas en la etapa de transcripción – modalidad de ecografía	91
Tabla 10. Capacidad y ciclo de tiempo actual en la toma de cada examen en función de la demanda	94
Tabla 11. Estudios de ecografía realizados / tipo de paciente	94
Tabla 12. Identificación de actividades que no agregan valor, clasificación de desperdicios y herramientas Lean propuestas para el mejoramiento	96
Tabla 13. Capacidad y ciclo de tiempo propuesto en la toma de cada examen en función de la demanda	98
Tabla 14. Resumen del plan de acción requerido para alcanzar la meta	99

---

**METODOLOGÍA PARA MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA Y PRODUCTIVIDAD EN LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS FINANCIEROS EN EMPRESA DEL SECTOR SOLIDARIO**

---

Tabla 1. Sistema de calificación Westinghouse	122
Tabla 2. Cálculo del factor de holgura	124
Tabla 3. Niveles de ocupación y productividad / sede	129
Tabla 4. Niveles de ocupación por sede según nivel de afluencia de público	129
Tabla 5. Niveles de productividad por sede según nivel de afluencia de público	129
Tabla 6. Resultado del escenario 1: sin aumento en el número de cajeros	141
Tabla 7. Resultado del escenario 1 / cajero	141
Tabla 8. Resultado del escenario 2: con un cajero adicional	142



Tabla 9. Resultado del escenario 2 / cajero	142
Tabla 10. Escenario 3: sin cajeros adicionales, pero con cualificación de los cajeros	143
Tabla 11. Resultado del escenario 3 / cajero	143



# Índice de Figuras

---

## MODELO PARA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS COMERCIALES DE ENERGÍA CON UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LAS ZONAS ESPECIALES DE CALI

---

Figura 1. Ubicación de las zonas especiales de Cali	29
Figura 2. Zona de influencia del proyecto	40
Figura 3. Edificio 1 de la institución educativa Isaías Duarte Cancino	41
Figura 4. Comportamiento de la irradiación solar en Cali	42
Figura 5. Balance energético sin implementación del sistema	49
Figura 6. Balance comercial con implementación del sistema sin exportación de energía	51
Figura 7. Balance comercial con implementación del sistema y exportación de energía	51
Figura 8. Balance comercial: valor de los excedentes de energía sin limitación de corriente	53
Figura 9. Balance comercial: valor de los excedentes de energía con limitación de corriente	53
Figura 10. Zonas especiales: árbol de problemas	58
Figura 11. Zonas especiales: árbol de objetivos	59

---

**METODOLOGÍA PARA MEJORA DE LOS PROCESOS DE UNA UNIDAD DE IMÁGENES  
DIAGNÓSTICAS EN UNA CLÍNICA DE CALI**

---

Figura 1. PAMEC: ruta crítica	70
Figura 2. Macroproceso de la unidad de imágenes / tipo de cliente y modalidad de estudio	79
Figura 3. Demanda de estudios recibido por la unidad de imágenes, según tipo de cliente (promedio enero – julio, 2019)	80
Figura 4. Tiempo de entrega de resultados de ecografía a pacientes de Urgencias	81
Figura 5. Satisfacción usuarios de Urgencias respecto a tiempos en la atención en exámenes de ecografía	81
Figura 6. Inatenciones y su efecto sobre la agenda	82
Figura 7. Hoja de proyecto	83
Figura 8. SIPOC	84
Figura 9. Proceso para cálculo de los tiempos de espera	86
Figura 10. Frecuentación media horaria de órdenes de ecografía / día de la semana en mayo de 2019	87
Figura 11. Comportamiento del ordenamiento de ecografías en 2019 / ordenamiento total y tipo paciente de urgencias	87
Figura 12. Órdenes de estudios de ecografía / tipo	88
Figura 13. Cuartiles para el tiempo total de entrega de resultados / tipo de ecografía	89
Figura 14. Mapa de flujo de valor actual de la unidad de imágenes en la modalidad de ecografía	92
Figura 15. Capacidad y ciclo de tiempos actual en la toma de exámenes en función de la demanda	93
Figura 16. Árbol de problemas en el servicio de imágenes en la modalidad de ecografía	95
Figura 17. Mapa de flujo de valor futuro de la unidad de imágenes en la modalidad de ecografía	98

Figura 18. Herramienta A3 para la unidad de imágenes en la modalidad de ecografía para el área de urgencias	100
Figura 19. Propuesta de escalonamiento hacia las otras unidades de la institución	103

---

**METODOLOGÍA PARA MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA Y PRODUCTIVIDAD EN LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS FINANCIEROS EN EMPRESA DEL SECTOR SOLIDARIO**

---

Figura 1. Tiempo de atención estándar por cajero frente a los promedios del sector y la cooperativa	128
Figura 2. Santander: tasa de arribo por semana de enero de 2018	131
Figura 3. Santander: tasa de arribo por semana de febrero de 2018	132
Figura 4. Santander: tasa de arribo por semana de marzo de 2018	132
Figura 5. Santander: tasa de arribo por semana de abril de 2018	132
Figura 6. Santander: tasa de arribo por semana de mayo de 2018	133
Figura 7. Santander: tasa de arribo por semana de junio de 2018	133
Figura 8. Santander: número de turnos enero-marzo de 2018	134
Figura 9. Santander: número de turnos abril-junio de 2018	134
Figura 10. Palmira: tasa de arribo por semana de enero de 2018	135
Figura 11. Palmira: tasa de arribo por semana de febrero de 2018	135
Figura 12. Palmira: tasa de arribo por semana de marzo de 2018	135
Figura 13. Palmira: tasa de arribo por semana de abril de 2018	136
Figura 14. Palmira: tasa de arribo por semana de mayo de 2018	136
Figura 15. Palmira: tasa de arribo por semana de junio de 2018	136
Figura 16. Palmira: número de turnos enero-marzo de 2018	137
Figura 17. Palmira: número de turnos abril-junio de 2018	137
Figura 18. Santander: distribución de llegada en la jornada de la mañana	138
Figura 19. Santander: distribución de llegada en la jornada de la tarde	138
Figura 20. Santander: distribución de tiempos de servicio del cajero 1	139

Figura 21. Santander: distribución de tiempos de servicio del cajero 2	139
Figura 22. Santander: distribución de tiempos de servicio del cajero 3	139
Figura 23. Santander: distribución de tiempos de servicio del cajero 4	140
Figura 24. Escenario 1: sin aumento en el número de cajeros	140
Figura 25. Escenario 2: con un cajero adicional	141
Figura 26. Escenario 3: sin cajeros adicionales, pero con cualificación de los cajeros	143

---

# Acrónimos

---

## MODELO PARA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS COMERCIALES DE ENERGÍA CON UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LAS ZONAS ESPECIALES DE CALI

---

API	Application Programming Information
AHP	Asentamientos Humanos Precarios
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CDP	Certificado de Disponibilidad Presupuestal
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
DNP	Departamento Nacional de Planeación
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energía Renovable
FOES	Fondo de Energía Social
GD	Generación Distribuida
HSP	Hora Solar Pico
MPPT	Maximum Power Point Tracker
PCH	Pequeñas Centrales Hidroeléctricas
PLC	Power Communication Line
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
PR	Periodo de Recuperación
SFV	Solar FotoVoltaica
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética

---

**METODOLOGÍA PARA MEJORA DE LOS PROCESOS DE UNA UNIDAD DE IMÁGENES  
DIAGNÓSTICAS EN UNA CLÍNICA DE CALI**

---

FHSV	Fundación Hospital San Vicente
FIFO	First In First Out
HUS	Hospital Universitario de La Samaritana
IPS	Instituciones Prestadoras de servicios de Salud
IUPUI	Indiana University – Purdue University Indianapolis
JIT	Just In Time
MIAS	Modelo Integral de Atención en Salud
Minsalud	Ministerio de Salud y Protección Social
NVA	No Valor Agregado
OUH	Odense University Hospital
PAMEC	Programa de Auditoría para el MEEljoramiento Continuo de la calidad en la atención en salud
PQR	Peticiones, Quejas y Reclamos
RMI	Resonancia Magnética
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers
SMED	Single Minute Exchange of Die
SSFHS	The Sisters of St. Francis Health Services
TAC	Tomografía Axial Computarizada
TC	Tomografía Computarizada
UID	Unidad de Imágenes Diagnósticas
VA	Valor Agregado

---

**METODOLOGÍA PARA MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA Y PRODUCTIVIDAD  
EN LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS FINANCIEROS EN EMPRESA DEL SECTOR SOLIDARIO**

---

PIB	Producto Interno Bruto
SFC	Superintendencia Financiera de Colombia
Supersolidaria	Superintendencia de la Economía Solidaria
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
TMO	Tiempo Medio Observado



# Presentación

El suministro de energía a las áreas marginales de las grandes ciudades se ha convertido en un grave problema para las administraciones municipales. Es común que sus habitantes tomen ilegalmente el servicio, desviando cables, y realicen conexiones domiciliarias lejanas a los estándares de la industria. Cortocircuitos e inestabilidad en el voltaje suministrado –incluso para quienes la reciben legalmente– es el efecto claro en el servicio para las familias; importantes pérdidas económicas, derivadas de la no facturación de la energía robada y el costo de los mayores esfuerzos requeridos en mantenimiento de las redes, lo es para las empresas proveedoras. El problema es de tal magnitud que amenaza incluso con la inviabilidad de las empresas proveedoras del servicio– como ha ocurrido en la costa norte colombiana–.

“Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali” ofrece una alternativa novedosa, donde a partir de la instalación de un sistema solar fotovoltaico robusto, desarrollado en alianza comunidad–gobierno–empresa, no solo se resuelve el problema de las pérdidas de energía y su impacto financiero, sino que se logra suministrar energía legal a la comunidad y generar excedentes. Su importancia radica en que esta experiencia es fácilmente replicable en otras áreas marginales latinoamericanas.

“Metodología para mejora de los procesos de una unidad de imágenes diagnósticas en una clínica de Cali”, el segundo capítulo de este libro, representa la aplicación de los principios de manufactura liviana al sector salud. Sus autores identificaron un cuello de botella de impacto general: la unidad imágenes diagnósticas de una clínica, la cual presentaba retrasos de más de diez horas en la entrega de resultados –respecto del estándar–, y con

## Presentación

ello: afectaba el desempeño de sus clientes internos, las unidades médicas que requerían sus servicios; retrasaba el inicio de protocolos de atención a los pacientes, es decir, demoraba el inicio de la atención a sus problemas de salud; y generaba insatisfacción en ambos. Cabe decir que esta unidad es crítica pues en ella se realizan: mamografías, escanografías, endoscopias, ecografías y rayos X, cuyos resultados son un insumo fundamental para la toma de decisiones de los especialistas.

Se desarrolló una metodología Lean Healthcare como propuesta de mejoramiento continuo usando DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) como proceso lógico de implementación y herramientas Lean para la detección de desperdicios y el diseño eficiente de procesos. Su aplicación mostró frutos inmediatos con reducciones importantes en los tiempos de entrega –que se espera sigan mejorando–. La metodología formulada no es válida solo para esta unidad, por lo que se espera su aplicación en otras áreas de servicio de la entidad y con ello la obtención de importantes beneficios para la entidad, sus médicos y sus clientes.

El libro cierra con “Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en una empresa del sector solidario”, investigación en la que se aplican con éxito algunos principios propios de las empresas de producción, tales como la medición y optimización de la capacidad instalada, para mejorar la productividad de las agencias de una cooperativa financiera.

Como resultado del trabajo realizado se obtuvo y probó un método de cuatro pasos y unas herramientas para abordarlos: definición del tiempo estándar de atención en caja; definición de la capacidad instalada, la ocupación del cajero y la productividad; análisis del tiempo de espera en cola y caracterización del patrón de arribo de usuarios; y validación de escenarios por medio de la simulación. Los primeros resultados de su aplicación son prometedores, por lo que se espera que sirvan de estímulo para su aplicación en otras áreas de la entidad, y con ello para una mejora de la eficiencia de la entidad en su conjunto.

José Ignacio Claros V.  
Editor

# MODELO PARA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS COMERCIALES DE ENERGÍA CON UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LAS ZONAS ESPECIALES DE CALI

Ulises Caicedo Espinosa, MSc.

Óscar Rubiano Ovalle, Ph.D

## **Citación**

Caicedo, U. & Rubiano, O. (2020). Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali. En *Bitácoras de la maestría*, vol. 5, *Energía solar - Lean healthcare - Productividad* (pp. 25-65). Universidad Icesi.



---

## RESUMEN

---

Es común que los habitantes de las áreas de bajos ingresos en Colombia recurran a mecanismos como la instalación de conexiones directas para desviar la electricidad a sus hogares y así acceder a la electricidad sin pagarla. Esto, además de los riesgos de electrocución, cortocircuitos e incendios repentinos por las fluctuaciones de tensión que supone, se ha convertido en un factor crítico en el cálculo de las pérdidas comerciales de energía. En Cali, la electricidad adquirida por estos medios alcanzaría para abastecer a un municipio de alrededor de 50.000 habitantes. Dado que las medidas empleadas han mostrado su ineficacia tanto para reducir las pérdidas de energía como para formalizar el acceso a ella, se propone un modelo basado en el uso de energía solar fotovoltaica, desarrollado en alianza comunidad-gobierno-empresa, que aprovecha el marco legal sobre subsidios e incentivos fiscales para garantizar su viabilidad financiera. La investigación muestra que sí es posible desarrollar un modelo de este tipo, de hecho, el modelo propuesto no solo cubre las expectativas, sino que impacta favorablemente a las finanzas de la empresa que presta el servicio en la zona. El modelo, si bien se diseñó para una zona en particular es replicable en entornos similares.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con un informe del Banco Interamericano de Desarrollo [BID] (Jiménez et al., 2014), en América Latina se pierde el 17% de la electricidad generada; 80 % de estas pérdidas se presenta durante la distribución. Las pérdidas no técnicas de energía incluyen las pérdidas sociales y comerciales, las que a su vez se relacionan con procesos ineficientes en los sistemas de medición, recaudo, facturación y administración. Estas pérdidas, agrega el informe del BID, afectan el sector energético y limitan el progreso de las regiones al reducir los recursos disponibles para inversión, sobre todo en lugares marginados. La situación es especialmente alarmante si se observa la tendencia de las tres últimas décadas, la cual muestra cómo la región ha empeorado su ratio. De acuerdo con el informe citado, el “incremento en los niveles de pérdidas podría estar vinculado con una inversión insuficiente en la infraestructura para hacer frente al dinámico crecimiento de las ciudades latinoamericanas” (p. 24). La variación del problema entre los países de la región se da en un rango muy amplio: mientras Haití pierde la mitad de la electricidad que genera, en Trinidad y Tobago la cifra escasamente supera el 6%. En todo caso, solo seis de los veintiséis países que conforman la región se pueden considerar libres de este problema: Trinidad y Tobago, Barbados, Perú, Surinam, Chile y Costa Rica, lugares donde las pérdidas de electricidad son inferiores al 10%. La electricidad no facturada desestimula la formación de hábitos de ahorro de energía en el consumidor final, lo que a su vez incrementa la demanda y afecta al medio ambiente.

Emcali es la prestadora de los servicios de energía, acueducto, alcantarillado y telecomunicaciones en buena parte de la ciudad de Cali, cubre, entre otras, las zonas especiales, áreas de bajas ingresos ubicadas en la periferia de la ciudad (FIGURA 1). En ellas, sus habitantes han ideado diversos mecanismos para acceder a la electricidad de manera gratuita, tales como la instalación de conexiones directas para desviar la electricidad a los hogares y negocios de los residentes, conexiones que por su calidad elevan los riesgos de electrocución, cortocircuitos e incendios repentinos por las fluctuaciones de tensión. Esta situación es además un reflejo de la poca presencia del Estado y de su incapacidad para suplir las necesidades en materia de servicios públicos domiciliarios en los barrios más pobres. El uso generalizado de conexiones ilegales se convirtió en un factor crítico de las pérdidas comerciales de energía y las cifras van en aumento. Para facilitar la comparación, la electricidad robada a Emcali en las

## Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali



**Figura 1. Ubicación de las zonas especiales de Cali**

zonas especiales equivale al consumo de Puerto Tejada o Yumbo, municipios con algo más de cuarenta mil habitantes.

Las fallas de los circuitos por donde viaja la corriente robada afectan a otros usuarios del entorno que sí tienen sus servicios normalizados. Esto genera problemas para Emcali por las quejas constantes y las demandas de personal para atenderlas y el aumento de los costos administrativos. En estas zonas, la empresa debe enfrentar además retos importantes, como la facturación y su recaudo, porque las condiciones de seguridad en estas zonas impiden la entrega de las facturas. El problema se agrava porque se trata de sectores precarios en donde confluyen aspectos relacionados con la extrema pobreza, tales como la cultura del no pago, la inseguridad, el mal uso del servicio, la falta de oportunidades en empleo, la educación y el desplazamiento forzado generado por el conflicto armado. Esta problemática ha propiciado el aumento de las pérdidas comerciales de energía, lo que ha afectado al flujo de caja de la empresa y reducido notablemente su capacidad de realizar inversiones en infraestructura y mejorar así las condiciones del servicio.

Dado que las políticas regulatorias para el control de las pérdidas comerciales en las zonas especiales de la ciudad no han sido suficientes, no han facilitado su control y seguimiento, a partir de 2012 se ha venido trabajando en mejorar la normatividad, por lo que se deben presentar propuestas que permitan

la solución del problema. Sin embargo, si bien el control de las pérdidas comerciales que se presentan en dichas zonas es un problema relevante para Emcali, en la actualidad la empresa no cuenta con un modelo eficiente que le permita reducirlas, su valor supera los mil quinientos millones de pesos por mes, repartidos en diecisiete sectores, siete de los cuales concentran el 80% de ese monto (Caicedo, 2019).

Las estrategias empleadas para el control y seguimiento de las pérdidas comerciales en las zonas especiales no ha dado los resultados esperados porque se utilizan mecanismos similares a los usados para un servicio normalizado, es decir, un contrato de condiciones uniformes que no aplica para este tipo de usuarios, quienes se regulan por otra norma y presentan barreras de tipo social, económico y ambiental, que ameritan un cambio hacia un modelo de intervención que se ajuste a sus condiciones y permita generar rentabilidad social, económica y ambiental.

La generación de energía con fuentes no renovables –y sus altos índices de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de gas metano (CH<sub>4</sub>)–, ha propiciado una afectación severa al medio ambiente y motivado la realización de esfuerzos para mejorar la matriz energética. El Gobierno, mediante la ley 1715 de 2014 y la resolución 030 de 2018 promueve el uso de energías renovables –como la Solar FotoVoltaica [SFV]–, con estímulos como el descuento en el impuesto a la renta (50 %), la exención del IVA (19 %) y la depreciación acelerada (20 %) por la compra de elementos y equipos para la generación de energía con Fuentes No Convencionales de Energía Renovable [FNCER]; y designó como coordinadoras a la Comisión de Regulación de Energía [CREG] y a la Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], ambas adscriptas al Ministerio de Minas y Energía.

Si bien existen variables que son difíciles de controlar, como los efectos del conflicto armado –que a pesar de los esfuerzos del Gobierno, sigue generando actos de violencia y desencadenando desplazamientos masivos hacia sectores como las zonas especiales–, otras variables sí se pueden controlar. Estas últimas tienen que ver con el modelo propuesto, el cual se enfoca en dos aspectos esenciales: la reducción de las pérdidas comerciales utilizando fuentes renovables de energía –como el Sol, que no tiene costo–, y la generación de ingresos para los interesados.

El modelo propuesto se basa en el uso de energía SFV y permite desarrollar una alianza comunidad–gobierno–empresa para reducir las pérdidas de la empresa



a la vez que se mejora la calidad de vida de los usuarios; toma como base jurídica la ley 1715 de 2014 y su resolución reglamentaria 030 de marzo 28 de 2018, las cuales permiten crear pequeñas empresas de generación de hasta 0,1 MW de energía, Generación Distribuida [GD], y obliga a las empresas de servicios públicos a comprar los excedentes de energía de su proceso de generación.

Esta investigación se realizó con el fin de proponer un modelo para reducir las pérdidas comerciales de energía con un sistema de energía SFV en las zonas especiales de la ciudad, para lo cual: determinó las pérdidas comerciales de energía en dichas zonas; revisó los métodos utilizados en la generación, transmisión, distribución y uso de la energía SFV; desarrolló un modelo para diferentes escenarios; y validó la propuesta.

## **MARCO TEÓRICO**

### **PÉRDIDAS COMERCIALES DE ENERGÍA**

Se definen como la diferencia entre la energía comprada y la energía vendida y se clasifican en pérdidas no técnicas y técnicas. Las no técnicas son aquellas que se dan por conexiones ilegales, fraudes de energía y procesos deficientes de facturación; las técnicas se dan por el proceso de transporte y distribución, por calentamiento natural de los equipos –transformadores y conductores– instalados en la red que transportan la energía eléctrica desde los centros de generación hasta el abonado. La defraudación del fluido ocasiona que la empresa comercializadora compre más energía para satisfacer la demanda, lo que aumenta sus costos.

### **SISTEMA DE MEDICIÓN CENTRALIZADA CON ENFOQUE DE RED INTELIGENTE**

La industria eléctrica está llamada a su transformación, a la evolución desde una red centralizada a una red derivada con mayor interacción por parte del consumidor, concepto en el que entra en juego la promesa de las redes inteligentes (smart grids): cambiar el modelo de negocio y su relación entre todos sus integrantes, desde las empresas eléctricas hasta el consumidor final.

El sistema de medición centralizada permite monitorear en tiempo real el consumo de energía eléctrica, vigilar la manipulación de equipos y gestionar la conexión de los clientes del servicio de energía eléctrica; es un sistema remoto compuesto por un software que se instala en un centro de control, cuenta con sus

propios transformadores de distribución y cajas de control de usuarios, utiliza generalmente para la comunicación tecnología PLC [Power Communication Line] y sirve para la detección de las pérdidas de energía eléctrica, la conexión y desconexión de servicios, la lectura remota de consumos y la gestión de alarmas e intentos de fraude en la medición. Para un sistema inalámbrico se instala un módulo de medida de espejo con la medida tradicional del cliente, el cual se comunica de manera inalámbrica a un equipo recolector de parámetros eléctricos ubicado en el transformador de distribución que utiliza una comunicación celular o de microondas y envía los datos a un servidor central para su análisis y gestión.

#### **SISTEMA DE LIMITACIÓN DE CORRIENTE**

Es un sistema inalámbrico que funciona con el mismo principio de las redes inteligentes, pero se diferencia de ellas en que realiza la intervención de la corriente electrónicamente, es decir, tiene la capacidad de controlar la cantidad de corriente que le llega al cliente. Si a un usuario, por ejemplo, le colocan 10 amperios y conecta equipos o electrodomésticos que superan esa corriente, el sistema lo desconecta hasta que se elimine la causa del problema. Mientras eso no ocurra, estará sin energía. Sirve para el control en transformadores de distribución delimitando la carga total para un grupo de usuarios. Esta tecnología la implementó Emcali por primera vez en 2007 y actualmente la utiliza para el control de usuarios en zonas especiales.

#### **SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

La energía eléctrica para uso en ámbitos doméstico e industrial se genera en plantas o estaciones de generación eléctrica que actúan como cualquier otra industria. Estas estaciones se configuran de acuerdo con el tipo de fuente que utilizan para la generación eléctrica, así no tendrán la misma configuración una planta de ciclo combinado de gas que una planta hidroeléctrica en la que la fuente utilizada es la energía cinética aportada por saltos de agua.

La plantas de generación eléctrica se ubican lejos de los centros urbanos, primordialmente por seguridad, debido a la necesidad de eliminar los residuos ocasionados en su actividad y el gran espacio que requieren para su implementación. Por su ubicación distante de los centros de distribución de los núcleos urbanos, se requiere que la energía generada tenga suficiente potencia para que se pueda distribuir sin problemas de pérdidas y falta de potencia.

Existen varios tipos de centrales eléctricas dependiendo del combustible utilizado como energía primaria. Las fuentes energéticas más usadas en las centrales son térmicas, nucleares e hidráulicas. Las centrales térmicas incluyen las plantas energéticas accionadas mediante el calor proporcionado quemando carbón. Para generar corriente eléctrica se utiliza el calor generado para calentar agua hasta producir vapor, este vapor hace girar una turbina y ella un alternador a través del cual se genera energía eléctrica. El lugar donde se produce la combustión en las centrales térmicas recibe el nombre de caldera. Si bien las centrales térmicas convencionales utilizan como fuente de energía primaria un combustible fósil –gas, carbón o un derivado del petróleo–, dentro de este tipo también caben las centrales termoeléctricas solares, cuyo combustible primario es la biomasa o de residuos sólidos urbanos.

Las centrales nucleares tienen un esquema de funcionamiento similar al de las centrales térmicas, solo que los combustibles utilizados son elementos radiactivos como el uranio y el plutonio. El lugar donde se produce la combustión en las centrales nucleares recibe el nombre de reactor nuclear. La energía generada en las centrales nucleares se consigue mediante la fusión controlada de los elementos radiactivos dentro del reactor nuclear. En este proceso se crea una gran cantidad de energía térmica que es utilizada para calentar agua, cuyo vapor mueve una turbina que a su vez hace girar un alternador, convirtiendo esta energía mecánica en energía eléctrica, en un proceso similar al utilizado en las centrales térmicas.

En las centrales hidroeléctricas la energía primaria utilizada es la energía cinética almacenada en el agua en movimiento, por lo que se constituye en un tipo de energía renovable. Se aprovecha el desnivel que presenta el agua en los embalses y ríos o el movimiento presente en el agua del mar para accionar turbinas hidroeléctricas que se conectan al eje de un alternador, lo que genera una diferencia de potencial y con ello la corriente eléctrica, como en el caso de las centrales eléctricas.

Según el estado del agua empleada, una central hidroeléctrica puede ser de agua fluyente, que aprovecha para su cometido la fuerza natural de un río para generar energía eléctrica, o de embalse, que precisa de tuberías de alta presión para conseguir la energía hidráulica del agua en reposo. Si bien las segundas son más costosas, son también más útiles porque permiten obtener energía durante todo el año, lo que hace que sean el tipo más utilizado.

Otra manera de clasificar las centrales hidroeléctricas es según la altura de la caída del agua. Una caída de más de doscientos metros corresponde a una central de alta presión, mientras que una de solo cuatro metros de altura corresponde a una de muy baja presión. A menor caída, mayor requerimiento de equipamiento técnico para conseguir los mismos resultados.

Otra forma de aprovechar la energía renovable para la producción de energía eléctrica, en este caso del viento, son los parques eólicos situados en el mar, conocidos internacionalmente como Offshore. Si bien se trata de una tecnología aún en fase de desarrollo, ya países del primer mundo, como Reino Unido y Dinamarca, le han apostado fuertemente.

Los sistemas de generación de energía geotérmica, por su parte, aprovechan la energía que se almacena en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la tierra. El calor contenido en las rocas y los suelos es demasiado difuso para ser extraído directamente en forma económica, por lo que es necesario disponer de un fluido, generalmente agua, para transportar el calor hacia la superficie en forma concentrada mediante sondeos, sondas geotérmicas, colectores horizontales o intercambiadores de calor–tierra aire enterrados a poca profundidad en el subsuelo (Llopis & Rodrigo, 2008).

El calor terrestre es una fuente duradera para la producción de calor y electricidad que no depende de las condiciones climatológicas, de la estación anual, del momento del día ni del viento, la diversidad de temperaturas de los recursos geotérmicos permite un gran número de posibilidades de utilización y representa un respuesta local, ecológica y eficiente para reducir los costos energéticos. Los recursos geotérmicos de alta temperatura (más de 100-150°C) se utilizan para generar energía eléctrica, mientras que aquellos con temperaturas menores son óptimos para los sectores industrial, de servicios y residencial (Llopis & Rodrigo, 2008).

También se puede producir energía eléctrica en una central de generación con biomasa mediante un proceso de gasificación o combustión y obtener potencias de hasta 50 MW. Las centrales de Biomasa utilizan recursos biológicos y obtienen energía mediante un proceso similar al de las centrales térmicas. Las diferencias radican en que previo a la combustión hay un proceso de selección y clasificación de los residuos forestales.

Por su parte, la tecnología SFV consiste en la conversión directa de la radiación del Sol en electricidad que se realiza a través de la célula solar, unidad básica

## Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali

en la que se produce el efecto fotovoltaico. Este proceso de generación de electricidad renovable no contamina, no emite gases nocivos, requiere mínimo mantenimiento, no genera ruidos ni desperdicios y su instalación en residencias e industrias es sencilla.

Los generadores fotovoltaicos poseen dos características que los diferencian de otras fuentes de energía renovable: únicamente producen electricidad cuando reciben la luz del Sol (irradiancia solar) y la cantidad de energía que generan es directamente proporcional a la irradiancia solar que incide sobre su superficie. La energía SFV está indicada para un amplio abanico de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de la red eléctrica –sistemas autónomos– o para generar energía a la red eléctrica –sistemas conectados a la red– (Abella, 2001).

Mediante los SFV autónomos se puede cubrir una determinada demanda eléctrica en lugares remotos aislados de la red eléctrica, ahí resultan competitivos frente a los sistemas convencionales tanto en términos económicos como de fiabilidad de suministro. Los sistemas aislados, por su parte, captan la energía solar mediante paneles solares fotovoltaicos y almacenan la energía eléctrica generada por los mismos en baterías; utilizando sistemas de este tipo es posible disponer de electricidad en lugares alejados de la red de distribución eléctrica y abastecer de electricidad a instalaciones ganaderas, casas de campo, refugios de montaña, sistemas de iluminación o balizamiento. Los sistemas fotovoltaicos autónomos se componen de módulos o paneles solares, un regulador, baterías, inversor y la carga en DC o consumo en continua o AC consumo en alterna.

En el caso de los sistemas conectados, la energía eléctrica generada se inyecta directamente a una red de distribución eléctrica. Cabe recordar que las compañías distribuidoras de energía eléctrica (las dueñas de las redes) están legalmente obligadas a comprar la energía inyectada a su red por las centrales fotovoltaicas a un precio también regulado por ley.

Este tipo de centrales fotovoltaicas pueden ser: pequeñas instalaciones de 1 a 5 kW ubicadas en la terraza o el tejado de una casa; instalaciones de 100 kW ubicadas sobre cubiertas de naves industriales o en suelo; e incluso plantas de varios megavatios. Actualmente se están desarrollando las llamadas huertas solares, que consisten en la agrupación de varias instalaciones de distintos propietarios en suelo rústico. Estas instalaciones pueden ser fijas o con seguimiento, en este último caso, sus paneles están gobernados por unos

controladores que se mueven siguiendo el recorrido del sol para optimizar la producción de electricidad. Un SFV conectado se compone principalmente de los paneles solares, el inversor, un regulador, un medidor para el registro de la energía entrante y saliente, la carga y el sistema de red del distribuidor de energía.

Existen también: sistemas híbridos de energía SFV, que son una combinación de los sistemas aislado y conectado a la red y usan un inversor; y modelos con el MPPT [*Maximum Power Point Tracker*], en el cual el inversor dispone de un software de programación avanzada en donde se configuran los parámetros requeridos.

Para finalizar, cabe precisar que el concepto de FNCER se refiere a aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o se usan de manera marginal y, por ello, no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCER a la biomasa, a los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, el viento, el calor de la tierra, el Sol y el mar. En Colombia, los FNCER son definidos como tal por la UPME.

## **ANTECEDENTES**

### **MARCO LEGAL**

La ley 1715 de 2014 sienta las bases legales para la implementación de las energías renovables y su integración al sistema energético nacional. Su objetivo es promover el desarrollo y la utilización de estas fuentes en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos, como un medio necesario para lograr: el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con esta ley se busca también promover la gestión eficiente de la energía y fomentar la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía. Esta ley se complementa con el decreto 2143 de 2015 que establece los lineamientos para la aplicación de incentivos definidos en ella.

En un taller realizado en el Ministerio de Minas y Energía, la CREG (2017) socializó su resolución 121 de 2017 y presentó: el contexto y las propuestas de integración; el proceso de conexión; y el modelo de comercialización y remuneración de los excedentes de energía. Incluyó además el modelo matemático

para la aplicación y cálculo de los excedentes de energía y de los incentivos para los usuarios con procesos de generación distribuida menores a 0.1 MW/mes.

Por su parte, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD], mediante el concepto SSPD-OJ-2009-066 estableció la normativa para clasificar a las zonas especiales según su nivel de riesgo ambiental y confirmó la obligación del Estado para buscar soluciones a la problemática de servicios públicos, vivienda y demás condiciones de vida, de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial [POT], pero limitada a aquellas zonas especiales en donde no existe alto riesgo o este es mitigable.

A nivel local, con el Acuerdo 0411 de 2017 el Consejo Municipal de Cali presentó su política de mejoramiento integral del hábitat de los Asentamientos Humanos Precarios [AHP], con la cual regula sus aspectos urbanísticos, con énfasis en políticas de desarrollo socioeconómico. Tiene como objetivos específicos: promover una eficiente acción de la Administración Municipal para atender, intervenir y mejorar los AHP; crear un marco normativo diferencial para ajustar la norma a la realidad de los AHP; priorizar territorios de intervención y desarrollar programas y proyectos de mejoramiento integral del hábitat para que los territorios alcancen las condiciones urbanísticas constructivas requeridas por las normas vigentes y dinamicen su economía local; hacer el seguimiento, control y vigilancia para evitar la formación de nuevos AHP en zonas no aptas para urbanizar; y capacitar a la comunidad acerca del impacto de los AHP en zonas de riesgo o de importancia ambiental.

Otros documentos legales relacionados con la FNCER son: las resoluciones 045 de 2016, 143 de 2016, 520 de 2007 y 638 de 2007 de la UPME, que describen los lineamientos y formatos necesarios para el registro ante ella de los proyectos que busquen unirse al Sistema Interconectado Nacional [SIN]; la resolución 030 de 2018 de la CREG, que regula las actividades de autogeneración en pequeña escala y de generación distribuida en el SIN; y el decreto 111 de 2012, que reglamenta el subsidio del Fondo de Energía Social [FOES] para las zonas especiales y establece los esquemas diferenciales de prestación del servicio y el suscriptor comunitario.

## **CONSULTORÍAS ESPECIALIZADAS**

Carbon Trust et al. (2015) presentó un análisis económico y una evaluación costo-beneficio de los mecanismos, herramientas y estrategias para la promoción

de las FNCER, incluyendo los diferentes escenarios para cada tecnología (SFV, eólica, geotérmica, biomasa y biogás) considerando las externalidades, algo que usualmente no se toman en cuenta en los análisis de rentabilidad de los proyectos. El documento es útil para sustentar el análisis económico de las FNCER –con y sin incentivos–, y para entender la importancia de externalidades como la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, la creación de empleos y la aplicación de subsidios para la generación de energía solar fotovoltaica. El informe concluye que la ley 1715 de 2014 es una inversión muy rentable para Colombia.

Asimismo, Ernest & Young (2019), por encargo del Departamento Nacional de Planeación [DNP], evaluó los resultados de la política de servicios públicos domiciliarios, específicamente de energía eléctrica, en Colombia. Su trabajo se centró en el desempeño de las empresas prestadoras del servicio y en los factores comportamentales clave en la relación entre las empresas prestadoras del servicio y los usuarios. Esta investigación profundiza en el análisis de los factores incidentes en materia de servicios públicos y en la caracterización de la interacción usuario–empresa, con lo que enriquece el análisis de pérdidas de energía y su relación con el entorno, con énfasis en las condiciones que inciden en la morosidad y pérdidas no técnicas. Al final, a partir de sus hallazgos, propone alternativas para superar las dificultades encontradas.

## LA ACADEMIA

Ladino (2011) en un estudio realizado con el método del caso en la vereda de Carupana (Taumamena, Casanare) exploró las características sociales, ambientales, económicas y de política en relación con el uso de la energía SFV y su incidencia en el desarrollo rural, y mostró cómo el aprovechamiento de esta energía es un medio de desarrollo social y económico en una comunidad de bajos ingresos; Benito y Ruiz (2018), por su parte, analizaron la relación beneficio–costo de un sistema solar fotovoltaico, comparando los sistemas aislado e interconectado, considerando datos de consumo energético y de cantidad de radiación solar, así como la evaluación de los impactos ambientales y los indicadores financieros asociados a cada uno de ellos, y mostraron que el sistema aislado es más costoso, ya que incluye baterías para la acumulación de energía y requiere de mantenimiento permanente; Espitia (2017), asimismo, preparó una guía metodológica para la implementación de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala, que con pequeños ajustes puede ser útil a una diversidad de proyectos de este tipo.



Rodríguez (2010) presentó un plan de mercadeo que permite visualizar y conocer a fondo el problema del hurto de energía en los estratos 1, 2 y 3 de Bogotá, dirigido a controlar dichas pérdidas aplicando estrategias comerciales. El autor recomienda: realizar planes de transformación cultural en comunicación y educación y planes de inversión preventivos y correctivos que permitan disminuir los índices de pérdidas no técnicas de energía, y trabajar en acercamientos con la Alcaldía Distrital para llegar a acuerdos que permitan la legalización y posterior normalización de los usuarios ubicados en zonas de alto riesgo, zonas rojas y barrios subnormales (aunque reconoce que algunas pérdidas no son gestionables dada la problemática social y legal). Su investigación permite mejorar temas estratégicos de mercadeo apuntando a la gestión en barrios que no se encuentran en alto riesgo ambiental y con posibilidad de expedición de la regularización vial por parte de Planeación Municipal.

A nivel internacional, Miranda (2016) aplicó metodologías confiables para proyectos de centrales fotovoltaicas de baja potencia destinados a viviendas típicas ubicadas en diversas ciudades de Chile, su aporte consiste en definir un método para la evaluación económica de la propuesta presentada en las zonas especiales conectadas a la red de energía (no tiene en cuenta sistemas aislados); un detalle que le da relevancia a su trabajo es que la ley 20571 chilena es similar a la ley 1715 de 2014 colombiana. En el mismo país, Bustamante (2009) rediseñó el proceso de control de pérdidas de energía eléctrica usando el transformador de distribución como eje articulador en la gestión de las pérdidas no técnicas de energía, buscando con ello la optimización del proceso. Su trabajo presenta la optimización de procesos mediante la tecnología Seis Sigma, con aporte hacia la mejora continua, considerando para ello el uso de tecnologías que minimizan el tiempo de control y seguimiento.

## **EL PROYECTO**

Se contextualizó la demanda alrededor de los grupos de allegados organizados del barrio Brisas de las Palmas, ubicado al oriente de la ciudad, en donde sus moradores han expresado el deseo de integrarse al proyecto con el fin de obtener ingresos y su disposición a suscribir el acuerdo comunitario que define los derechos y deberes de las partes. En total son 568 usuarios que consumen 103.800 kWh/mes. En la zona (ver FIGURA 2) se destaca la presencia de la Institución Educativa Isaías Duarte Cancino, el Hospital Isaías Duarte



**Figura 2. Zona de influencia del proyecto**

Cancino y la subestación eléctrica de Emcali del distrito de Aguablanca. El escenario de aplicación del proyecto es ideal porque es posible aumentar el área de instalación de los paneles solares y por su cercanía a la subestación eléctrica.

El proyecto consiste en una planta solar de 2,18 MW conectada a la red eléctrica, conformada por 10.416 paneles fotovoltaicos y seis inversores, sin almacenamiento en baterías. Se decidió hacer la instalación de los paneles en la institución educativa por dos razones: una técnica, las viviendas de la zona tienen problemas estructurales y por ello no hay seguridad de que puedan soportar el aumento de peso; y otra práctica, garantizar la seguridad y preservación de los equipos. En la visita realizada al sitio propuesto se pudo observar que la institución educativa y su entorno, tienen un potencial grande para desarrollar este tipo de proyectos que benefician tanto a la comunidad como a la empresa y a las instituciones oficiales, y que su estructura física (ver FIGURA 3) es adecuada y requiere pocas inversiones para el desarrollo del proyecto.

Cabe mencionar que la mayoría de instituciones públicas de educación media presentan cartera morosa por servicios públicos, por lo que la implementación de proyectos de este tipo puede resultar, no solo un gran alivio para las finanzas de los entes responsables, sino nuevos recursos para aumentar las inversiones en educación. Se podría lograr incluso que los centros educativos sean autosostenibles.



**Figura 3. Edificio 1 de la institución educativa Isaías Duarte Cancino**

Los cálculos para el análisis financiero del proyecto se realizaron tomando como base el trabajo de Benito y Calderón (2018). Los costos asociados con la implementación del sistema son de alrededor de once mil quinientos millones de pesos (Caicedo, 2019, Tabla 5); para efectos del análisis se tomó en consideración al paquete de incentivos previstos en la legislación colombiana citado en los antecedentes de este documento. El resultado final (Caicedo, 2019, Tabla 7) muestra los siguientes indicadores: una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 120,61 %; una relación Beneficio / Costo (B/C) de 2,15; y un Periodo de Recuperación [PR] de 0,9.

### **DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO**

La irradiación solar se define como la energía que proviene del sol y viaja por medio de ondas electromagnéticas a través de la atmósfera hasta llegar a la superficie de la tierra. Se mide en kWh/m<sup>2</sup>/día, en Colombia la irradiación solar promedio es de 4 a 5 kWh/m<sup>2</sup>/día, valor que permite un buen funcionamiento de los paneles solares durante el año. En la FIGURA 4 se presentan los datos meteorológicos de irradiación solar para Cali, los valores corresponden a la radiación solar incidente en un plano horizontal para un día medio de cada mes, con un ángulo de inclinación de 15° respecto de la horizontal. La irradiación solar promedio es de 4,09 kWh/m<sup>2</sup>/día. Para el cálculo de la cantidad de Horas Solar Pico [HSP] (ECUACIÓN 1) se divide la irradiación solar incidente entre la irradiación que se utiliza para calibrar los módulos fotovoltaicos (1kW/m<sup>2</sup>). El resultado de esta operación se puede apreciar también en la FIGURA 4 (en este caso, los valores son los mismos, solo cambia la unidad de medida). El

$$HSP = \frac{\text{irradiación solar del mapa para Cali}}{1 \text{ kW (m}^2)} = 4,14 \quad (1)$$



**Figura 4. Comportamiento de la irradiación solar en Cali**

concepto de HSP equivale al número de horas que tendría que brillar el sol a una intensidad de 1000W/m<sup>2</sup>, para obtener la insolación total de un día, ya que el sol cambia la intensidad a lo largo del día (Espitia, 2017).

La institución educativa tiene un área total de 34.051 m<sup>2</sup>, de ellos 20.000 m<sup>2</sup> se pueden utilizar para instalar los paneles solares (Caicedo, 2019). Con base en ese valor se calculó el número de módulos fotovoltaicos que podrían ser instalados (ECUACIÓN 2), dividiendo el área disponible (20.000 m<sup>2</sup>) entre el área de cada panel (1,92 m<sup>2</sup>). El resultado, como se anticipó fue 10.416 paneles.

$$\# \text{ de paneles} = \frac{\text{área disponible}}{\text{área de cada panel}} = 10.416 \quad (2)$$

La potencia del arreglo se calculó tomando como base la potencia de cada panel (P<sub>panel</sub> = 280W) y una eficiencia del 75% (ECUACIÓN 3).

$$P(a) = \text{Numero de paneles} \times P_{\text{panel}} \times 75\% = 2187 \text{ kW} = 2,18 \text{ MW} \quad (3)$$

## Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali

El cálculo de la energía que debería producir el sistema se realizó tomando como base los registros de HSP que se mostraron en la FIGURA 4 y la ECUACIÓN (4), donde: EI es la eficiencia del inversor (88%) y ER es la eficiencia del regulador (85%). El resultado indica un promedio mensual del orden de 200.926 kWh/mes (Caicedo, 2019), con mejores datos de producción en los meses con mayor número de HSP (marzo y julio) y lo contrario en los de menor número de HSP (noviembre y diciembre).

$$\text{Cargas AC (Wh/día)} = P(a) \times EI \times ER \times \text{HSP} \times \text{días del mes} \quad (4)$$

En cuanto al dimensionado del inversor, se calculó primero la potencia requerida del inversor (ECUACIÓN 5) y con base en ella el número de inversores de 500W necesario (ECUACIÓN 6).

$$\text{Potencia del inversor} = P_{\text{panel}} \times \# \text{ de módulos} = 2.916.480 \text{ W} = 2.917 \text{ kW} \quad (5)$$

$$\# \text{ de inversores} = \text{Potencia requerida del inversor} / \text{potencia por inversor} = 6 \quad (6)$$

### MODELO DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS COMERCIALES

Para el desarrollo del modelo es necesario primero plantear las ecuaciones definidas por la CREG (2017) con base en la ley 1715 del 2014. La ecuación del Valor de Excedentes [VEX] es una variable contemplada en la ecuación del modelo propuesto para cuyo cálculo se aplica la ECUACIÓN (7) para los casos de Generación Distribuida [GD] –usuarios cuya generación de energía es menor o igual 0.1 MW–, y la ECUACIÓN (8) para un sistema conectado a la red con generación mayor a 0,1 MW.

$$VEX = (Exp1 - Imp) * CU - (Exp1 * C) + (Exp2 * PB) \quad (7a)$$

$$\text{Incentivos} = (Exp1 + Exp2) * 0.5 * (Rr + P) \quad (7b)$$

$$VEX = (Exp1 - Imp) * CU - (Exp1 * (T + D + C + Pr + R)) + (Exp2 * PB) \quad (8)$$

Los parámetros adicionales –parámetros comerciales para la facturación del servicio fijados por la CREG–, son: Precio de bolsa (PB) = \$ 172; costo unitario del servicio (CU) = \$ 455; costo de comercialización (C) = \$ 60; Restricciones

del servicio ( $R_r$ ) = \$ 18,79; Pérdidas técnicas ( $P$ ) = \$10,85; costo de transmisión ( $T$ ) = \$29,65; y costo de distribución ( $D$ ) = 94,65. Todos estos parámetros se detallan en la factura de servicios públicos y se utilizarán más adelante en la presentación de los resultados obtenidos en cada escenario testeado.

Para el diseño de la ecuación del modelo se tomaron diferentes variables que son utilizadas en el proceso de comercialización de energía. La variable Valor de Limitación de Corriente (VLC) resulta del proceso tecnológico de intervención de la corriente desarrollado en las prácticas de campo o experimentales. Es importante resaltar que las variables que componen la ecuación del modelo propuesto resultaron de la necesidad de encontrar una herramienta o método para reducir las pérdidas comerciales de energía en las zonas especiales, se fueron integrando en el desarrollo de las experiencias de campo, teniendo en cuenta que la población intervenida no se rige por un contrato de condiciones uniformes. En la ECUACIÓN (9) se muestran las variables del modelo, mientras que sus componentes se describen en la TABLA 1.

**Tabla 1. Componentes de la ecuación del modelo**

Ítem	Descripción	Observaciones
VSUB	Valor del subsidio de energía	Resulta del proceso comercial de aplicación de subsidios.
VLC	Valor de la limitación de corriente	Energía tomada de la red eléctrica, resulta de las experiencias tecnológicas desarrolladas en campo a través del tiempo. El valor propuesto (25 %) es el máximo definido de manera experimental.
VEX	Valor excedentes de energía	Resulta de las ecuaciones definidas por la CREG.
VIN	Valor de los incentivos	Resulta de las ecuaciones definidas por la CREG para generadores de hasta 0.1 MW de energía fotovoltaica.
VAU	Valor de energía de autoconsumo	Resulta del proceso de generación de energía SFV, no se tiene en cuenta en las ecuaciones de la CREG para el cálculo del VEX.
VET	Valor de las externalidades	Resulta del proceso de generación de energías renovables, es un beneficio en la implementación y uso de las energías renovables.
VPC	Valor de las pérdidas comerciales	Resulta del proceso de comercialización de la energía, está definida en la ecuación del balance de energía.
VCA	Valor de la cartera	Resulta del proceso de comercialización de la energía eléctrica.
MRPCE	Modelo de reducción de pérdidas comerciales de energía	Sumatoria de las variables anteriores.

## Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali

$$MRPCE = (V_{SUB} + V_{LC} + V_{EX} + V_{IN} + V_{AU} + V_{ET}) - (V_{PC} + V_{CA}) \quad (9)$$

Como se evidencia, la ecuación del modelo propuesto resulta de la integración de diferentes variables, de procesos experimentales, de comercialización de energía y beneficios por el uso de energías renovables. En la TABLA 2 se presenta una definición de los conceptos empleados.

**Tabla 2. Definición de conceptos**

Concepto	Definición
Importación de energía (Imp).	Energía tomada de la red eléctrica, es decir, el consumo de energía expresado en kWh.
Limitación de corriente	Valor de limitación de suministro de la importación de energía, este proceso se realiza con tecnología de punta, para reducir el consumo al valor determinado.
Subsidios	Valor subsidiado a los estratos 1 y 2, que oscila entre el 54,5 % y el 68 % de la factura de servicios públicos.
Exportación de energía (Exp 1)	Energía que se genera por el sistema solar fotovoltaico y se inyecta a la red eléctrica, que se cambia por la energía que se toma de la red. En la ecuación del (VEX) el valor de (Exp1) debe ser igual a la importación.
Exportación de energía (Exp 2)	Diferencia entre la importación (Imp) y la exportación (Exp1) pagada al precio de bolsa (PB).
Valor de excedentes	Resultado de aplicar las ECUACIONES (7a) o (8).
Incentivos	Valor entregado por el uso de energías renovables calculado con la ECUACIÓN (7B)
Externalidades	Cuantificación del valor de: la reducción de emisiones de efecto invernadero (CO <sub>2</sub> ); la generación de empleo; los impactos en la salud; los costos de extensión y refuerzo de la red; los costos de las fluctuaciones de energía; y las conexiones a la red.

### MATRIZ DE RIESGOS

La matriz de riesgos es una herramienta que permite identificar actividades empresariales asociándolas a riesgos por tipo y nivel y a factores exógenos y endógenos relacionados con estos riesgos, lo que le facilita a la organización generar un sistema de gestión de riesgos. Para este caso, por ejemplo, tratándose de sectores donde la vulnerabilidad social es alta, es previsible enunciar algunos de tipo económico, como el incumplimiento en el pago de las facturas del servicio debido a los bajos ingresos de los usuarios. Para los riesgos identificados se deben tomar acciones dirigidas a contrarrestar dicha situación, como por ejemplo fomentar fuentes de ingresos para los usuarios

mediante alianzas o, en el peor de los casos, entregar subsidios del Estado que eviten que el problema afecte las finanzas de la empresa prestadora del servicio. Existen variables determinantes en el proceso, como es el caso del recaudo y la cartera. Asimismo, si se pretende generar energía SFV se debe tener un plan de contingencia para cuando la irradiación sea muy baja. La herramienta permite determinar cuáles son los riesgos más relevantes en el proceso de control de pérdidas comerciales de energía eléctrica y evaluar la efectividad de la gestión de riesgos financieros, operativos y estratégicos.

Los riesgos, esto es el efecto de la incertidumbre en los objetivos del proyecto (ISO 31000:2018), su análisis y plan de mitigación se presentan en la matriz de riesgos (ver detalle en el ANEXO 2). Un resumen de ella, que incluye su identificación, junto con sus causas y consecuencias y las acciones de mitigación previstas se presenta en la TABLA 3.

**Tabla 3. Resumen de la matriz de riesgos**

Riesgo	Causas	Consecuencias	Tratamiento
Incumplimiento en el pago de las facturas de energía.	Falta de empleo. Cultura de no pago. Altas tarifas. Consumos excesivos de energía (no hay cultura de ahorro).	Altas pérdidas comerciales. Cartera morosa. Contrabando. Fraudes	Implementar el uso de energías renovables, en especial de la SFV Aplicar la ley 1715 de 2014, generando ingresos mediante la venta de energía y recibiendo los incentivos producto de las exportaciones a la red de energía o matriz energética.  Establecer un plan de trabajo que incluya un cronograma.  Estimular el compromiso de los interesados y realizar control el seguimiento al proceso.
Insuficiente irradiación solar	Fenómeno de La Niña. Deterioro en los paneles solares. Sombras en el entorno. Diseño deficiente del sistema.	Incumplimiento de los contratos de venta de energía.	Control y seguimiento al proceso operativo.  Contar con baterías de respaldo para la acumulación de energía.  Disponer de otras fuentes alternativas de energía como las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas [PCH].



## Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali

**Tabla 3. Resumen de la matriz de riesgos (continuación)**

Riesgo	Causas	Consecuencias	Tratamiento
Incumplimiento o demora en la asignación del presupuesto.	Recortes de presupuesto.	Atraso del proyecto.	Asignar el registro presupuestal.
	Falta de compromiso del funcionario responsable.	Aumento de no conformidades y sus respectivas acciones correctivas.	Asignar el Certificado de Disponibilidad Presupuestal [CDP].
	Flujo de caja deficiente. Demora en el trámite de los descuentos tributarios.	Pérdida económicas.	Incluir el presupuesto en los planes estratégico de la empresa y de desarrollo del municipio.
Fraude en el uso del servicio de energía.	Alto consumo de energía.	Sanciones disciplinarias y económicas.	Velar porque la comunidad realice las oportunidades de ahorro.
	Falta de presupuesto para cumplir con el pago de facturas.	Suspensión de los servicios.	Garantizar el cumplimiento del cronograma de los programas del SGA.
	Funcionarios sin ética y conciencia ambiental.	Pérdida de imagen institucional.	Realizar el seguimiento al pago de las facturas de servicios públicos.  Reforzar, mediante capacitaciones, la ética y la conciencia ambiental.
Manipulación de resultados de estudios e informes a los organismos de control.	Resultados de los estudios y caracterizaciones con parámetros fuera de lo que la ley permite.	Sanciones económicas y disciplinarias.  Pérdida de imagen institucional.	Brindar control y seguimiento a los indicadores de energía y a los procesos del ciclo del servicio en las áreas involucradas.
	Querer evitar una sanción o multa.		Actualizar la documentación del SGA.
Manejo inadecuado del modelo de gestión	Desconocimiento de la situación actual en las zonas especiales.	Perjuicios económicos, técnicos y operativos.	Elaborar, controlar y dar seguimiento a los procesos y procedimientos y capacitar a los funcionarios sobre cómo se debe hacer.
	Desconocimiento de la normatividad aplicable a las zonas especiales.		Rediseñar el modelo de gestión. Incentivar la presentación de nuevos proyectos relacionados con el tema de las energías renovables mediante el programa SER.
	Intereses particulares que se anteponen a las estrategias de la empresa.		

## 5W-2H

La herramienta 5W-2H permite elaborar un plan de acción de forma estructurada. Se basa en siete cuestionamientos: What? Why? Who? Where? y When? (5W); How? y How much? (2H). La TABLA 4 presenta esta herramienta aplicada a las zonas especiales.

**Tabla 4. 5W-2H para las zonas especiales**

Riesgo	Causas	Consecuencias	Tratamiento
What?	Tema	Se trata de reducir pérdidas comerciales de energía con medidas de choque, la forma de atacar el problema es inadecuada.	Cambiar la estrategia involucrando a los stakeholders, creando un modelo económico con la participación de las comunidades, el gobierno local y la empresa, que genere beneficios para todas las partes.
Why?	Propósito	El proceso se realiza para reducir las pérdidas comerciales que afectan el flujo de caja de la empresa o sus ingresos, con el fin de obtener rentabilidad social, económica y ambiental, utilizando la energía SFV en un proceso comercial.	
Who?	Personas	Empresa – Usuario.	El proceso lo deben realizar los usuarios con el apoyo de la empresa y el ente de administración local (alcaldía) a lo largo del año, con revisión mensual de indicadores de gestión. El proyecto debe ubicarse inicialmente en las zonas especiales de Cali, Yumbo y Puerto Tejada, para luego expandirse, incluso internacionalmente.
When?	Secuencia	Se debe realizar a lo largo del año con el modelo propuesto.	
Where?	Ubicación	Se realiza en el área de cobertura de Emcali, aunque también se puede hacer en otras regiones, incluso a nivel internacional	
How?	Método	No existe método ni modelo.	Aplicar un método o modelo de gestión, procedimientos y procesos.
How much?	Costo	Se realizó la evaluación económica del proyecto.	Recuperar las pérdidas eléctricas y generar excedentes de energía

## MODELO DE DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS COMERCIALES DE ENERGÍA

Este modelo fue elaborado específicamente para las zonas especiales como un aporte desde las experiencias obtenidas en las diversas intervenciones con la comunidad, los entes oficiales y los clientes internos en la búsqueda de estrategias para desarrollar un programa de control y reducción de las pérdidas

## Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali

comerciales de energía, los síntomas más importantes y sus causas y efectos. Se plantean las soluciones pero además se mencionan algunos riesgos y se realiza una evaluación económica del proyecto con el fin de conocer su rentabilidad. Es una herramienta muy completa que muestra los análisis cualitativo y cuantitativo y el tiempo requerido para el proyecto, un factor determinante a la hora de tomar decisiones.

Cualquier modelo que se desee implementar en sectores vulnerables debe ir acompañado de un análisis detallado del área de estudio, porque de acuerdo con las experiencias se ha podido determinar que en sectores de un mismo municipio existen diferencias profundas e intereses distintos. Por esto es necesario realizar un diagnóstico que permita una caracterización que se ajuste a la gran mayoría de las zonas especiales. En la TABLA 5 se presentan los resultados del diagnóstico realizado en sectores del oriente de la ciudad, el cual concentra a la mayor cantidad de población vulnerable. La información de dicha tabla se complementa con los siguientes datos: tiempo de ejecución = seis meses; VAN = 1.429.565.869,29; TIR = 120,61; B/C = 2,15; y PR = 0,9.

## ESCENARIOS DE APLICACIÓN DEL MODELO

### ESCENARIO I

En las FIGURAS 5 y 6 se observan respectivamente los valores iniciales del balance energético sin implementar el sistema SFV y el balance comercial con su implementación. En este escenario, si bien no se exporta energía del

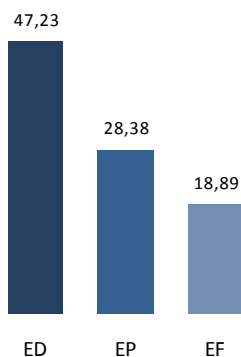
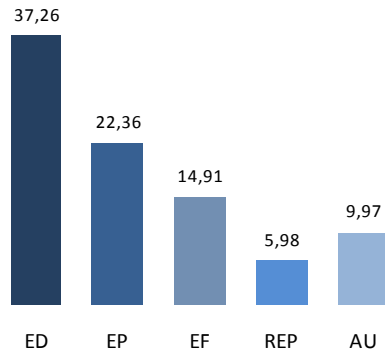


Figura 5. Balance energético sin implementación del sistema

**Tabla 5. Modelo de diagnóstico de pérdidas comerciales**

Síntoma	Causa	Descripción de la causa	Efecto	Solución	Riesgos en la implementación
Bajo recaudo.	Desempleo.	En su mayoría son personas que vienen de otras regiones y no encuentran oportunidades de trabajo.	Insolvencia económica de la empresa.	Incentivar la economía con el proyecto de energía SFV Aplicación de la ley 1715 de 2014 GD	Que la comunidad no asuma con responsabilidad el proyecto económico.
Cartera morosa.	Cultura de no pago.	Se alienta el consumo excesivo	Cuentas de difícil cobro.	Beneficios e incentivos. Facilidades de pago Prescripción de cartera.	Cambio de políticas comerciales en la empresa.
Energía no facturada.	Inseguridad.	La empresa no puede realizar una gestión comercial.	Reconexiones ilegales.	Facturación del servicio Apoyo de seguridad	No firma de los acuerdos empresa- comunidad.
Aumento en los costos del servicio.	Baja rentabilidad.	Deficit en la compensación de los costos incurridos para la prestación del servicio	Afectación del flujo de caja de la empresa.	Acuerdos con la comunidad. Gestión comercial Control a indicadores	Gestión comercial y técnica deficientes.
Falta de organización.	Procesos deficientes.	Los procesos no están actualizados ni cumplen con las normas de calidad.	Sobrecostos.	Revisión y ajuste de procesos. Levantamiento de nuevos procesos ajustados a las normas de calidad.	Aplicación incorrecta de los procesos de calidad.
Robo de energía.	Redes vulnerables.	Como las redes de energía son de fácil acceso se han incrementado las conexiones ilegales.	Fallas en el servicio.	Blindaje de la red eléctrica Mantenimiento preventivo.	Recorte de presupuesto para invertir en redes blindadas
Altos consumos de energía.	Crecimiento de la población.	Desplazamiento forzado por violencia o problemas económicos en su lugar de origen.	Deterioro de las redes eléctricas.	Implementación de tecnologías para limitar el suministro de energía (hasta 25 % de la corriente de entrada).	Recorte de presupuesto para invertir en nuevas tecnologías

**Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali**

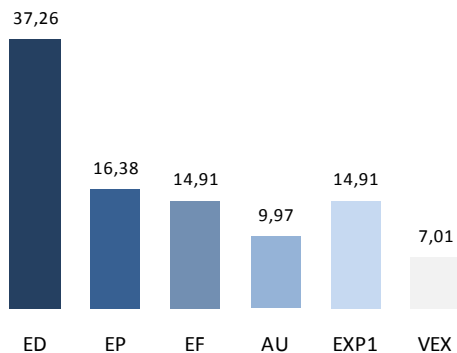


**Figura 6. Balance comercial con implementación del sistema sin exportación de energía**

sistema –la energía producida es para su autoconsumo–, se reducen las pérdidas comerciales (EP) en un 21.1%. El autoconsumo es un 10,78 % de la capacidad total (203.175 kWh/mes).

**ESCENARIO 2**

Tomando como punto de partida la FIGURA 6, se calcula el VEX aplicando la ECUACIÓN (8), por tratarse de un usuario con potencia superior a 0.1 MW (la del sistemas es 2,18 MW). En este escenario el usuario exporta (Exp1) energía que intercambia con la que toma de la red de distribución (EF). El valor a pagar (resultado del cálculo del VEX) es \$ 7.008.000 (FIGURA 7 / TABLA 6). En conclusión, por efecto de la exportación de energía (Exp1) el valor de la factura del usuario se reduce a la mitad y las pérdidas se reducen 26,7 %.



**Figura 7. Balance comercial con implementación del sistema y exportación de energía**

**Tabla 6. Escenario 2. Costos y detalles de facturación**

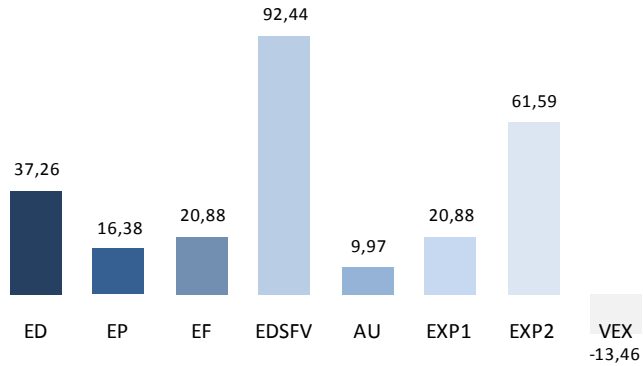
Concepto	Detalle	Valor
Costos unitarios (\$)	PB	172
	CU	455
	C	60
	Rr	18,79
	P	10,85
	T	29,65
	D	94,65
SIN (kWh)	ED	81.898
	Autoconsumo	21.902
	Imp – EF	32.759
SFV (kWh)	EP	49.139
	Exp 1	32.759
	Exp2	0
Facturación	Factura con panel (\$)	37.263.590
	Con Paneles sin exportar (\$)	22.358.245
	Factura con Panel (\$)	14.905.345
	Valor exp1	14.905.345
	Valor exp2	0
	Total facturado (\$)	7.008.460

**ESCENARIO 3**

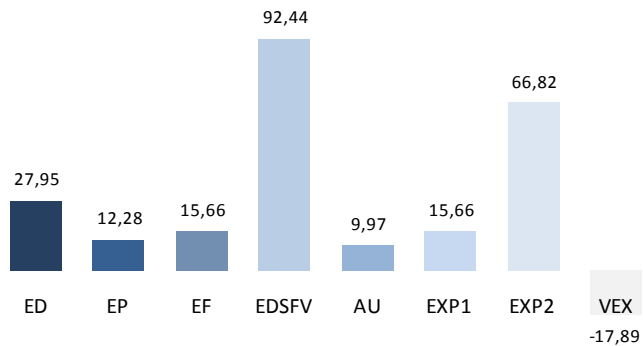
Se realiza la limitación de corriente en un 25 % (ver FIGURAS 8 y 9); se reducen las pérdidas comerciales de energía al igual que la energía facturada o de importación, lo que permite exportar (vender) una mayor cantidad de energía (Exp2). El valor de los excedentes, como se muestra en la TABLA 7 y en la FIGURA 9, no solo aumenta sino que resulta a favor del usuario en casi dieciocho millones.

El modelo de reducción de pérdidas comerciales de energía arroja un beneficio final de más de treinta y tres millones de pesos y reduce a cero las pérdidas comerciales de energía. Una cuantificación de los beneficios del proyecto se presenta en la TABLA 8, que muestra cómo ellos se van construyendo a través de la hoja de ruta del modelo.

**Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali**



**Figura 8. Balance comercial: valor de los excedentes de energía sin limitación de corriente**



**Figura 9. Balance comercial: valor de los excedentes de energía con limitación de corriente**

**Tabla 7. Escenario 3. Costos y detalles de facturación**

Concepto	Detalle	Valor
Costos unitarios (\$)	PB	172
	CU	455
	C	60
	Rr	18,79
	P	10,85
	T	29,65
	D	94,65
SIN (kWh)	ED	83.326
	Autoconsumo	21.902
	Imp – EF	34.425

**Tabla 7. Escenario 3. Costos y detalles de facturación (continuación)**

Concepto	Detalle	Valor
SFV (kWh)	EP	26.949
	Exp 1	34.425
	Exp2	146.848
Facturación	Factura con panel (\$)	37.263.590
	Con Paneles sin exportar (\$)	9.965.410
	Factura con Panel (\$)	15.663.375
	Pérdidas comerciales de energía	12.284.545
	Valor exp1	15.663.375
	Valor exp2	25.257.856
	Total facturado (\$)	-17.892.972

**Tabla 8. Hoja de ruta del modelo y beneficios económicos**

Paso	Descripción	Valor (\$)
1	Valor de las pérdidas de energía del SIN	-12.261.795
2	Valor de la cartera morosa	0
3	Valor de la limitación de corriente (25%) de la energía despachada	11.809.217
4	Valor del subsidio de energía (40% de la energía facturada SIN)	6.265.350
5	Valor del autoconsumo SFV	9.965.410
6	Valor del excedente de energía (7)	17.892.972
7	Valor de los incentivos	0
8	Valor de la externalidad	0
9	Beneficio total del MRPCE	33.671.234

La validación del proyecto se realizó en el Comité de Pérdidas de Energía de Emcali con la presencia del Jefe del Departamento de Control de Energía, líderes de proceso, analistas y funcionarios operativos, quienes emitieron su concepto y una calificaron de 1 a 5, en donde 5 es la más alta. Todos los conceptos fueron favorables y la calificación promedio fue de 4,75.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La principal conclusión es que sí es posible desarrollar un modelo para reducir pérdidas comerciales de energía en las zonas especiales, de hecho, el modelo propuesto no solo cumple ese objetivo sino que impacta favorablemente las finanzas de la empresa. Por lo anterior, se recomienda su aplicación en las zonas especiales de la ciudad: tomando como base a las instituciones educativas públicas por razones prácticas y de seguridad de los equipos y las personas; teniendo en cuenta que para su implementación se debe partir de un acuerdo entre la comunidad, el gobierno y la empresa prestadora de servicios públicos. El modelo permite además dimensionar el sistema y modelar matemáticamente los beneficios de los proyectos.

La utilización de las fuentes renovables de energía promueve el empleo y genera ingresos mediante la venta de los excedentes de energía al comercializador del servicio, lo que favorece la condición socioeconómica de los usuarios de estos sectores. Es necesario además implementar nuevas tecnologías, como la limitación de corriente, que facilita el control y el uso moderado del servicio y evita el desperdicio de energía.

Es necesario generar excedentes de energía, por ello es importante definir tanto el consumo promedio como la potencia instalada del sistema SFV. Los subsidios de energía entregados por el Estado para este tipo de usuarios no se pueden eliminar porque se agravaría su situación, sin embargo, es posible reducirlos progresivamente hasta un 40 %. En el proyecto se contempló un escenario sin subsidios y los ingresos para los usuarios estuvieron “al límite”.

Para finalizar, a continuación se presenta un resumen de los beneficios del proyecto para la empresa y para los usuarios. La empresa:

- reduce las pérdidas comerciales de energía;
- debe comprar menos energía para atender a la misma cantidad de usuarios (lo que libera ese dinero para inversión);
- aumenta sus ingresos por la venta de energía con el sistema SFV;
- accede a los beneficios tributarios de la ley 1715 de 2014;
- puede emitir bonos verdes para acceder a créditos financieros para proyectos sostenibles (gracias a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>; y
- mejora su imagen corporativa.

Los usuarios, por su parte:

- mejoran sus ingresos por la venta de energía en el marco del acuerdo con la empresa de servicios públicos;
- logran una reducción en el valor de su factura de servicios públicos;
- acceden a mejores redes de energía y disminuyen el riesgo de muerte por electrocución y de incendio en las viviendas por cortos circuitos; y
- mejoran su calidad de vida.

## REFERENCIAS

- Abella, A. (2001). *Sistemas fotovoltaicos* [material de clase]. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45335.pdf>
- Acuerdo 0411 de 2017. (2017, abril 7). *Boletín Oficial de la Alcaldía de Santiago de Cali*, 54. [https://www.cali.gov.co/aplicaciones/boletin\\_publicaciones/imagenes\\_documentos/documentoId10483.pdf](https://www.cali.gov.co/aplicaciones/boletin_publicaciones/imagenes_documentos/documentoId10483.pdf)
- Benito, G. & Ruiz, K. (2018). *Análisis beneficio–costo de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el campus de aguas claras de la Universidad Santo Tomas* [tesis de grado, Universidad Santo Tomas]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13714/2018ginnabenito.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bustamante, M. (2009). *Rediseño del proceso de control de pérdidas de energía eléctrica, el transformador de distribución como eje articulador en la gestión de las pérdidas de energía* [tesis de grado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103502>
- Caicedo, U. (2019). *Propuesta de un modelo para reducir pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en zonas especiales de Santiago de Cali*. [tesis de maestría, Universidad Icesi].
- Carbon Trust, Unidad de Planeación Minero Energética [UPME] & Conservación Internacional [CI]. (2015). *Análisis económico y evaluación costo–beneficio de los mecanismos, herramientas y estrategias para la promoción de FNCER en Colombia*. UPME.
- CREG (2007, octubre 19). *Taller resolución CREG 121* [video]. <https://youtu.be/dZbRM9G80lc>
- CREG. Resolución 030 de 2018. (2018, marzo 1). *Diario Oficial de Colombia*, 50522, 23-29
- CREG. Resolución 121 de 2018. (2017, septiembre 16). *Diario Oficial de Colombia*, 50358, 7-11
- Decreto 111 de 2012. (2012, enero 20). *Diario Oficial de Colombia*, 48318, 2
- Decreto 2143 de 2015. (2015, nov. 4). *Diario Oficial de Colombia*, 49686, 31-33
- Ernest & Young. (2019, marzo 6). *Colombia: evaluación de la política de servicios públicos domiciliarios en temas de energía eléctrica en el país*. <https://anda.dnp.gov.co/index.php/catalog/99h>
- Espitia, C. (2017). *Guía metodológica para la implementación de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala en Colombia* [tesis de maestría, Universidad de Santander]. <https://repositorio.udes.edu>

## Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali

co/bitstream/001/659/1/Gu%C3%ADa%20metodol%C3%B3gica%20para%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20sistemas%20fotovoltaicos%20a%20peque%C3%B1a%20escala%20en%20Colombia.pdf

ISO 31000:2018. *Risk management: Guidelines*. <https://www.iso.org/standard/65694.html>

Jiménez, R., Serebrisky, T., & Mercado, J. (2014). *Electricidad perdida: dimensionando las pérdidas de electricidad en los sistemas de transmisión y distribución en América Latina y el Caribe*. BID.

Ladino, R. (2011). *La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia* [tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1085/?sequence=1>

Ley 1715 de 2014. (2014, mayo 13). *Diario Oficial de Colombia*, 49150, 1-9

Ley 20571 de 2012. (2012, marzo 22). *Diario Oficial de la República de Chile*, 40219. <http://bcn.cl/1uw7r>

Llopis, G. & Rodrigo, V. (2008). *Guía de energía geotérmica*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid & Energy Management Agency.

Miranda, M. (2016). *Diseño de un sistema de generación fotovoltaica para viviendas conectadas a la red de distribución en el contexto de la ley 20571* [tesis de grado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/141781/Diseno-de-sistema-de-generacion-fotovoltaica-para-viviendas-conectadas-a-la-red-de-distribucion-en-el-contexto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodríguez, M. (2010). *Plan de Mercadeo para disminuir el hurto de energía en los estratos 1, 2, 3 de la ciudad de Bogotá* [trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/9316/tesis405.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Superintendencia de Servicios Públicos. *Concepto SSPD-07-2009-066*. (2009, enero 27). <http://basedoc.superservicios.gov.co/ark-legal/SSPD/details;jsessionid=9E989D7D8A134CFD349E792A9816B11C?docId=b0dd3d13-f44b-4989-80b8-a619f2752064&channel=%2FConceptos%2FConceptos+SSPD%2F2009&subEspacio=>

Tama, A. (2014). La pérdidas de energía eléctrica. *CRIEEL*, 33, 12-18.

UPME - Resolución 045 de 2016. (2016, febrero 4). *Diario Oficial*, 49775

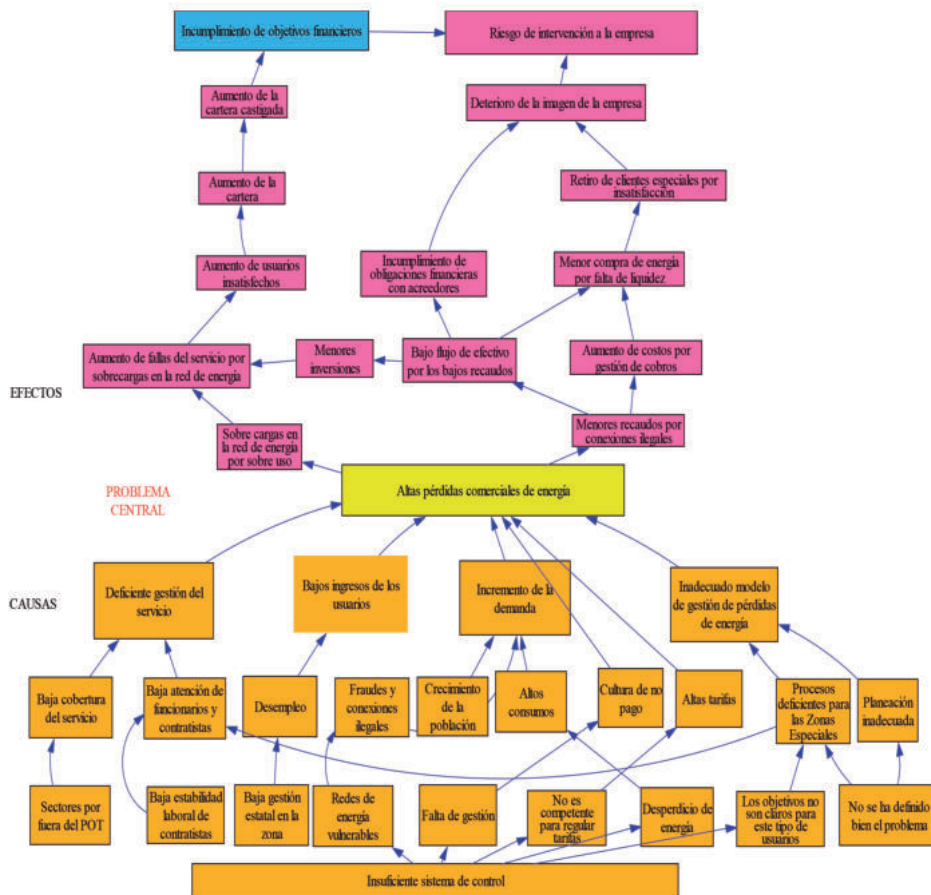
UPME - Resolución 143 de 2016. (2016, marzo 14). *Diario Oficial*, 49815

UPME - Resolución 520 de 2007. (2007, octubre 11). *Diario Oficial*, 46.778

UPME - Resolución 638 de 2007. (2007, dic. 13). *Diario Oficial*, 46841

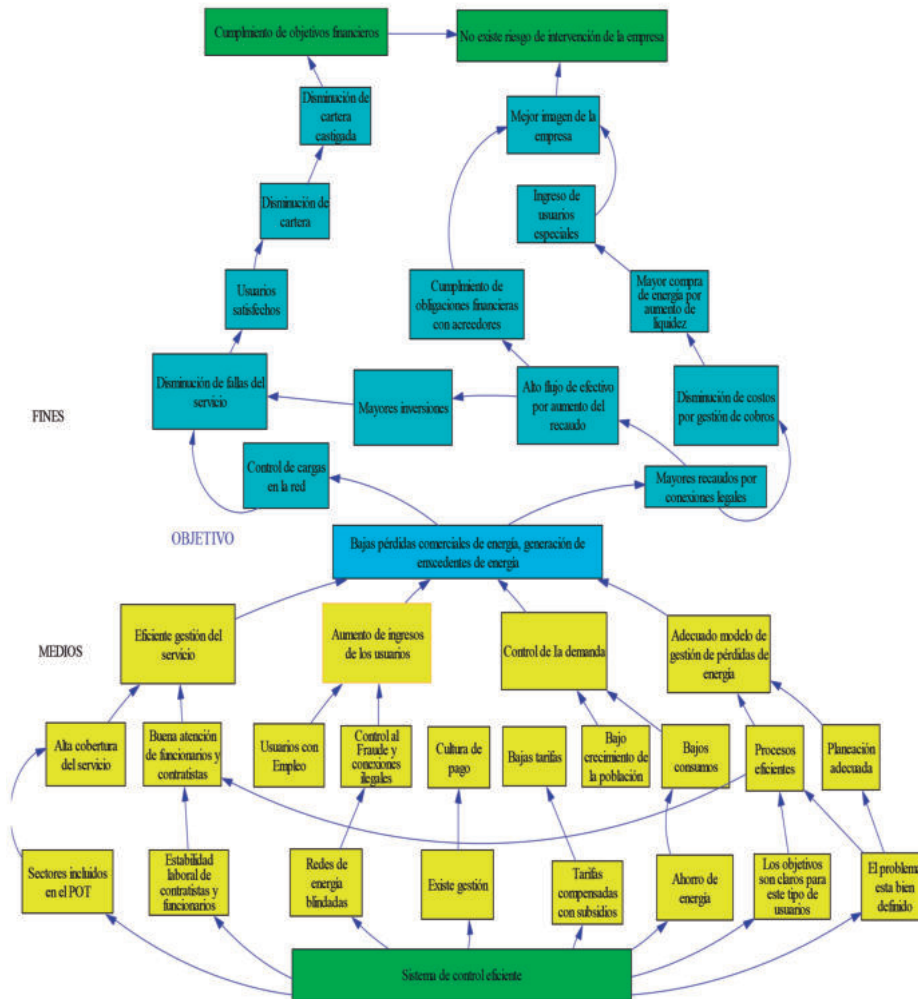
**Anexo 1. Árboles de problemas y objetivos**

El árbol de problemas se encuentra entre las técnicas participativas de planificación, de acuerdo con esta metodología, las partes interesadas –en este caso: los usuarios de las zonas especiales, en particular los habitantes del barrio Brisas de las Palmas (la comunidad), la alcaldía del municipio de Cali (el gobierno local); y Emcali (la empresa)–, se involucran en el proceso de identificar y analizar de manera conjunta sus necesidades. El resultado de este proceso se puede apreciar en la FIGURA 10. El árbol de objetivos (FIGURA 11) tiene relación con él en la medida en que presenta su solución y facilita de selección entre alternativas.



**Figura 10. Zonas especiales: árbol de problemas**

## Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali



**Figura 11. Zonas especiales: árbol de objetivos**

Las alternativas identificadas fueron: proponer un modelo para reducir pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico ubicado en las zonas especiales; presentar un proyecto al programa de normalización de redes eléctricas para dichas zonas o presentar un programa de mejoramiento de redes eléctricas, igual para ellas. Se seleccionó la primera opción porque además de permitir la reducción de las pérdidas comerciales de energía, genera ingresos para los usuarios como producto de la venta de energía, algo que las otras dos opciones no logran.

**Anexo 2. Matriz de riesgos - Parte I**

		Detalle		Análisis del riesgo					
Riesgo	Descripción	Causas	Consecuencias	Valor	Probabilidad	Porcentaje	Valor	Impacto	Severidad
Incumplimiento en el pago de las facturas de energía.	Hace referencia al incumplimiento en el pago de los servicios.	Falta de empleo; cultura de no pago; altas tarifas; consumos excesivos de energía (no hay cultura de ahorro).	Altas pérdidas comerciales; cartera morosa; contrabando; fraudes	10	Alta	100	2	Catastrófico	20
Insuficiente irradiación solar	Hace referencia a la falta de irradiación proveniente del sol,	Fenómeno de La Niña; deterioro en los paneles solares; sombras en el entorno; diseño deficiente del sistema SFV	Incumplimiento en los contratos de venta de energía	10	Alta	100	2	Catastrófico	20
Incumplimiento o demora en la asignación del presupuesto.	Se refiere a la demora, tardanza en la entrega de los recursos para la ejecución del proyecto.	Recortes de presupuesto; falta de compromiso del funcionario responsable; flujo de caja deficiente; demora en trámite de descuentos tributarios de ley 1715 de 2014	Atraso del proyecto; aumento de no conformidades y de las correspondientes acciones correctivas; pérdidas económicas.	5	Media	50	3	Catastrófico	15

## Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali

**Anexo 2. Matriz de riesgos - Parte I (continuación)**

Riesgo	Detalle				Análisis del riesgo				
	Descripción	Causas	Consecuencias	Valor	Probabilidad	Porcentaje	Valor	Impacto	Severidad
Fraude en el uso del servicio de energía.	Hace referencia al uso irregular de conexiones, cableados, etc., con el fin de hurtar dichos recursos para la disminución de consumos y costos asociados.	Alto consumo del recurso energía; falta de presupuesto para cumplir con el pago de facturas; funcionarios sin ética y conciencia ambiental.	Sanciones disciplinarias y económicas; suspensión de los servicios; pérdida de imagen institucional ante la sociedad.	10	Alta	100	3	Catastrófico	30
Manipulación de resultados de estudios e informes a los organismos de control.	Hace referencia a la modificación de indicadores, datos, parámetros, resultados, etc. en informes que se le entregan a las autoridades de control.	Resultados de los estudios y caracterizaciones con parámetros fuera de lo que la ley permite; querer evitar una sanción o multa.	Sanciones económicas y disciplinarias; pérdida de imagen institucional ante la sociedad.	10	Alta	100	3	Catastrófico	30
Manejo inadecuado del modelo de gestión	Hace referencia a la utilización del modelo de gestión para usuarios normalizados que no conversa con la situación socioeconómica de los usuarios de las zona especiales	Desconocimiento de la situación actual en las zonas especiales; desconocimiento de la normatividad aplicable a las zonas especiales; intereses particulares que se anteponen a las estrategias de la empresa.	Perjuicios económicos, técnicos y operativos.	5	Media	50	3	Catastrófico	15

**Anexo 2. Matriz de riesgos - Parte II**

		Evaluación del riesgo										
Riesgo	Control	Descripción del control	Tipo de control	Control documentado en ...	Aplicación del control	Eficacia del control	Frecuencia del control	Valor	Probabilidad	Valor	Impacto	Severidad
Incumplimiento en el pago de las facturas de energía.	Limitación de corriente.	Instalación de nuevas tecnologías que obligan al ahorro de energía.	Correctivo	Plan operativo	Si	Alta	Semanal	10	Alta	1	Catastrófico	10
	Programa de auditoría del sistema integrado de gestión.	Verificar que se cumpla con un mes de anticipación el programa de auditoría del SIG.	Preventivo	Procedimiento de auditorías PRO-GCI-000	Si	Media	Diario					
Insuficiente irradiación solar	Mantenimiento preventivo	Revisar periódicamente que los paneles solares no tengan suciedad que afecte su rendimiento, contar con equipos de respaldo y fuentes alternativas para la contingencia.	Preventivo	Plan operativo	Si	Baja	s/n ocurrencia	10	Media	1	Catastrófico	30
Incumplimiento o demora en la asignación del presupuesto.	Reuniones periódicas de control del proceso.	Cuando se está ejecutando el programa se asignan responsabilidades, se realiza seguimiento a los compromisos pactados, cumplimiento de objetivos y metas.	Preventivo	Procedimiento para ejecución y control del presupuesto.	Si	Media	s/n ocurrencia	10	Media	3		30



## Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali

### Anexo 2. Matriz de riesgos - Parte II (continuación)

		Evaluación del riesgo									
Riesgo	Control	Descripción del control	Tipo de control	Control documentado en ...	Aplicación del control		Valor		Impacto	Severidad	
					Eficacia del control	Frecuencia del control	Probabilidad	Valor			
Fraude en el uso del servicio de energía.	Implementación del sistema de control de energía; gestión ambiental a través de los programas de uso eficiente de los recursos agua y energía; disponibilidad de recursos para pago de esos servicios públicos; formación y capacitación en valores éticos institucionales y educación ambiental.	Verificar la implementación de las oportunidades de ahorro planteadas en los programas; priorizar el pago de estos servicios desde la Vicerrectoría Administrativa y Financiera; revisar el programa de capacitación para garantizar su eficiencia.	Correctivo	Planes de control de energía y gestión comunitaria	Si	Media	Semanal	10	3	Catastrófico	30
Manipulación de resultados de estudios e informes a los organismos de control.	Implementación y control del SCI a través de cada uno de los programas que se ejecutan; implementación y verificación de procedimientos, instructivos y formatos del SGA.	Seguimiento y monitoreo de las actividades y operaciones del SCI que estén dadas al cumplimiento de legislación ambiental; revisión constante de eficiencia de la documentación del SGA.	Preventivo	Plan de control interno	Si	Alta	Diario	10	2	Moderado	20
Manejo inadecuado del modelo de gestión	Controles al manejo de los procesos y procedimientos; capacitación en la aplicación de las normas relacionadas con las zonas especiales.	Capacitación e información permanente en normas para sectores vulnerables; evaluación y actualización permanente en los procesos y procedimiento definidos.	Preventivo	Plan de manejo del talento humano y gestión de la calidad MECCI.	Si	Media		10	3	Catastrófico	30

**Anexo 2. Matriz de riesgos - Parte III**

		Tratamiento		
Riesgo	Acción de tratamiento	Tiempo de implementación	Costo	Responsable
Incumplimiento en el pago de las facturas de energía.	Implementar el uso de energías renovables (en especial SFV), aplicación de la ley 1715 de 2014, generación de ingresos por venta de energía y recepción de incentivos por exportaciones a la red matriz energética; establecer con antelación un plan de trabajo que incluya su cronograma de actividades; estimular el compromiso de los interesados y realizar control el seguimiento al proceso.	Según necesidad o requerimiento de tiempo (máximo 6 meses).	Bajo	Jefe Oficina de Control Interno
Insuficiente irradiación solar	Control y seguimiento al proceso operativo; contar con baterías de respaldo para acumulación de energía; disponer de fuentes alternativas de energía como las PCH.	Según necesidad o requerimiento de tiempo.	Medio	Jefe Oficina de Planeación
Incumplimiento o demora en la asignación del presupuesto.	Asignar el registro presupuestal; asignar el CDP; incluir el proyecto en el plan estratégico de la empresa; incluir el proyecto en el plan de desarrollo del Municipio.	Según necesidad o requerimiento de tiempo.	Alto	Jefe Oficina de Planeación, Gerente General, Gerente de Energía, Alcalde Municipal, Director de Energía del Ministerio de Minas y Energía, UPM.E.

**Modelo para reducción de las pérdidas comerciales de energía con un sistema solar fotovoltaico en las zonas especiales de Cali**

**Anexo 2. Matriz de riesgos - Parte III (continuación)**

Riesgo	Tratamiento			
	Acción de tratamiento	Tiempo de implementación	Costo	Responsable
Fraude en el uso del servicio de energía.	Velar porque las oportunidades de ahorro se realicen por parte de toda la comunidad de la zona especial; garantizar el cumplimiento en el cronograma de los programas del SGA; realizar seguimiento al pago de las facturas de servicios públicos (agua y energía); aumentar el número de capacitaciones para reforzar la ética y la conciencia ambiental.	Según necesidad o requerimiento de tiempo	Medio	Director de Energía y Jefe de Control de Energía; Director de responsabilidad social empresarial; Jefe de Finanzas y Cartera; Jefe de Facturación.
Manipulación de resultados de estudios e informes a los organismos de control.	Control y seguimiento a los indicadores de energía y procesos del ciclo del servicio en las áreas involucradas; actualización de la documentación del SGA.	Según necesidad o requerimiento de tiempo	Alto	Gerente de Energía; Director de Energía.
Manejo inadecuado del modelo de gestión	Elaboración, control y seguimiento a los procesos y procedimientos y aumento en la capacitación a funcionarios en cómo debe hacerse; rediseño del modelo de gestión; incentivar la presentación de nuevos proyectos relacionados con el tema de las energías renovables mediante el programa SER.	Según necesidad o requerimiento de tiempo	Alto	Jefe de la Oficina de Planeación; Jefe del Departamento de Tecnologías de la Información



# METODOLOGÍA PARA MEJORA DE LOS PROCESOS DE UNA UNIDAD DE IMÁGENES DIAGNÓSTICAS EN UNA CLÍNICA DE CALI

Daniel Muñoz Palma, MSc.

Óscar Pérez Vargas, MSc.

Angélica Burbano Collazos, Ph.D

## **Citación**

Muñoz, D., Pérez, O., & Burbano, A. (2020). Metodología para mejora de los procesos de una unidad de imágenes diagnósticas en una clínica de Cali. En *Bitácoras de la maestría*, vol. 5, *Energía solar - Lean healthcare - Productividad* (pp. 67-116). Universidad Icesi.



---

## RESUMEN

---

La gestión eficiente de procesos es uno de los pilares del trabajo administrativo en las instituciones prestadoras de servicios de salud, debido a las crisis y los cambios a los que se enfrentan las organizaciones del sector ha aumentado su relevancia y con ello el interés por la aplicación de herramientas de la ingeniería. El objetivo de este proyecto fue desarrollar una metodología de mejoramiento en la unidad imágenes diagnósticas de una clínica que presentaba retrasos superiores a diez horas en la entrega de resultados, lo que afectaba el trabajo de las unidades interrelacionadas (sus clientes internos) y la satisfacción de los pacientes (los clientes externos). Se desarrolló una metodología Lean Healthcare como propuesta de mejoramiento continuo de procesos y dentro de ella se usaron DMAIC, como proceso lógico de implementación, y herramientas de Lean para la detección de desperdicios y el diseño eficiente de procesos. Inicialmente se obtuvo una disminución de dos horas en los tiempos de entrega y la integración del equipo humano para continuar trabajando en el mejoramiento continuo. A mediano plazo se esperan mejores resultados y la replica de la metodología en otras áreas de servicio.

## INTRODUCCIÓN

La satisfacción de los clientes a partir de procesos de calidad, la disminución de desperdicios, la reducción de costos y la optimización de métodos de trabajo son objetivos fundamentales de las organizaciones, lo que les exige encaminar sus esfuerzos hacia el mejoramiento continuo. Para el logro de dichos objetivos, las empresas ejecutan cambios de fondo basados en la implementación de herramientas que parten de la identificación de la problemática interna de los procesos, para así poder introducir metodologías no generalizadas, sino adaptadas al tipo de organización y a la calidad que pretende imprimir en sus productos o servicios, y así atacar y cerrar las brechas específicas de sus procesos.

Las Instituciones Prestadoras de servicios de Salud [IPS] presentan constantemente dificultades para atender la creciente demanda en los servicios que ofrecen, lo que no solo desencadena descontento, frustración, quejas y pérdidas económicas –para el paciente y la entidad–, sino pérdidas de continuidad en los tratamientos médicos de sus pacientes. La clínica estudiada no es ajena a estas dificultades, para resolverlas se desarrollo este proyecto, específicamente en su Unidad de Imágenes Diagnósticas [UID], con el cual se implementan las metodologías Lean y Six Sigma, con una adecuación de sus herramientas para su aplicación en dicha unidad, como apertura a una posibilidad de cambio en las demás unidades misionales que interactúan en toda la cadena de la prestación del servicio, con el objetivo fundamental de reducir reprocesos y actividades innecesarias, dando especial relevancia al respeto por el trabajador, la eliminación de desperdicios, la optimización de los recursos, el aumento de la velocidad en la entrega de resultados y, consecuentemente, la satisfacción de los usuarios y pacientes. Como resultado de este trabajo, en este documento se presentan planes de mejora que eliminan o reducen los desperdicios encontrados en el proceso, un análisis costo–beneficio de las propuestas más significativas y la medición de las mejoras aplicadas o simuladas.

El contexto en el que desarrollan su actividad las IPS, sus necesidades, los requisitos de acreditación y las expectativas de sus pacientes exigen la mejora continua en la calidad de atención de salud (Ruiz & Ortiz, 2015), por ello, conceptos relacionados con: eficiencia operativa, disminución de costos, calidad del servicio, tiempos de espera y procesos sin desperdicios son prioridades fundamentales, inherentes a sus planes estratégicos, que contribuyen a mantener o lograr competitividad en las negociaciones con las aseguradoras



de salud en los diversos regímenes que se presentan (Fundación Hospital San Vicente, 2018; Ruiz & Ortiz, 2015; Santoro et al., 2015; Poksinska, 2010).

El sistema de salud es uno de los tópicos más debatidos al interior del gobierno colombiano, cada día son más palpables para la comunidad los bajos índices de nivel de servicio al cliente y la escasa organización al interior de los centros asistenciales, es común observar largas filas en las puertas de los hospitales, citas asignadas con mucho más tiempo del requerido y altos costos –de los medicamentos y de la atención–, entre otras situaciones que ponen en tela de juicio la calidad de sus servicios (Otero, 2015; López & Salinas, 2016).

La realidad de la clínica del caso de estudio no es ajena a la problemática actual del sistema de salud en Colombia, en cada una de sus unidades misionales se presenten situaciones particulares e interrelacionadas que afectan a las partes interesadas. La clínica presta servicios integrados de salud de alta complejidad para el suroccidente colombiano en alianza con varios tipos de aseguradores y cuenta con unidades de cuidados intensivos, cuidados intensivos para recién nacidos, cuidados intermedios y aislamiento para paciente especiales y para pacientes infectados. Cada unidad misional del negocio se relaciona con las otras, por ejemplo, la evolución oportuna de un paciente hospitalizado depende de la agilidad con la se genere una orden médica, se pase al área que le corresponda o al proceso solicitado y se entregue el resultado o servicio requerido; citando otro ejemplo, a la unidad de urgencias ingresan pacientes que pueden requerir servicios de las demás áreas para satisfacer la demanda con calidad y efectividad clínica. La gestión de cada unidad, entonces, debe contribuir al flujo de la cadena de valor del paciente (Lynn et al., 2014).

Las unidades muestran procesos incipientes en cuanto a metodologías de gestión eficiente de procesos y aprovechamiento de los recursos, . La clínica ha desarrollado planes de mejoramiento continuo enfocados en resolver situaciones particulares, aisladas del contexto organizacional, o usando prácticas empíricas no dinámicas que en el corto y mediano plazo provocan nuevos desenlaces para mejorar y retos por resolver. Aunque la clínica ha contado con expertos en metodologías de mejoramiento, los planes quedan sólo escritos o son fragmentos de mejora al corto plazo, no llegan a materializarse, engranarse, implementarse y mantenerse en el tiempo. Además, los líderes de cada unidad tienen formación asistencial y solo conocen parcialmente las oportunidades de mejora que se pueden obtener a través de las herramientas de ingeniería dirigidas a lograr una gestión eficiente de los recursos.

Es en este contexto donde surge una oportunidad para resolver necesidades insatisfechas para la mejora de los procesos; es ahí donde las metodologías y aplicaciones de la ingeniería industrial son importantes como herramientas para rediseñar los procesos tradicionales y aportar a la solución de los problemas que acarrea la ineficiencia actual, de una manera integral y sistémica.

Un análisis causa-efecto de los problemas de eficiencia operativa de la clínica indica como causas: la subutilización de los sistemas de información, el bajo uso de herramientas para la gestión eficiente de los recursos, la ausencia de un área de mejoramiento continuo y la desconexión entre las áreas interrelacionadas; y como efectos: procesos ineficientes, sobrecostos generados por procedimientos redundantes; insatisfacción del cliente y altos tiempos de respuesta entre ciclos para resolutivez del paciente. Esto impacta negativamente: la evolución oportuna de los pacientes, el reconocimiento de la prestación del servicio, el costo, la sostenibilidad y la satisfacción del usuario.

Se buscan entonces metodologías y aplicaciones robustas y formales de mejoramiento de procesos, que aumenten la eficiencia de la operación y de la prestación de los servicios que brinda la institución. Se seleccionó una unidad específica para la implementación del piloto y se presentó una propuesta para hacer escalonamiento hacia las demás unidades misionales. A partir de la iniciativa de aplicar un método para la gestión eficiente de procesos, se eligió como punto de partida la unidad de imágenes diagnósticas, por ser transversal en la institución.

Dado que en esta unidad se realizan ayudas diagnósticas –mamografías, escanografías, endoscopias, ecografías y rayos X–, su labor oportuna contribuye a la evolución de los pacientes y a la eficiencia de las unidades interrelacionadas. Sin embargo, una revisión de los tiempos promedio de entrega de resultados muestra que no está cumpliendo con el tiempo esperado –para ecografía, por ejemplo, lo esperado es nueve horas, pero el promedio entre enero y julio de 2019 es de diecinueve horas–. Estos incumplimientos en los tiempos de entrega provocan congestión de pacientes y largas estancias en estas unidades y disminuyen los niveles de satisfacción de los pacientes.

En este contexto surge el proyecto con el objetivo de identificar, aplicar y validar una metodología para la mejora de procesos de esta unidad de servicio, a través de la disminución de desperdicios, con la expectativa de que sea replicable a otras en la institución.

## MARCO TEÓRICO

### LEAN MANUFACTURING

El proyecto está basado en la aplicación de la metodología Lean Manufacturing, una filosofía de producción de gran impacto en la manera de entender la manufactura moderna enfocada en el logro de cambios importantes en cuanto al cumplimiento, seguridad y calidad del servicio. Está fundamentada en la disminución y eliminación de desperdicios (aquello que no le aporta valor al cliente y que él no está dispuesto a pagar).

El éxito del concepto en el sector industrial ha motivado su réplica en el sector sanitario (Lean Healthcare), el gobierno (Lean Government), la contabilidad (Lean Accounting) y la logística (Lean Logistics), entre otros (Ruiz & Villarreal, 2017; López & Salinas, 2016). El termino Lean fue acuñado inicialmente con una manera de describir la capacidad del sistema de gestión de Toyota para hacer las cosas con la mitad de todo (espacio físico, esfuerzo humano, inversión de capital e inventario) y con menos de la mitad de defectos e incidentes de seguridad ocupacional.

En esta metodología se diferencia claramente lo que agrega valor, lo que es necesario (la reglamentación) y el desperdicio, y define este último como cualquier problema que interfiera con la posibilidad de que las personas cumplan con su trabajo eficazmente o cualquier actividad que no se traduzca en valor para el cliente. De acuerdo con esta filosofía, al eliminar los desperdicios se reducen las demoras y se obtienen mejoras en la calidad, la seguridad, la eficiencia y la confiabilidad del sistema, al tiempo que se disminuyen los costos (Lynn et al., 2014; Ohno, 1988; Shook, 2018; Shingo, 1989).

La metodología Lean se compone de varias herramientas, cada una enfocada en uno o varios desperdicios, su éxito depende de implementar más de una herramienta de manera simultánea, pues ese trabajo en conjunto permite mayores mejoras en la eficiencia de los procesos, y de hacerlo de forma integral en toda la empresa, obteniendo así beneficios en general (Macedo et al., 2016). La metodología Lean ayuda al personal a ver su trabajo y sus procesos con nuevos ojos y así reconocer los problemas que antes pasaban desapercibidos y encontrar formas de resolverlos.

Los cinco principios centrales de la metodología son: especificar el valor, es decir aquello por lo que el cliente está dispuesto a pagar; analizar la cadena de

valor, es decir la secuencia de actividades necesaria para entregarle al cliente un producto o servicio; el flujo continuo del valor, en contraposición al trabajo por lotes y la generación de inventarios; el cliente “hala”, que indica que el sistema de producción debe entregar a los clientes los productos que necesitan en el momento preciso; y el mejoramiento continuo, la convicción de que los esfuerzos de mejoramiento nunca llegan a un final.

Algunas de las técnicas comunes en Lean Manufacturing son: el método Kaizen o mejoramiento continuo como resultado de la acumulación gradual de muchos pequeños mejoramientos hechos por todos los miembros de la empresa; los mapas de la cadena de valor, esencialmente representaciones de procesos de extremo a extremo de flujo de un producto (y de la información), desde que se pone la orden hasta que se despacha el producto o servicio terminado a los clientes; los ocho tipos de desperdicio, esto es el talento no utilizado, el exceso de inventarios, los movimientos innecesarios de personas, los tiempos de espera, los defectos, los movimientos innecesarios de cosas y equipos, la sobreproducción y el sobreprocesamiento; las 5S, el fundamento de la cultura Lean compuesto por Seiri (utilización), Seiton (orden), Seiso (limpieza), Seiketsu (estandarización) y Shitsuke (autodisciplina); los sistemas de trabajo flexibles, basados en células de manufactura; el trabajo estándar y sus tres elementos: ritmo, secuencia e inventario estándar; los alistamientos rápidos o Single Minute Exchange of Die [SMED]; la Jidoka o automatización con sentido humano; el mantenimiento productivo total, dirigido a reducir el riesgo de paradas imprevistas; el Just in Time [JIT], que consiste en tratar de que los materiales y productos se entreguen justo cuando se van a usar; la Heijunka o búsqueda constante de armonía en el flujo del producto; A3, como la demarcación del espacio en el que se debe plantear cualquier asunto en una organización; Gemba, que describe el lugar donde se lleva a cabo el trabajo que añade valor; y el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), enfocado en la planificación, implementación, control y mejora continua de los productos y servicios. Muñoz y Pérez (2019, secc. 3.3) ofrecen detalles sobre la historia, principios y herramientas de Lean Manufacturing.

## **SIX SIGMA**

Six Sigma es una metodología que se implementa a nivel estratégico en las empresas para lograr cambios en su cultura, se basa en el liderazgo comprometido de la dirección para la implementación de mejoras en los

procesos, productos o servicios enfocada en el control de su variabilidad por medio de técnicas estadísticas para disminuir o evitar desperdicios, errores repetitivos en los procesos o servicios y los defectos asociados hasta un valor objetivo de excelencia. Six Sigma como filosofía para la mejora de la calidad fue popularizado por General Electric a finales de los noventa (Harry, 1997; Breyfogle, 2003; De Koning et al., 2006).

Esta metodología se caracteriza por su orientación al cliente, el énfasis en la toma de decisiones basada en datos cuantitativos y su prioridad en el ahorro de dinero mediante la realización de proyectos de mejora, normalmente se basa en la “traducción” de la estrategia de la empresa a objetivos operativos (George, 2003).

Una de las técnicas más utilizadas para la implementación del Six Sigma es DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control): definir consiste en clarificar el problema y acotar su alcance para tener un objetivo claro; medir es recopilar datos para análisis de alto nivel; analizar se refiere a identificar fallas del proceso o etapas de él donde no se puede asegurar el control eficaz para realizar dichos datos por medio de herramientas estadísticas de variación; mejorar, consiste en mejorar, formular, recomendar y poner en marcha la ejecución de las mejoras; y controlar se trata de crear herramientas o métodos que permitan mantener e incrementar las mejoras aplicadas.

## **ANTECEDENTES**

La preocupación mundial por reducir el creciente gasto en salud y mejorar la calidad de la atención del paciente ha impulsado la búsqueda de nuevas herramientas para la gestión de las entidades del sector (Santoro et al., 2015; Aronsson et al., 2010; Souza, 2009; Jacobs & Pelfrey, 1995; Muñoz, 2010). Experiencias internacionales han demostrado que las prácticas de mejoramiento continuo del sector manufactura pueden ser adaptadas con excelentes resultados (Rivera, 2003; George, 2003; Rentería, 2006; De Koning et al., 2006).

Colombia no es ajena a esa realidad, busca reducir el creciente gasto en salud y mejorar la calidad de la atención del paciente (Santoro et al., 2015) por lo que ha empezada a implementar metodologías Lean y Six Sigma para optimizar el uso de los recursos al interior de los centros hospitalarios, principalmente en unidades de urgencias, laboratorio y cirugía (Rentería, 2006; Ruiz, 2016; Ruiz

& Villarreal, 2017; Tejedor et al., 2014; Giraldo, 2016; Fundación Hospital San Vicente [FHSV], 2018). Estas metodologías se fundamentan en la disminución y eliminación de desperdicios y han permitido mejoras importantes en cumplimiento, seguridad y calidad del servicio.

El Ministerio de Salud y Protección Social de la República de Colombia [Minsalud] ha venido trabajando en programas de mejoramiento de la calidad de la prestación de los servicios de salud. En 2017 implementó la capacitación sectorial del Modelo Integral de Atención en Salud [MIAS] en el cual se desarrolla una política para el mejoramiento de la calidad en salud impulsando el enfoque sistémico en la gestión administrativa y clínica en los agentes del sistema y se promueven cambios normativos en materia de calidad que impulsan la humanización, seguridad, coordinación y transparencia en el sistema. Previamente había instaurado el Programa de auditoría para el mejoramiento continuo de la calidad en la atención en salud [PAMEC], el cual va más allá de una simple evaluación de calidad y se entiende como un proceso de autocontrol donde se le otorga una gran importancia a las oportunidades de mejora pertinentes de intervención (Decreto 1011 de 2006). Esta metodología es obligatoria y se debe reportar anualmente bajo unos lineamientos definidos por el Ministerio, donde se autoevalúa la institución bajo varios aspectos con el ánimo de priorizar propuestas de mejora; sin embargo, esta metodología es subjetiva en la calificación y enmarca oportunidades de mejora de manera general y no sustentada en hechos y datos. La ruta crítica del programa (Resolución 1043 de 2006, Anexo Técnico No. 2), se presenta en la FIGURA 1.

Por otra parte, los requisitos actuales de acreditación de calidad exigen la resolución de necesidades y expectativas de los pacientes y la mejora continua en la calidad de la atención manteniendo, al mismo tiempo, bajos costos. Mejorar la eficiencia y eficacia de los procesos internos representa una oportunidad



**Figura 1. PAMEC: ruta crítica**

para disminuir los costos de la salud, mejorar los procesos y la calidad de la atención prestada a los pacientes y aumentar la satisfacción del personal (Kim et al., 2006; Cretikos et al., 2006; Santoro et al., 2015).

Lean ha sido identificado como una alternativa a los enfoques tradicionales que buscan la solución de los problemas de calidad en un hospital o clínica. Algunos impactos de agregar valor mediante aplicaciones de Lean Healthcare son: mejor cuidado de los pacientes; adecuado diagnóstico y tratamiento; mejor calidad en los procesos de atención; mejor diseño de los procesos; mayor rendimiento financiero; mayor valor para el paciente; mayor productividad; oportuna prestación de servicios; reducción de los tiempos de espera; reducción de errores, incidentes y procedimientos inadecuados; y disminución de costos (Tejedor et al., 2014; Macedo et al., 2016; Ruiz & Villarreal, 2017; Vargas & Molina, 2009).

De acuerdo con las experiencias revisadas, la implementación de Lean en diferentes unidades de atención médica requiere de varios enfoques y se ve afectada por el contexto organizacional en el que se trabaja; Lean, entonces, no es un concepto homogéneo o invariable, sino dependiente del contexto en que se desarrolla. Los principales factores contextuales presentes en la literatura e identificados por los principales autores que han escrito sobre barreras y facilitadores en la implantación de lean y confirmados por los estudios posteriores son: compromiso y apoyo de la alta dirección, cultura organizacional, estructura organizativa, colaboración interdepartamental y multidisciplinar, recursos y capacidad financiera, liderazgo, equipos multidisciplinarios, trabajo en equipo, formación y educación, participación activa, comunicación e intercambio de información, pensamiento sistémico y transversal (Jacobs & Pelfrey, 1995; Rentería, 2006; Lynn et al., 2014; Chalice, 2007; Aronsson, 2010; Ruiz & Villarreal, 2017; FHSV, 2018).

La introducción de Six Sigma en clínicas y hospitales estimula la generación de conciencia para encontrar oportunidades para mejorar la prestación de la asistencia sanitaria y también para asumir la responsabilidad de eliminar las deficiencias. Al usar Six Sigma se dejan de lado las decisiones basadas en supuestos y sentimientos y en información inexacta e incompleta, los trabajos asumen la responsabilidad y proporcionan a la gerencia soluciones basadas en hechos y datos (De Koning et al., 2006; Breyfogle, 2003; Van den Heuvel et al., 2005).

Six Sigma y Lean Manufacturing son altamente complementarios y una excelente combinación para abordar los retos de la atención médica actual. La primera proporciona un enfoque de mejora integrado que aumenta la calidad al reducir variaciones, defectos y costos, mientras que Lean agrega herramientas que aumentan el rendimiento del proceso al eliminar el desperdicio Ruiz & Villarreal, 2017; De Koning et al., 2006; Breyfogle, 2003; Van den Heuvel et al., 2005; Santoro et al., 2015; Giraldo, 2016; FHSV, 2018). Los estudios que muestran aplicaciones de estas metodologías en unidades de imágenes diagnósticas son contados. A continuación se describen tres casos.

Ruiz y Villarreal (2017) desarrollaron la metodología Lean Healthcare como estrategia de mejoramiento continuo para elevar el nivel de servicio del área de imágenes diagnósticas del Hospital Universitario de La Samaritana [HUS] en Bogotá (Colombia), específicamente en el servicio de Tomografía Axial Computarizada [TAC] y los procedimientos de radiología intervencionista. Su trabajo se dividió en seis fases: caracterización de la situación actual, mapeo del flujo de valor del proceso, identificación de las causas de los desperdicios, definición de estrategias Lean, implementación de estrategias a corto plazo y evaluación del impacto de las estrategias de mejoramiento aplicadas. Su trabajo permitió disminuir el porcentaje de tiempo que no agrega valor al proceso mediante la reducción de mudas tales como: movimientos, tiempos de espera y sobre proceso, además del cambio de cultura organizacional con relación a la comunicación efectiva interna y entre áreas interrelacionadas y sentido de pertinencia.

Workman y Woodwardag (2006) implementaron metodologías Lean Six Sigma en un hospital del grupo de The Sisters of St. Francis Health Services [SSFHS]. En un trabajo de equipo, junto con trabajadores del hospital y profesores de Indiana University – Purdue University Indianapolis [IUPUI], estructuraron un proyecto DMAIC. En la primera fase se desarrolló un diagrama SIPOC [*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*] con el cual se evidenciaron los factores críticos de cada proceso en cuanto a proveedores, entradas, salidas y clientes, y se planteó el problema en términos de: falta de disponibilidad de procedimientos de TAC y resonancia magnética [RMI], inoportuna notificación de los resultados de los exámenes y, como efecto de ello, baja satisfacción de los pacientes. Además, se definieron como objetivos del proyecto: identificar y reducir el impacto de las restricciones de los procesos de radiología; proporcionar una hoja de ruta para maximizar el número de



procedimientos disponibles, en una base diaria, en las áreas de TAC y RMI; proporcionar un plan de trabajo para aumentar la satisfacción del paciente. Con el fin de acotar la intervención, se estableció que el alcance del proyecto sería solamente para TAC y RMI. En la segunda fase identificaron como indicadores de resultados de rendimiento: los procedimientos que se programan en el momento oportuno (menor a 48 horas) y la notificación oportuna de los resultados (menor a 24 horas). Asimismo, el análisis del proceso mostró que el tiempo promedio entre la remisión del médico hasta la fecha en que el paciente es atendido era de ocho días y que el tiempo promedio en el que el médico recibía el informe de los exámenes era de dos semanas. En la tercera fase se estableció que las áreas clave de retraso en el proceso eran lectura y transcripción, y se identificaron las causas más relevantes: disponibilidad de recursos y materiales necesarios en cada área; cantidad de radiólogos programados por turno (tres); y desorden en la entrada y salida de exámenes en el área de lectura. Para la cuarta fase se implementó el concepto de *First In First Out* [FIFO] en el área de lectura, con el fin de mantener un flujo ordenado de exámenes, y se añadió una persona en el turno de la noche en el área de transcripción, buscando reducir el tiempo de paso entre lectura y transcripción. El proyecto obtuvo una reducción de treinta minutos a quince minutos en el tiempo de espera de los pacientes para estos dos exámenes y logró la realización de una TAC adicional por día, lo que significa reembolsos de hasta 400.000 dólares al año.

Karstoft y Tarp (2011) por su parte, describen el proceso, la experiencia y los resultados de la implementación de Lean Management en el área de radiología del Hospital Universitario de Odense [OUH] de Dinamarca. Esta implementación surgió como respuesta a la creciente demanda de exámenes y tratamientos. Dado que para la mayoría de los empleados de este hospital la metodología era desconocida –lo que podría haber generado resistencia a su implementación–, en el periodo introductorio al tema, usando información del área y su proceso, se hizo una lista descriptiva de las formas inapropiadas de hacer las cosas, con el fin de sensibilizar y tomar conciencia acerca de las actividades que no agregan valor al proceso y con ello identificar oportunidades de mejora. Con el fin de aumentar el interés de los empleados y motivar su aporte de ideas para aumentar la productividad, el director decidió que el 55 % de las ganancias obtenidas mediante este trabajo estaría destinado a actividades de educación, cursos, investigación y conferencias para los empleados, y solo el 45 % a la realización de más exámenes.

Se estableció un grupo Lean en el departamento de Radiología, incluyendo a los jefes, con el fin de organizar jornadas temáticas y cuidar la información y la aplicación de este concepto, en todas las etapas del proceso. Uno de los primeros proyectos se dio en la sección de Tomografía Computarizada [TC] debido al aumento del tiempo de espera para los exámenes e informes, la acumulación de exámenes por hacer y la falta de tiempo para la formación del personal. Una de las herramientas Lean utilizadas fue Kaizen usando un tablero para que los trabajadores colocaran notas con un problema o sugerencia para mejorar el procedimiento, las que eran revisadas semanalmente por el equipo Lean donde se discutían y se acordaba cómo ponerlas en práctica. También se utilizó la herramienta VSM y se permitió que un miembro del equipo Lean y un miembro del equipo TC hicieran el seguimiento a un paciente, desde la solicitud del examen por parte del médico, hasta la entrega del resultado. En ese proceso, se tuvo en cuenta el tiempo de cada etapa del flujo de proceso y el tiempo de espera, se identificaron los problemas generados y se trazó un nuevo flujo de trabajo teniendo en cuenta las actividades que crean valor para el paciente. Previo al proyecto, el tiempo de atención de los pacientes con mayor tiempo de espera era de tres meses; después de él, el resultado del tiempo de atención de los pacientes se redujo a cuatro semanas. Usando 5S se organizó, clasificó, eliminó y estandarizó la aplicación de normas para mantener las áreas limpias y organizadas; mediante SMED se identificó el exceso de tiempo de preparación de los pacientes –en comparación con el tiempo de formación de imágenes–, y se estableció, como una de las soluciones, una sala de preparación. Tras la implementación de la metodología se logró atender seis pacientes adicionales por día y, como efecto de la disminución del tiempo de espera, aumentó la realización de exámenes. La respuesta del personal fue positiva, tenían más claridad de la jornada de trabajo y un mejor flujo, estaban centrados en la mejora continua. Decidieron continuar trabajando con esta metodología, reuniéndose una vez a la semana quince minutos para discutir y resolver los problemas encontrados.

Uno de los objetivos de la implementación de la metodología Lean, mencionan los autores, fue mejorar el desempeño y la eficiencia del servicio de atención ofrecido en el departamento de Radiología, teniendo en cuenta la fluidez de los pacientes y de los recursos disponibles en dicha área, para así eliminar actividades que no agregan valor al proceso, optimizar el valor de los servicios prestados, disminuir variaciones imprevistas en los procesos y el inadecuado uso de las capacidades de las personas, equipos y sistemas. La efectividad de esta

implementación, agregan, depende del manejo integral que se le dé dentro de la organización en general, pues se requiere de una participación permanente del área y del hospital.

La metodología hace hincapié en el análisis de los procesos del área y está fundamentada bajo unos principios que deben ponerse en práctica constantemente para lograr una transformación, explican En primera instancia consideran la igualdad de participación y el respeto para todos miembros del personal, es decir, proporcionar retroalimentación y destacar el progreso de la implementación a los trabajadores e invertir en su formación como premio a las sugerencias o proyectos que se puedan llevar a cabo para la mejora del sistema. También priorizan la observación directa y las visitas al lugar de trabajo, la evaluación del ambiente de trabajo y la solicitud al personal para que muestren su trabajo y aporten en la identificación de los problemas y sus soluciones.

Con respecto a la eliminación de residuos, se realizó una serie de preguntas dirigidas a identificar las actividades que no agregan valor al proceso. La estandarización de los procesos de trabajo, mediante los diagramas de flujo, listas de control o sistemas *push* y *pull* permitieron minimizar la variación de procesos complejos. La mejora en el flujo de los procesos se soportó en la utilización de herramientas Lean como VSM o diagrama de espagueti – identificación de cuellos de botella–, 5S –mantenimiento del orden y mejora del flujo de procesos–, el uso de señales visuales para comunicar e informar y de la hoja tamaño A3 para la descripción del problema, los objetivos y el plan de acción.

Algunos antecedentes de la aplicación de los principio de manufactura liviana en el sector salud, ya no en unidades de imágenes diagnósticas, son:

- Rivera (2003) aporta una estructura de prerrequisitos para la implementación de Lean Manufacturing y sus técnicas y discute la lógica y validez conceptual de dicha estructura;
- Van den Heuvel et al. (2006) muestran cómo abordar Lean Six Sigma en hospitales teniendo en cuenta sus grandes retos actuales de calidad en la atención y proporciona un enfoque de mejora integrada que aumenta la calidad al reducir variaciones, defectos y costos.
- Casey et al. (2009) aplican herramientas lean en un hospital con el fin de eliminar desperdicios y mejorar su capacidad, el manejo de los inventarios y el tiempo de flujo;

- Meredith et al. (2011), en un estudio realizado en cinco hospitales internacionales, aplicando SMED identifican los factores clave del tiempo de cambio entre cirugías y formulan recomendaciones para disminuirlo y aumentar así la productividad de los quirófanos;
- Newell et al. (2011) implementan un sistema Kanban para mejorar la entrada de medicamentos a pacientes hospitalizados, lo que proporcionó disponibilidad JIT de medicamentos y mejoró notablemente los procesos de entrega y la seguridad y satisfacción del paciente;
- Amedee et al. (2012) aplican eventos Kaizen en el Ochsner Health System en New Orleans (LA) para analizar la eficiencia, puntualidad y seguridad en el traslado de pacientes;
- Mazzocato et al. (2012) mejoran los tiempos de respuesta del departamento de emergencias de un hospital en Suecia utilizando principios lean como: trabajo estandarizado, flujo de proceso, equipos de trabajo y empoderamiento de las personas;
- Smith et al. (2012) aplicando Kaizen en el Albemarle Home Care, en Carolina del Norte, mejoraron los tiempos de asignación de las enfermeras, lo que se tradujo en menores costos, mejores condiciones de trabajo y aumentos en el número de pacientes atendidos y en el número de visitas por día;
- Southard et al. (2012) evalúan la implementación de RFID en un hospital y utilizaron dispositivos Poka Yoke para mejorar la seguridad de los pacientes y la rentabilidad de la operación y asegurar el éxito del proceso de cirugía ambulatoria;
- Yusof et al. (2012) aplican VSM en un sistema de información en salud para eliminar desperdicios y optimizar el flujo de procesos, y con ello identificaron problemas relacionados con la ineficiencia y el desperdicio en el proceso clínico y propusieron un modelo mejorado;
- Chiarini y Bracci (2013) aplican Lean Six Sigma en dos hospitales públicos de Italia y determinaron su nivel de aceptación entre sus administradores, doctores y enfermeras;
- Coelho et al. (2013) mediante la aplicación de VSM y Heijunka en la unidad de oncología del Hospital Regional do Vale do Paraiba (Brasil) aumentan su capacidad, rediseñan el proceso, reducen transportes y eliminan el tiempo extra;

- Bhat et al. (2014) establecen el alcance de la estrategia Lean Six Sigma y exploran su despliegue exitoso en salud mediante un estudio de caso con enfoque DMAIC aplicado a la mejora del proceso de registro en el Departamento de Información de Salud de un hospital en la India;
- Tejedor et al. (2014) aplican un diseño cuasi experimental pre-post intervención a la aplicación de la metodología Lean para la gestión de procesos productivos, útil para detectar procesos inefectivos y tiempos de espera evitables en un servicio de urgencias hospitalarias de alta complejidad;
- Lynn et al. (2014) orientan su trabajo a cómo implementar herramientas Lean en salud y muestran su capacidad de mejorar la calidad, la productividad y la seguridad en los quirófanos y transformar el sistema y la cultura mediante el compromiso del personal;
- Macedo (2016) demuestra cómo la aplicación de iniciativas simples – técnicas de gestión de la calidad– en el sector de salud pública, pueden mejorar la calidad del servicio, y evidencia cómo la inclusión y el desarrollo de grupos de trabajo colaborativos pueden marcar la diferencia en el entorno de trabajo y la calidad del servicio e incidir en los resultados; y
- Martínez et al. (2016) usando herramientas Lean en una unidad de urgencias que incumplía/excedía los estándares de tiempo para atención al paciente de la Secretaría de Salud de Bogotá, establece áreas y procesos que no agregan valor y genera planes de acción para mejorar los tiempos de atención.

En cuanto a revisiones, para efectos de ampliación se recomienda consultar:

- Arrieta y Giraldo (2014), quienes revisan el uso y la aplicación de herramientas Lean en organizaciones de salud colombianas y comparan sus resultados con experiencias de otros países;
- Ruiz y Ortiz (2015), que analizan las tendencias de las publicaciones, identifican los autores más influyentes y describen las futuras investigaciones en la aplicación de Lean en el sector salud; y
- Giraldo (2016), quien revisa el uso de once herramientas Lean –Hoshin Kanry, fábrica visual, 5S, VSM, Poka Yoke, Heijunka, Kanban, Andon, Jidoka, Kaizen y SMED–, en ambientes manufactureros y hospitalarios e identifica las más usuales, su impacto e implicaciones y el nivel de familiaridad que tienen con ellas las entidades del sector en Medellín.

## **DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA LEAN PARA LA MEJORA EN LA UNIDAD DE IMÁGENES**

La eficiencia de las operaciones de la organización del caso de estudio es un tema crítico, sin embargo, cuando existen brechas o problemáticas, ellas se tratan de mitigar con soluciones que surgen desde la experiencia de cada área. Con esta estrategia, aunque en ocasiones se logran soluciones inmediatas, de corto plazo, por no haber evaluado integralmente las causas y afectaciones en toda la cadena valor, los problemas reaparecen. No se ataca la causa raíz, ya que no existe un área de mejoramiento continuo que diseñe flujos de procesos que permita abarcar los problemas integralmente.

La necesidad de metodologías más robustas es clara y ofrece la oportunidad de incorporar progresivamente metodologías de mejoramiento continuo e iniciar, mediante el uso de herramientas Lean Six Sigma, el desarrollo de una cultura de mejoramiento transversal en toda la organización. La expectativa es que el caso estudio en la unidad de imágenes se pueda escalar hacia el resto de las unidades y se enlace con nuevos retos de mejoramiento.

Para el desarrollo de este trabajo se conformó un grupo interdisciplinario incluyendo personal de la unidad de imágenes y del equipo de estadística de la institución. Para asegurar una efectiva transición a una cultura de mejoramiento, se involucró a la dirección de la institución en una dinámica receptiva y colaborativa junto con las partes interesadas que se relacionan con esta unidad.

A continuación se presenta el desarrollo de una serie de pasos de la metodología DMAIC junto con herramientas y filosofía de la metodología Lean Healthcare aplicados a la mejora del servicio de la unidad: la primera, a través métricas estadísticas permite la detección de cuellos de botella en cada etapa del proceso; la segunda, ayuda a detectar los tipos de desperdicio que se presentan en la operación. En conjunto estas metodologías permiten ver el escenario completo de la unidad sistémicamente y generar un plan de mejoramiento robusto para su continuación metódica en retos futuro de mejoramiento.

### **DEFINIR**

Se determinó estudiar la unidad de imágenes como prueba piloto para el desarrollo formal de la metodología de mejoramiento continuo a través

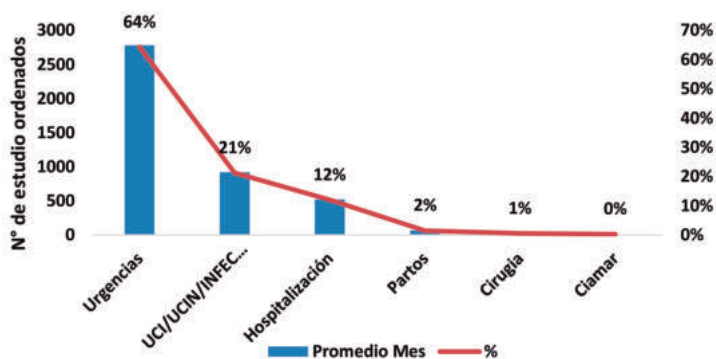
de una serie de pasos genéricos que pueda ser aplicada en cualquier otra unidad. La selección obedece a que esta es una unidad transversal a todas las áreas misionales de la institución, por lo que a partir de su gestión se puede descongestionar y mejorar el flujo de las otras unidades con la oportunidad en la entrega de resultados a pacientes con citas ambulatorias y hospitalizados.

El primer paso fue la identificación y definición del macroproceso de la unidad de imágenes en entradas, proceso y salidas a nivel general. Como se presenta en la FIGURA 2, los clientes (entradas) son los mismos proveedores (salidas) ya que son quienes generan las órdenes de servicio y suministran el insumo para la toma de estudio en las diferentes modalidades de imágenes diagnósticas (proceso). Este esquema permite visualizar de forma global las entradas que empujan los procesos de la unidad de imágenes, contextualizando los distintos modos de estudio y clientes finales. A partir de esto –y con un análisis estadístico previo– se presenta la modalidad de estudio de imágenes con mayor desviación en tiempos de respuesta en la entrega de resultado frente a la meta establecida.



Figura 2. Macroproceso de la unidad de imágenes / tipo de cliente y modalidad de estudio

Con el objetivo de determinar cuál modalidad y qué tipo de paciente priorizar para el desarrollo de este estudio, se realizó un análisis estadístico descriptivo para contextualizar comportamientos y participaciones porcentuales en la demanda de órdenes a la unidad de imágenes. La FIGURA 3 presenta la distribución de la demanda que recibió la unidad entre enero y julio de 2019 de acuerdo con



**Figura 3. Demanda de estudios recibido por la unidad de imágenes, según tipo de cliente (promedio enero – julio, 2019)**

el tipo de cliente. Como se puede observar, el mayor demandante es Urgencias con una participación del 64 % (2781 estudios solicitados en promedio por mes), seguido de lejos por las unidades especiales de la UCI y hospitalización.

Tomando como base lo demandado por la unidad de Urgencias se realizó la estratificación por modalidad de estudio (TABLA 1) para identificar la modalidad más crítica o más desviada frente a la meta –el objeto de estudio–. El tiempo de entrega de resultado se calculó desde el momento en se genera la orden (médico tratante) hasta que el estudio es analizado (médico tratante). Como se puede observar, la modalidad de mayor demanda es rayos X (60 %), seguida de tomografía (17 %) y ecografía (14 %); sus desviaciones en el tiempo de entrega

**Tabla 1. Estratificación de modalidades de estudio y relación tiempo de entrega real**

Variable	Órdenes de estudio		Tiempo de entrega del resultado (horas)		Desviación frente a la meta (horas)	Priorización de necesidad
	#	%	Real	Esperado		
RX	9.999	1.667	60	4	2	3.334
Tomografía	2.854	476	17	12	9	1.428
Ecografía	2.280	380	14	19	9	3.800
Resonancia	545	91	3	26	9	1.547
Endoscopia	523	87	3	31	9	1.914
Cardiología	486	81	3	39	9	2.430
Total	16.687	2.781	100			



de resultado son dos, tres y diez horas, respectivamente. La puntuación más alta de priorización de necesidad (frecuencia x desviación) la obtuvo ecografía (3.800), lo que despertó el interés tanto del equipo de trabajo como de la alta dirección, por el impacto que provoca en las largas estancias de observación en pacientes de urgencias. En la FIGURA 4 se observa un comportamiento constante en el tiempo, con un promedio de enero a julio de 19 horas, una alta desviación respecto del valor esperado (9 horas).

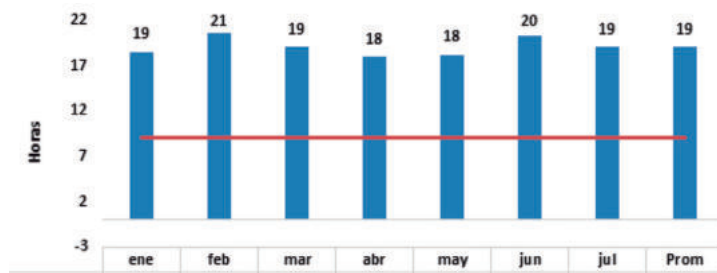


Figura 4. Tiempo de entrega de resultados de ecografía a pacientes de Urgencias

Esta inoportunidad (incumplimiento en tiempo de entrega de una solicitud), en este caso en la entrega de resultados de los estudios de ecografía, viene provocando el incumplimiento de las metas en satisfacción de los usuarios, los resultados que, como se observa en la FIGURA 5, se ubica 22 % por debajo de

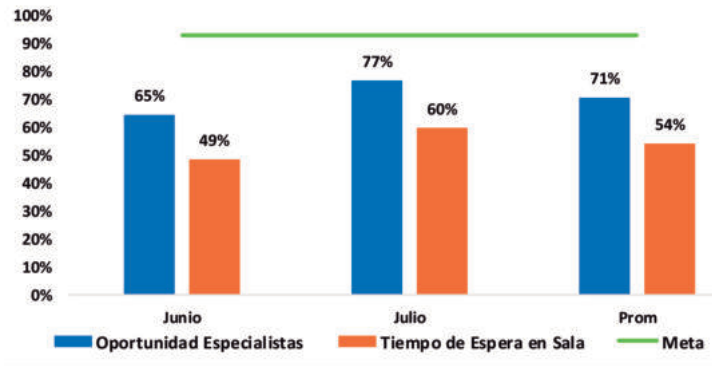
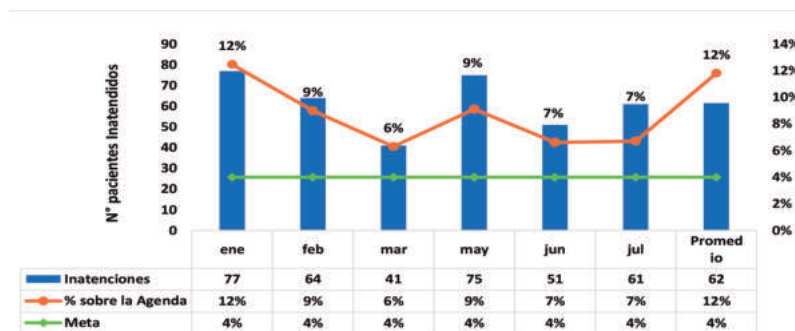


Figura 5. Satisfacción usuarios de Urgencias respecto a tiempos en la atención en exámenes de ecografía

la meta institucional (93 %). En la FIGURA 5, oportunidad de especialista se refiere al tiempo que le toma al paciente en ser atendido, desde el momento en que se le informa sobre la solicitud de la toma de la imagen, hasta el momento cuando es tomada la ecografía; el tiempo de espera en la sala, por su parte, se mide desde el instante en que el paciente es llamado a urgencias para la toma de la ecografía, hasta su toma.

Revisando las Peticiones, Quejas y Reclamos [PQR] de la institución se encontró que la mayor incidencia de quejas de los usuarios de la unidad de urgencias se presenta por la demora en los tiempos de toma del estudio e interpretación de los resultados (90 %), mientras que las quejas internas se relacionan más con la demora en la entrega del paciente y su inadecuada preparación (12 %), hecho lo que provoca: la prolongación en los tiempos de toma, cancelaciones de los especialistas y fallas en la comunicación. En la FIGURA 6 se presentan las inatenciones, esto es el número de cancelaciones que se dan por un inadecuado alistamiento, preparación o demora del paciente, y el efecto porcentual de ellas sobre la agenda (inatenciones / citas programadas).



**Figura 6. Inatenciones y su efecto sobre la agenda**

La TABLA 2 corresponde a la matriz de la voz del cliente (VOC, *Voice Of Client*) voz del negocio (*Voice Of Business*) para la modalidad de ecografía de la unidad de imágenes, y la FIGURA 7 a la hoja de proyecto, con la cual se establece formalmente el inicio de un proyecto de mejora, e incluye: el nombre del proyecto, el equipo de trabajo, la descripción del problema, los objetivos, el alcance, los beneficios financieros y las métricas clave para comparación con las acciones de mejora.

## Metodología para mejora de los procesos de una unidad de imágenes diagnósticas en una clínica de Cali

<b>Título del Proyecto:</b>			<b>Mejora de la prestación del servicio de salud de la unidad de Imágenes, en la modalidad de Ecografía pacientes de Urgencias</b>		
<b>Champion:</b>	Dirección Médica		<b>Planteamiento del Problema</b>		
<b>Dueño del Proceso:</b>	Coordinador Imágenes		<b>Descripción del Problema:</b>		
<b>Líder Equipo</b>			Demora en el tiempo de entrega de resultados de imágenes en la modalidad de Ecografía de pacientes de Urgencias.		
Daniel Palma			<b>Definición de objetivo y alcance:</b>		
<b>Equipo de trabajo</b>			<b>Objetivo:</b>		
Oscar Vargas	Compañero de Tesis		Disminuir los tiempos de entrega de resultados de imágenes en la modalidad de Ecografía sin afectar la calidad del servicio de la misma en pacientes de Urgencias.		
Angelica Burbano	Directora de Tesis		<b>Alcance:</b>		
Santiago Lagos	Estudiante Practicante		Ordenes generadas de la unidad de Urgencias, a la modalidad "Ecografía" que se procesan en la unidad de imágenes.		
Paola Cardenas	Auxiliar de Estadística		<b>Fuera del alcance:</b>		
<b>SME's</b>			* Otras modalidades de estudio de unidad de imagen. * Ecografías Ordenadas por otras unidades estratégicas del negocio * Estudios de imágenes que requieran ser procesadas de manera tercerizada		
Coordinador Imágenes	Radiólogo de operación		<b>Beneficios y Métricas claves:</b>		
<b>DMAIC</b>			<b>Beneficio Financiero:</b>		
Definir	17/06/2019	30/06/2019	Aumento de ingresos por aumento de ordenes realizadas Aumentar productividad de los equipo biomédicos Disminución de costos por no pertinencia en la generación de ordenes del estudio.		
Medir	08/07/2019	09/08/2019	<b>Otros Beneficios:</b>		
Analizar	09/08/2019	01/09/2019	Eficiencia Hospitalaria Satisfacción Cliente Oportunidad para evolución del paciente		
Imp Mejora	01/09/2019		<b>Métrica clave</b>		
Controlar	16/09/2019		Nombre	Actual	Meta
			Métrica #1:	Tiempo de entrega del resultado al paciente ECOGRAFIA	19 Horas / 9 Horas
			Métrica #2:	Satisfacción del Cliente Tiempo Respuesta	71% / 93%

**Figura 7. Hoja de proyecto**

**Tabla 2. VOC /VOB de la unidad de imágenes en la modalidad de ecografía**

VOC/VOB Quejas	Característica de calidad (problema clave)	CTQ – necesidades (critico para la calidad)	Medición / indicador
Reproceso en el agendamiento del paciente	Descentralización de los sistemas de información (Servinte - Medilab)	Conexión automática y en línea en los sistemas de información	Oportunidad en la recepción, programación y comunicación de la orden de estudio.
Prolongación de los tiempos en la realización del estudio.	Puntualidad en la entrega del paciente Preparación/ y alistamiento del paciente.	Tener recurso humano e infraestructura disponible, equipos calibrados para realizar el procesamiento	Tasa de inatención por mal alistamiento, preparación del paciente.

**Tabla 2. VOC /VOB de la unidad de imágenes en la modalidad de ecografía (cont.)**

VOC/VOB Quejas	Característica de calidad (problema clave)	CTQ – necesidades (crítico para la calidad)	Medición / indicador
Demora en la realización del estudio.	Disponibilidad de médicos radiólogos	Respuesta oportuna en la toma de del estudio.	Oportunidad en la toma del estudio.
Demora en la interpretación del médico tratante una vez cargado el resultado del estudio	Alertas o sincronización del sistema Alta demanda de pacientes en urgencias	Tener recurso disponible y oportunidad de interpretación del resultado	Oportunidad en la interpretación del estudio

Finalmente, se identifican las etapas del proceso con sus respectivos proveedores, entradas, salidas y clientes mediante el diagrama SIPOC, el cual permite visualizar los procesos clave en toda la cadena de valor (FIGURA 8).



**Figura 8. SIPOC**

## MEDIR

Luego de haber identificado la situación actual y formalizado el inicio del proyecto, se planificó la realización del análisis de la demanda (curva horaria, estadísticas descriptivas), el cálculo de la capacidad del servicio (disponibilidad del servicio, equipos), la medición del trabajo y la medición de tiempos de espera mediante la metodología de muestreo estadístico, con el fin de identificar dónde focalizar los recursos, cómo funciona actualmente el servicio y cuáles son las causas raíz.

El plan para la recolección de datos se dividió en dos categorías: plan de muestreo para medición del trabajo y plan de muestreo para medición de los tiempos de espera. Para la medición del trabajo se aplica metodología de muestreo del trabajo. Los procesos a los que se le realizó muestreo en modalidad ecografía son: recepción y programación de citas, realización del examen, lectura del examen y transcripción del examen.

El resultado del cálculo del tamaño de la muestra requerido permitió establecer que se requiere observar 96 actividades para determinar el porcentaje de actividades que agregan valor por cada proceso. Ese valor, al ser dividido entre el número de días disponibles (5) y el número de turnos por día (2), permite establecer la necesidad de realizar diez observaciones por turno en cada uno de los procesos. Con base en ellos se definieron los días y turnos de las observaciones con el propósito de garantizar una recolección aleatoria de las dinámicas que se puedan presentar en el proceso, y se diseñó el formato para la recolección de la información incluyendo como variables: la fecha, el proceso, un consecutivo, el turno y la actividad realizada y su clasificación (agrega o no valor), y encontrar la ubicación, la cantidad de personas, la disponibilidad, los tiempos de alistamiento, los tiempos de espera, la fluidez en el proceso, las dificultades, los desperdicios y el acercamiento con el personal operativo, entre otros.

En cuanto al plan de muestreo para la medición de tiempos de espera, cabe mencionar que la unidad utiliza dos software para administrar la trazabilidad del estudio de imágenes realizadas: Servinte, en donde se generan las órdenes de pacientes de urgencias y se observa el momento en que el estudio fue realizado; y Medilab, en donde se programan las ordenes visualizadas por Servinte – con los estados agendado, fecha cita, examen hecho, dictado, transcrito o firmado y aprobado– y queda digitalizado el estudio. En Medilab la unidad de urgencias puede consultar los resultados para continuar con el proceso de atención al paciente. En la FIGURA 9 se muestra el flujo de estados para realizar la trazabilidad de tiempos en el transcurso del proceso y en la TABLA 3 el proceso para los cálculos de tiempos de espera.

## **ANALIZAR**

Como corresponde, en esta etapa se analizó toda la información recolectada y validada por el área de estadística de la clínica, como por ejemplo la de los tiempos relacionados en los sistemas con los datos en las historias clínicas para

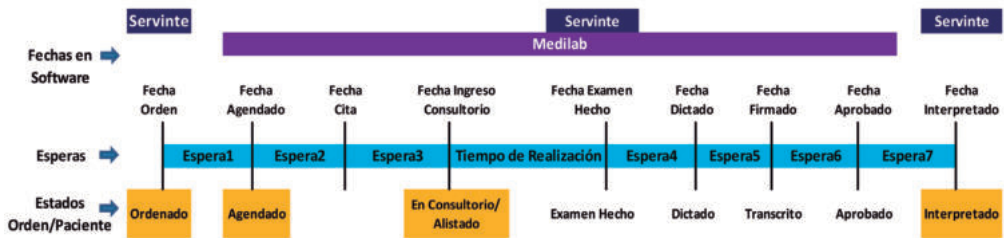


Figura 9. Proceso para cálculo de los tiempos de espera

Tabla 3. Clasificación de los tiempos de espera del proceso para entrega de resultados de la modalidad de ecografía

Espera	Cálculo
1	Tiempo entre la fecha agendada y la fecha de orden
2	Tiempo entre la fecha de la cita y la fecha agendada
3	Tiempo entre la fecha de ingreso al consultorio y la fecha de la cita
4	Tiempo entre la fecha de dictado y la fecha de examen hecho
5	Tiempo entre la fecha de firmado y la fecha de dictado
6	Tiempo entre la fecha aprobado y la fecha de firmado
7	Tiempo entre la fecha de interpretado y la fecha de aprobado

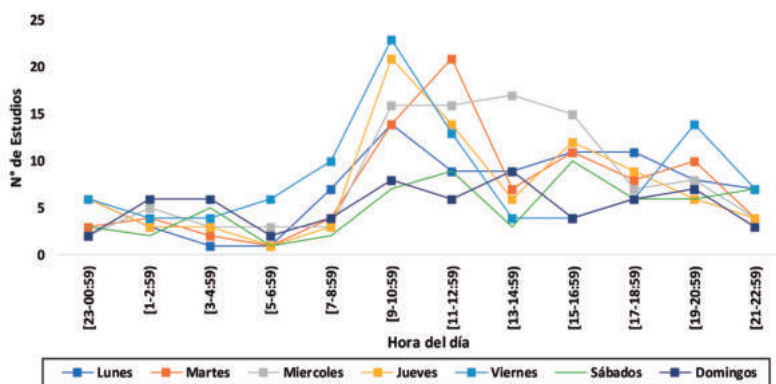
entender por qué ocurren los tipos de desperdicio que generan insatisfacción al cliente a partir de los siguientes pasos: análisis de la demanda

En el análisis de la demanda se presentó la curva de la demanda de órdenes de estudios de ecografía. Para efectos prácticos se estudió el mes de mayo, por no ser estacional y presentar un comportamiento normal. Se observó que el ordenamiento crece entre las 7 y las 13 horas, a lo que sigue un decrecimiento suave hasta llegar a las 21 horas. Los sábados y domingos la demanda disminuye significativamente entre 15 y 16 órdenes (FIGURA 10).

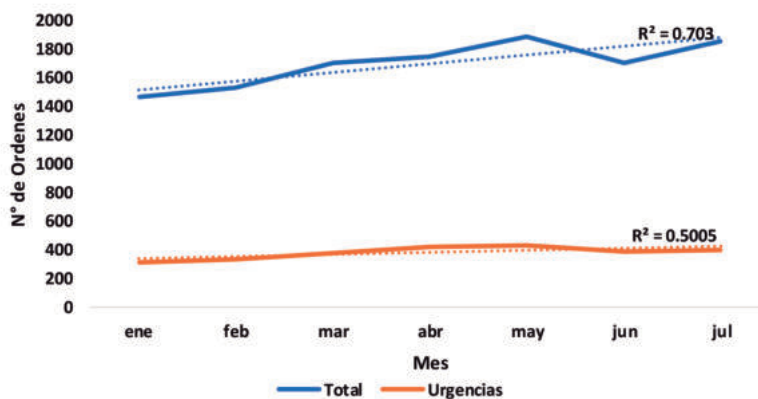
En lo corrido de 2019, se presenta una tendencia creciente de la demanda total de órdenes de ecografía que llegan a la unidad de imágenes, con un coeficiente de determinación del 70,3% (FIGURA 11), es decir que existe una correlación directa entre el tiempo y la demanda de órdenes estudio. En particular la demanda de urgencias tiene comportamiento estable a través del tiempo.

La TABLA 4 corresponde a la distribución del número de estudios ordenados, en ella se puede apreciar que los miércoles y viernes presentan mayor demanda

## Metodología para mejora de los procesos de una unidad de imágenes diagnósticas en una clínica de Cali



**Figura 10. Frecuentación media horaria de órdenes de ecografía / día de la semana en mayo de 2019**



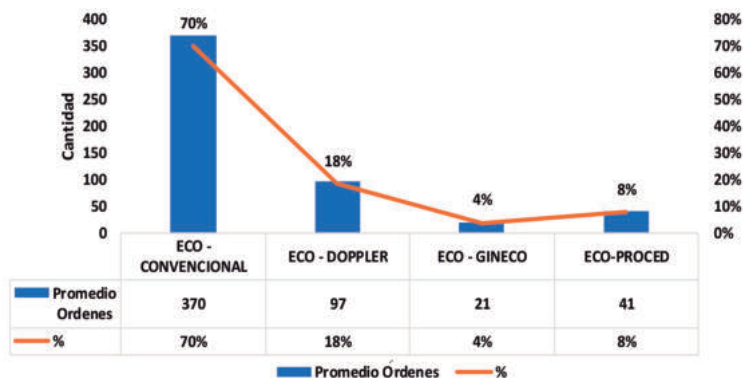
**Figura 11. Comportamiento del ordenamiento de ecografías en 2019 / ordenamiento total y tipo paciente de urgencias**

entre semana, con aproximadamente 25 estudios de ecografía por realizar, y que los picos más altos se concentran entre nueve y las trece horas.

Al segmentar la información por tipo de ecografía (FIGURA 12) se evidencia que la mayoría (alrededor de un 70 %) corresponden a ecografías convencionales (370 órdenes en promedio mes), mientras que las ginecológicas solo representan el 4%, con 21 órdenes, lo que aproxima a contextualizar la planeación de los recursos para satisfacer dicha demanda. La desagregación de esta información (promedio día y hora) se presenta en la TABLA 5.

**Tabla 4. Distribución horaria / día de las órdenes de ecografía de pacientes de urgencias en mayo de 2019**

Día	23-00:59	1-2:59	3-4:59	5-6:59	7-8:59	9-10:59	11-12:59	13-14:59	15-16:59	17-18:59	19-20:59	21-22:59	Total	Promedio
Lunes	6	3	1	1	7	14	9	9	11	11	8	7	87	22
Martes	3	4	2	1	4	14	21	7	11	8	10	4	89	22
Miércoles	2	5	3	3	3	16	16	17	15	7	8	4	99	25
Jueves	6	3	3	1	3	21	14	6	12	9	6	4	88	22
Viernes	6	4	4	6	10	23	13	4	4	6	14	7	101	25
Sábado	3	2	5	1	2	7	9	3	10	6	6	7	61	15
Domingo	2	6	6	2	4	8	6	9	4	6	7	3	63	16
Total	28	27	24	15	33	103	88	55	67	53	59	36	588	



**Figura 12. Órdenes de estudios de ecografía / tipo**

**Tabla 5. Distribución de órdenes / franja horaria y tipo de ecografía**

Tipo	23-00:59	1-2:59	3-4:59	5-6:59	7-8:59	9-10:59	11-12:59	13-14:59	15-16:59	17-18:59	19-20:59	21-22:59	Total
Convencional		3					10					2	15
cant.	1	1	1	0	2	2	2	1	2	1	1	1	
Doppler		1					3					1	5
cant.	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
Gineco		0					2					0	2
cant.	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
Proced		0					1					0	1
cant.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	



Luego de realizar la medición del trabajo en cada una de las etapas, se clasificaron las actividades identificando aquellas que agregan valor [VA] y las que no [NVA]. La FIGURA 13 corresponde a un gráfico de cuartiles para el tiempo total de entrega de resultados por tipo de ecografía, en ella se evidencia que las convencionales presentan menor variabilidad –con excepción de los datos atípicos que se presentan–; el 50 % de las entregas se hace en menos de trece horas; la mayor variabilidad se presenta en los procedimientos de ecografía con una desviación de 29 horas.

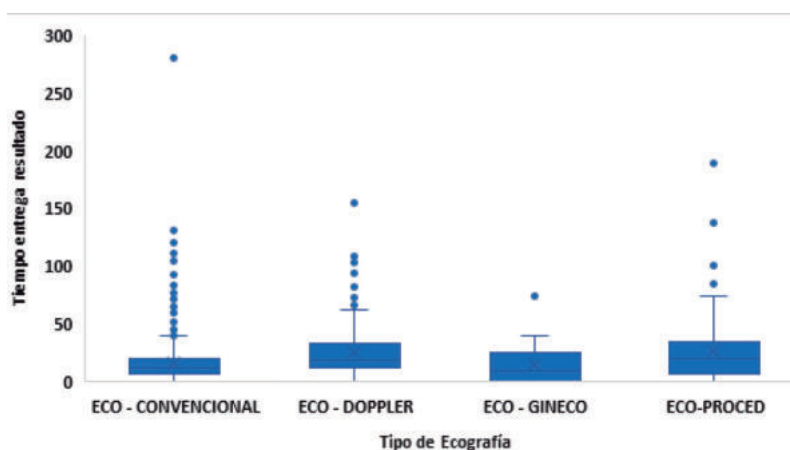


Figura 13. Cuartiles para el tiempo total de entrega de resultados / tipo de ecografía

En TABLA 6 se puede observar que los promedios son mayores a las medianas, lo que indica que la distribución de los tiempos tiende a tener mayor variabilidad, por encima del 50 % de los datos, lo que lleva a cuestionar por qué, cuándo y con quiénes se presentan estas desviaciones de la concentración de los tiempos de entrega de las ecografías.

Tabla 6. Resumen del tiempo de entrega total / tipo de ecografía

Tipo	Q1	Q2	Q3	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
Convencional	7	13	20	0	281	17	17
Doppler	13	19	34	0	155	26	21
Gineco	0	10	23	0	75	15	18
Proced	8	21	34	0	190	27	29

En la TABLA 7 se presentan los resultados de la etapa de recepción y programación, el equipo identificó que el 43 % de las actividades no agrega valor, lo que permite evidenciar varios tipos de desperdicios: tiempos de traslado innecesarios (traslados de grabadoras), sobre procesamiento (sistemas de información e información con el médico) y alistamientos demorados (cambios de un paciente a otro), entre otros.

**Tabla 7. Frecuencia relativa de las actividades observadas en la etapa de recepción y programación de pacientes – modalidad de ecografía**

Tipo	Actividad	f	%	Σ
VA	Sacar paciente e ingresar a consultorio	21	20,8	56,4%
	Organizar informe y entrega de resultados	15	14,9	
	Arreglar unidad	5	5,0	
	Recibir paciente urgencias	3	3,0	
	Marcar pacientes que llegaron	3	3,0	
	Apoyar cambio de equipo imágenes	2	2,0	
	Imprimir hoja pacientes agendados	2	2,0	
	Sacar pacientes del tablero clínico	2	2,0	
	Marcar paciente atendido	2	2,0	
	Revisar historia y agendar	2	2,0	
NVA	Buscar camillero de urgencias	8	7,9	43,6%
	Sacar paciente y llevar grabadora	6	5,9	
	Llamar a urgencias para verificar si salieron	6	5,9	
	Alistamiento paciente cambio de cama	3	3,0	
	Asistir médico	3	3,0	
	Buscar jefe para insumo	3	3,0	
	Entregar grabadora médico	3	3,0	
	Revisar si se agendó paciente	2	2,0	
	Responder información que desconoce	2	2,0	
	Recoger grabadora en transcripción	2	2,0	
	Verificación Internet	2	2,0	
	Entregar sello al médico	2	2,0	
	Indicaciones al médico	2	2,0	

En la siguiente etapas, toma y lectura del examen por parte de los especialistas radiólogos se identificó que el 61% de las actividades correspondientes a

la atención de los pacientes agrega valor (TABLA 8); en la etapa posterior, transcripción, se identificó que el 46% de las actividades agregan valor al proceso (TABLA 9).

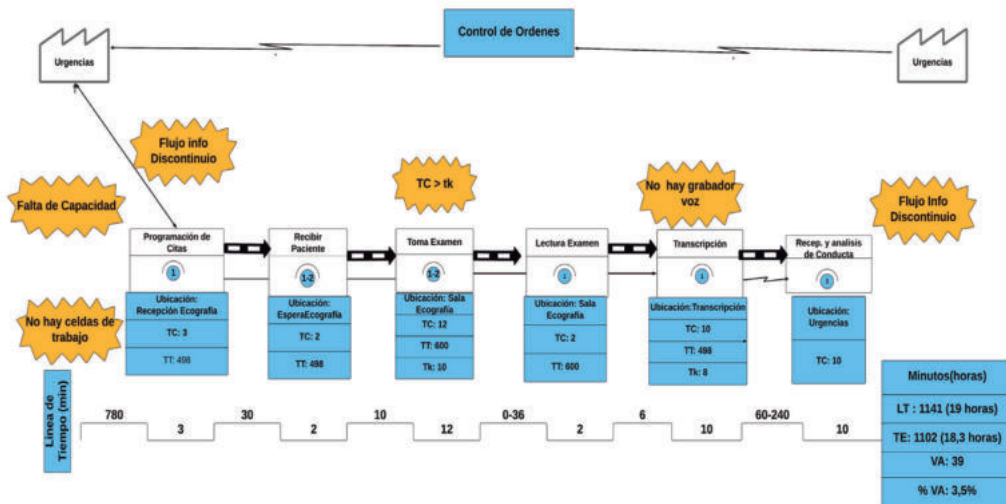
**Tabla 8. Frecuencia relativa de las actividades observadas en la etapa de toma y lectura – modalidad de ecografía**

Tipo	Actividad	f	%	$\Sigma$
VA	Toma de examen	21	22,6	51,3%
	Grabación de voz	16	17,2	
	Indicaciones al paciente	16	17,2	
	Ayudar a adecuar el paciente	4	4,3	
NVA	Volver a grabar la lectura	13	14,0	38,7%
	Llamar a la auxiliar por el grabador de lectura	5	5,4	
	Cancelar paciente por no pertinencia del examen	10	10,8	
	Llamar a pedir insumos	3	3,2	
	Responder dudas del personal transcriptor	5	5,4	

**Tabla 9. Frecuencias relativas de las actividades observadas en la etapa de transcripción – modalidad de ecografía**

Tipo	Actividad	f	%	$\Sigma$
VA	Organización de ficha terminada	10	10,9	45,7
	Escuchar audio	10	10,9	
	Consulta a compañeras	7	7,6	
	Filtrar urgencias	6	6,5	
	Notificación vía WP	3	3,3	
	Rectificación plantilla	3	3,3	
	Buscar ordenes por confirmar	3	3,3	
	Cambiar nombre audio	14	15,2	
NVA	Descargar audio	10	10,9	54,3
	Buscar paciente por audio	7	7,6	
	Colocar medidas con foto por error en la imagen	3	3,3	
	Falta de insumos medidas	3	3,3	
	Desplazamiento área ecografía	3	3,3	
	Verificación de audios	3	3,3	
	Confirmar agendamiento	7	7,6	

Durante la ejecución del muestreo se logró observar ubicaciones de las etapas, cantidad de personas, disponibilidad y condiciones exógenas que pueden afectar la dinámica del servicio, como por ejemplo la cancelación de la agenda por parte del especialista, el uso de equipos inadecuados y comunicación discontinua (FIGURA 14).



**Figura 14. Mapa de flujo de valor actual de la unidad de imágenes en la modalidad de ecografía**

Para el mapeo de la cadena de valor se usaron los tiempos promedio de cada etapa, teniendo en cuenta el muestreo de trabajo y los tiempos de espera de cada estado del paciente en el proceso, generados por Servinte y Medilab, que se presentaron en la FIGURA 9. Luego de cruzar ambas bases de datos se obtuvo la trazabilidad por paciente en toda la cadena de valor y se complementó la línea de tiempo promedio en minutos y horas contando desde que la unidad de urgencias ordena un estudio de ecografía hasta que efectivamente se le hace entrega de resultado al paciente.

En la FIGURA 14 se presenta el MFV actual y se identifican principalmente dos cuellos de botella: uno al inicio del proceso, con aproximadamente 780 minutos para agendar la toma; otro al final del proceso, de entre 60 y 240 minutos, para la interpretación del resultado en la unidad de urgencias.

El *lead time* presentó un promedio de 1.141 minutos (19 horas), es decir, el tiempo promedio total que un paciente debe esperar para la entrega del resultado de ecografía con un valor agregado del 3.5 %, valor objetivo que se quiere aumentar. Con base en el muestreo de trabajo, el gamba y las percepciones de los colaboradores y del equipo de trabajo se identificaron oportunidades de mejora en la comunicación, la capacidad del servicio, las celdas de trabajo, el ritmo de trabajo, los movimientos, la infraestructura y el liderazgo.

Entendiendo que el mayor cuello de botella está al inicio del proceso, se analizó la capacidad del servicio en función de la demanda promedio por día semana y se encontró insuficiencia en la capacidad del servicio para satisfacer la demanda (67%) de estudios en general de la institución (pacientes de urgencias, hospitalizados y ambulatorios), como se aprecia en la FIGURA 15.

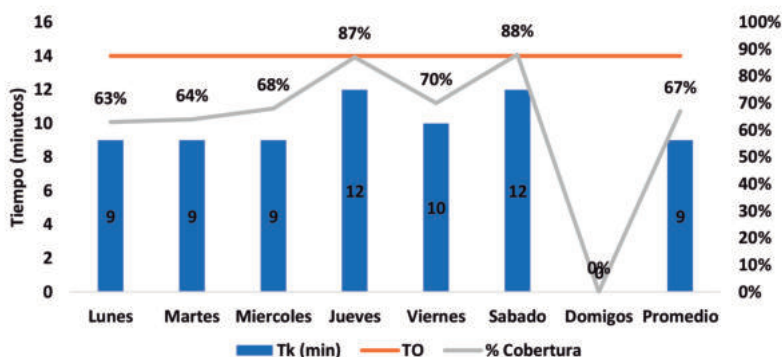


Figura 15. Capacidad y ciclo de tiempo actual en la toma de exámenes en función de la demanda

La poca disponibilidad de mano de obra especialista causa dicha insuficiencia. En la TABLA 10 se ve en detalle por día semana la disponibilidad en minutos, es claro que solo los jueves y sábado se alcanzan suficiencias esperadas por encima del 85%. En el análisis de tiempos, el ritmo de trabajo (Tk) en función de la demanda es de 9 minutos en promedio por cada estudio de ecografía (disponibilidad día médico / demanda de pacientes efectivos), pero el tiempo estándar (TO) es de 14 minutos (tiempo de ciclo que dura la operación en la realización del examen), lo que provoca congestión en el flujo de atenciones y con ello inoportunidad en las atenciones.

**Tabla 10. Capacidad y ciclo de tiempo actual en la toma de cada examen en función de la demanda**

Variable	Demanda				Capacidad				Resultado
	Urge.	Hosp.	Ambu.	Total	TD	Tk (min.)	TO	Cobertura (%)	
Lunes	22	6	40	68	600	9	14	63	Insuficiente
Martes	22	8	47	77	690	9	14	64	Insuficiente
Miércoles	25	5	43	73	690	9	14	68	Insuficiente
Jueves	22	6	17	45	540	12	14	87	Suficiente
Viernes	25	8	34	67	660	10	14	70	Insuficiente
Sábado	15	2	8	25	300	12	14	88	suficiente
Domingo	16	4		20			14	0	Insuficiente
Total	147	39	189	375	3480	9	14	67	Insuficiente

Al confrontar el número de órdenes de estudio por tipo de paciente con las atenciones efectivas (TABLA 11), se encuentra que la mayor participación de las efectivas es para pacientes ambulatorios (54 %), seguido urgencias, con el 29 % cuando el esperado debería estar en alrededor del 40 % conservando la misma conversión del ordenamiento. Se encontró entonces un desbalance en la programación de los pacientes en las franjas de los médicos especialistas.

**Tabla 11. Estudios de ecografía realizados / tipo de paciente**

Espera	Cantidad / mes	Promedio / semana	%
Ambulatorio	727	181,75	54,1
Urgencias	386	96,50	28,7
Hospitalizado (propio)	227	56,75	16,9
Hospitalizado (externo)	3	0,75	0,2
Total	1.343	335,75	100

El ejercicio de análisis de la situación actual se resume mediante un árbol de las causas y efectos (FIGURA 16) de la inoportunidad en la entrega de resultados de imágenes de ecografía, Principalmente se encontró poca disponibilidad del recurso humano médico especialista, lo que provocaba una acumulación de exámenes por toma y lectura; además de la poca disponibilidad en las franjas

no estaban definidos espacios exclusivos para pacientes de urgencias ni de hospitalización lo que generaba inoportunidad en la toma de exámenes por el desbalance entre las ordenes según el tipo paciente y las atenciones efectivas. Por esto, quedaban sujetas a llamados extras y al criterio del médicos las atenciones por fuera y dentro de su disponibilidad. En el árbol también se observan pérdidas de actividades ocasionadas por fallas de comunicación entre las unidades e inadecuada preparación del paciente. El análisis de causa raíz a nivel macro permite concluir que existe un inadecuado diseño del proceso, probablemente por no hay un área de ingeniería que realice mejoramiento continuo y diseños de procesos que permitan aumentar la eficiencia de la operación.

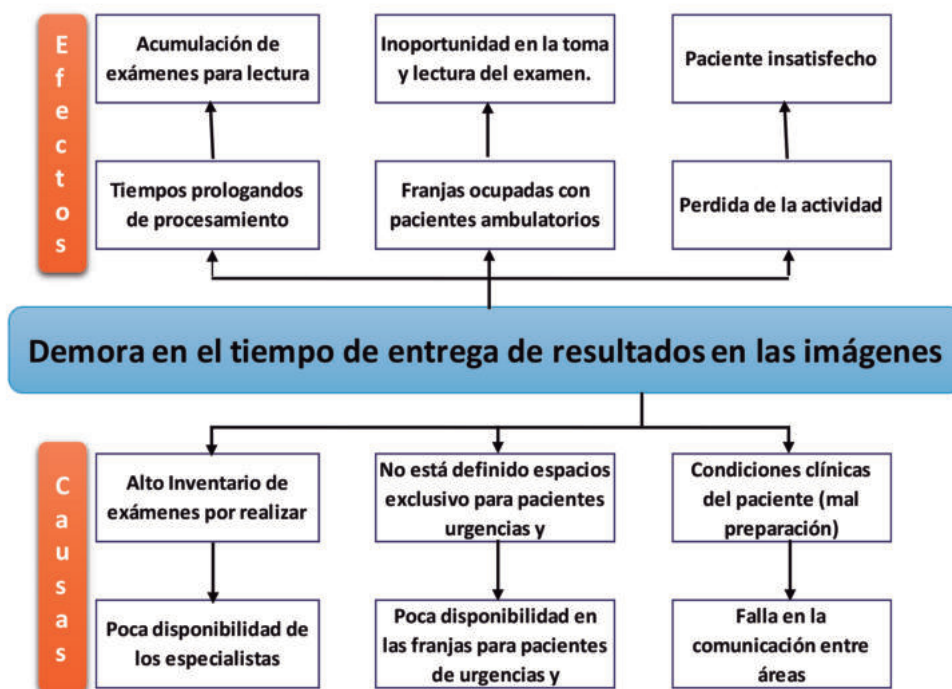


Figura 16. Árbol de problemas en el servicio de imágenes en la modalidad de ecografía

## IMPLEMENTAR

Para buscar posibles mejoras se socializó el resultado de las anteriores etapas (definir, medir y analizar) con el equipo de trabajo del proyecto, funcionarios de la unidad de imágenes e integrantes de cada una de las etapas. Se presentó

el desarrollo metodológico y se realizó un taller práctico (Kaizen) para: identificar los tipos desperdicio; promover la cultura de mejoramiento; educar en conceptos y métodos de ingeniería que viabilicen las oportunidades de mejora; y desarrollar la cadena de valor futura propuesta.

Se identificaron los desperdicios en el muestreo de trabajo en cada una de las etapas –más las observaciones por el gamba y por el análisis descriptivo de demanda versus la capacidad del servicio–, se clasificaron según su tipo y se propuso cuál de las herramientas de Lean podría ser adecuada para la mejora, como se presenta en la TABLA 12.

**Tabla 12. Identificación de actividades que no agregan valor, clasificación de desperdicios y herramientas Lean propuestas para el mejoramiento**

Etapa	Actividad	Clasificación	Herramienta Lean
Recepción	Buscar camillero de urgencias	Tiempo de espera	Flujo continuo
	Sacar paciente y llevar grabadora	Movimiento	Trabajo estándar
	Llamar a urgencias para verificar si salieron	Tiempo de espera	Flujo continuo
	Alistamiento paciente cambio de cama	Sobreproceso	SMED
	Asistir médico	Tiempo de espera	Trabajo estándar
	Buscar jefe para insumo	Sobreproceso	Trabajo estándar
	Entregar grabadora médico	Movimiento	5S
	Revisar si se agendó paciente	Sobreproceso	5S
	Responder información que desconoce	Sobreproceso	Flujo continuo
	Recoger grabadora en transcripción	Movimiento	Flujo continuo
	Verificación Internet	Sobreproceso	Jidoka
	Entregar sello al médico	Movimiento	Trabajo estándar
	Indicaciones al médico	Sobreproceso	Trabajo estándar
Toma y lectura	Volver a grabar la lectura	Sobreproceso	Jidoka
	Llamar a la auxiliar por el grabador de lectura	Tiempo de espera	Flujo continuo
	Cancelar paciente por no pertinencia del examen	Sobreproceso	Trabajo estándar
	Llamar a pedir insumos	Sobreproceso	Trabajo estándar
	Responder dudas del personal transcriptor	Tiempo de espera	Jidoka
Transcripción	Cambiar nombre audio	Sobreproceso	Flujo continuo
	Descargar audio	Tiempo de espera	Flujo continuo
	Buscar paciente por audio	Tiempo de espera	Flujo continuo
	Colocar medidas con foto por error en la imagen	Tiempo de espera	Flujo continuo



**Tabla 12. Identificación de actividades que no agregan valor, clasificación de desperdicios y herramientas Lean propuestas para el mejoramiento (cont.)**

Etapa	Actividad	Clasificación	Herramienta Lean
Transcripción	Buscar insumos medidas	Sobreproceso	5S
	Desplazamiento área ecografía	Movimiento	Flujo continuo
	Verificación de audios	Tiempo de espera	Jidoka
	Confirmar agendamiento	Sobreproceso	Jidoka
Interpretación médico urgencias	Verificar si ya está el resultado	Sobreproceso	Jidoka
	Buscar paciente perdido	Tiempo de espera	Flujo continuo
Otras	Exámenes pendientes por realizar	Inventario	Trabajo estándar
	Desbalance de turnos en franjas de especialistas	Inventario	Trabajo estándar
	Desconocimiento de actividades	Sobreproceso	Trabajo estándar
	Estudios que no requieren gestión desde urgencias	Sobreproceso	Trabajo estándar
	Limpieza de tableros de control clínico	Tiempo de espera	5S
	Cancelación paciente por inadecuado alistamiento	Movimiento	Trabajo estándar

Como resultado, se considera pertinente empezar a implementar las distintas herramientas que ofrece el Lean Healthcare para la mitigación de cada uno de los desperdicios identificados, además de los análisis estadísticos que permiten priorizar dónde concentrar los mayores esfuerzos de mejoramiento en toda la cadena de valor e impactar cambios significativos en el corto plazo.

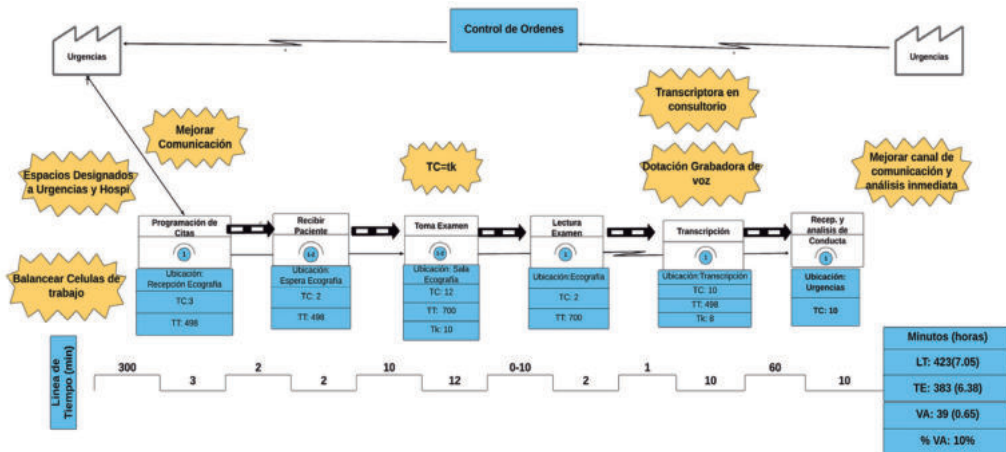
Buscando alinear la capacidad en función de la demanda, observando la frecuentación media diaria de órdenes de ecografía (ver FIGURA 10 y TABLA 5), se propone aumentar inicialmente el porcentaje de cobertura al 75 % aumentando ocho horas de médico especialista, ubicando las horas adicionales en los días con menor cobertura (lunes, martes y domingos, en horas estratégicas para lograr descongestionar al máximo el inventario en cola (ver TABLA 13). Además del equilibrio del balance entre el porcentaje de ordenamiento por tipo de cliente y la realización efectiva por tipo de cliente, se espera lograr llegar al 80 % o más de cobertura junto con las ideas de implementación de las herramientas de Lean mencionadas en la TABLA 12.

La propuesta de cadena de valor futura proyectada a seis meses se realizó en conjunto en las diferentes reuniones del equipo de trabajo y los colaboradores invitados, teniendo en cuenta la priorización, esto es los cuellos de botella

principales identificados en cada una de las etapas. Con base en ello se estableció el MCV futuro identificando las oportunidades de mejora a seguir en cada etapa, como se muestra en la FIGURA 17.

**Tabla 13. Capacidad y ciclo de tiempo propuesto en la toma de cada examen en función de la demanda**

Variable	Demanda				Capacidad				Resultado
	Urge.	Hosp.	Ambu.	Total	TD	Tk (min.)	TO	Cobertura (%)	
Lunes	22	6	40	68	780	12	14	82	Suficiente
Martes	22	8	47	77	810	11	14	75	Insuficiente
Miércoles	25	5	43	73	690	9	14	68	Insuficiente
Jueves	22	6	17	45	540	12	14	87	Suficiente
Viernes	25	8	34	67	660	10	14	70	Insuficiente
Sábado	15	2	8	25	300	12	14	88	suficiente
Domingo	16	4		20	120	6	14	44	Insuficiente
Total	147	39	189	375	3.900	10	14	75	Insuficiente



**Figura 17. Mapa de flujo de valor futuro de la unidad de imágenes en la modalidad de ecografía**

La propuesta estima alrededor de 423 minutos como tiempo de espera total para la entrega de resultado de examen de ecografía (7 horas), con un valor agregado de 10 %. Principalmente los esfuerzos se concentraran en los tiempos

de espera más largos y en las deficiencias de las actividades en las etapas, de este modo se espera mejorar la comunicación con la unidad de urgencias, mejorar el balance de turnos por tipo de pacientes en las franjas de los especialistas, la adquisición de dotación de grabación de voz, el balance en las celdas de trabajo y la estandarización de las actividades.

## **CONTROLAR**

En esta etapa se establecen las contramedidas macro, las acciones, el responsable y el plazo para alcanzar la situación deseada. Con la ejecución de estas acciones se espera impactar positivamente el nivel de satisfacción del cliente y mejorar la eficiencia de la operación (TABLA 14).

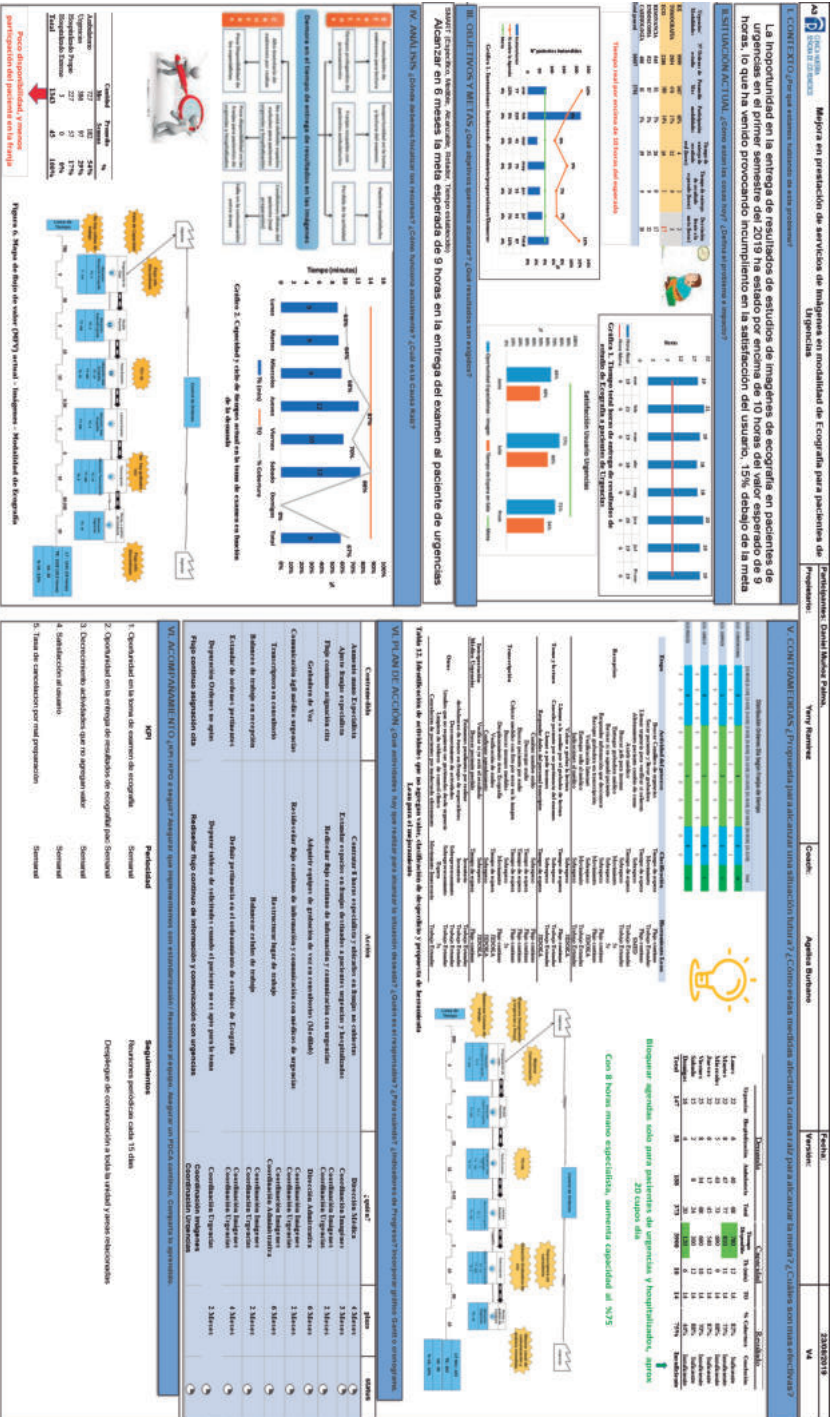
**Tabla 14. Resumen del plan de acción requerido para alcanzar la meta**

Contramedida	Acción	Responsable	Plazo (meses)
Aumento especialistas	Contratar ocho horas de especialista y ubicarlas en franjas no cubiertas	Dirección Médica	4
Ajuste de franjas de especialista	Estandarizar espacios en franjas destinados a pacientes de urgencias y hospitalizados	Coordinación Imágenes	3
Flujo continuo de asignación de citas	Rediseñar flujo continuo de información y comunicación con urgencias	Coordinación Imágenes Coordinación Urgencias	2
Grabadora de Voz	Adquirir equipos de grabación de voz en consultorios	Dirección Administrativa	6
Comunicación ágil médico-urgencias	Rediseñar el flujo continuo de información y comunicación con los médicos de urgencias	Coordinación Imágenes Coordinación Urgencias	2
Transcriptora en consultorio	Reestructurar el lugar de trabajo	Coordinación Imágenes Coordinación Urgencias	6
Balanceo de trabajo en recepción	Balancear las células de trabajo	Coordinación Imágenes Coordinación Urgencias	2
Estándar de órdenes pertinentes	De finir pertinencia en el ordenamiento de estudios de ecografía	Coordinación Imágenes Coordinación Urgencias	4
Depuración de órdenes no aptas	Depurar el tablero de solicitudes cuando el paciente no es apto para la toma	Coordinación Imágenes Coordinación Urgencias	2

## **VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

Para asegurar su validación y como una estrategia para captar la atención de todos los líderes de las unidades y de la alta dirección de la institución –

Figura 18. Herramienta A3 para la unidad de ecografía para el área de urgencias



quienes serán inicialmente el equipo colaborador objetivo a convencer sobre el desarrollo y aplicación de estas metodologías para el mejoramiento continuo de procesos— y lograr en ellos una mirada con la misma “lupa”, se decidió usar la herramienta A3. En la FIGURA 18 se muestra este formato en su versión 4. Cabe aclarar que el número de versión depende de los ajustes y la mejora en el contenido.

El desarrollo de proyecto permitió establecer la metodología Lean Six Sigma como estrategia de mejoramiento continuo en la unidad de imágenes, algunos elementos que soportan esta idea son:

- su presentación fue muy bien recibida tanto por la dirección médica de la clínica y los líderes de las unidades asistenciales como por la alta dirección, quienes la ven útil para los procesos de mejora que deben abordar;
- se incorporó un ingeniero de mejoramiento al equipo de trabajo de estadística, quien debe promover y ejecutar estas metodologías y contribuir así con la iniciativa de cambio de cultura de mejoramiento en la institución apoyado con análisis estadísticos para identificar necesidades de mejoramiento en distintas unidades;
- cuando se realizó gemba y en las reuniones periódicas se generaron iniciativas y enlaces para escalar la metodología a la unidad de urgencias, actualmente se trabaja en un nuevo desarrollo de mejoramiento con integrantes de alta gerencia que de seguro permitirán un mejor alcance;
- la institución ha tomado asertivamente las posibles soluciones de mejoramiento establecidas por este estudio en la unidad de imágenes, en estudios de ecografía en pacientes de urgencias se empiezan a apropiar herramientas de Lean tales como el trabajo estándar, los ajustes en las celdas de trabajo y el balance en las franjas según el tipo de paciente;
- se ha iniciado un nuevo pensamiento de liderazgo, se observa a los líderes haciendo gemba y mejorando comunicación con la parte operativo;
- se ha logrado disminuir dos horas de espera en la entrega de resultados y la percepción de la unidad de urgencias es positiva frente a esta mejora, ya que para ella la entrega oportuna es clave para evolucionar y descongestionar su servicio.

Para el ciclo permanente del mejoramiento se requiere de indicadores de gestión que permitan asegurar implementaciones con estandarización, el reconocimiento del equipo de trabajo y compartir las lecciones aprendidas.

Se establecieron las siguientes medidas para acompañar el desarrollo de esta metodología en el largo plazo:

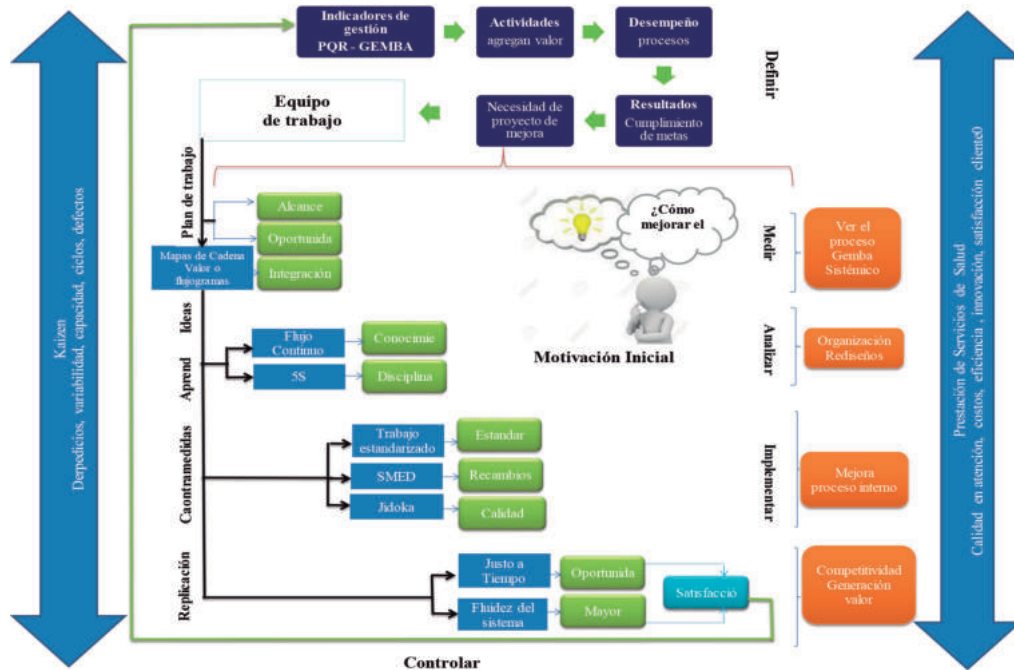
- indicador tiempo total de entrega de resultado (semanal);
- indicador tiempo en la toma de estudio (semanal);
- indicador tiempo de interpretación por médico urgencias (semanal);
- cumplimiento del plan de mejoramiento (semanal);
- reuniones quincenales (quincenal);
- disminución porcentual de actividades que no agregan valor en cada etapa (mensual); y
- cumplimiento del balance entre ordenes de ecografía de pacientes de urgencias y atenciones efectivas (mensual).

Se preparó una propuesta para el escalonamiento de la metodología hacia otras unidades, el modelo debe contar con propiedades relacionadas con fenómenos que generen valor, ya sea en el tiempo, costos, calidad, satisfacción clientes o cualquier razón que esté en vía de crecimiento e involucre una de ellas o su combinación. El procedimiento práctico y dinámico para el escalonamiento se base en conceptos aplicados en este estudio y a partir de puntos distintivos: Lean Healthcare como pensamiento o filosofía de uso eficiente de los recursos y su constante empeño en reducir los desperdicios y Lean Six Sigma como metodología de mejoramiento enfocada a través de métricas estadísticas para la detección de variabilidades para identificar necesidades a resolver en cualquier área de la institución. Cabe resaltar que ambas apuntan a la mejora del negocio basado en las experiencias del cliente final para conectarse competitivamente con la oferta y la demanda. La metodología de mejoramiento propuesto muestra características y recomendaciones concernientes por revisiones de las literaturas, experiencias tácticas mismas aprendidas en el gembu y lecciones aprendidas luego de aplicar Lean Healthcare en este estudio.

Los pasos de escalonamiento para desarrollar el mejoramiento de procesos se expresa con una visión sistémica y muestra particularidades y detalles a las que deben generar esfuerzos para lograr mejores resultados en la resolución de problemas (Chalice, 2007). El alcance de estos pasos metódicos abarca para todos los procesos de la organización, desde las unidades misionales hasta procesos administrativos, dado que los puntos distintivos Lean y Six Sigma abarcan numerosas herramientas que permiten ser transversales en la organización.

## Metodología para mejora de los procesos de una unidad de imágenes diagnósticas en una clínica de Cali

Cabe resaltar que esta propuesta de escalonamiento se enfoca en el hacer del ciclo PHVA. Se considera pertinente integrarla dentro de la planeación estratégica de la organización y reflejar en el tiempo su implementación en la cultura de la institución. En la FIGURA 19 se presenta una serie de pasos de escalonamiento para desarrollar la metodología hacia las demás unidades de la clínica e incluye cuatro pasos clave para iniciar un proyecto de mejora: levantamiento de indicadores de gestión, aprender a observar el gemba (el lugar donde suceden las cosas), PQR y, el más importante, el que origina toda la cadena, desarrollo motivacional inicial de los colaboradores por querer mejorar (Van den Heuvel et al., 2006; Shook, 2018; Chalice, 2007).



**Figura 19. Propuesta de escalonamiento hacia las otras unidades de la institución**

La experiencia durante la aplicación de la metodología en la unidad de imágenes arrancó a partir de la motivación de la líder de la unidad y del área de estadística. Desde esta última se apoyó el levantamiento y la minería de datos, útiles para determinar problemas (insumos) para sustentar la inclusión y el uso de Lean Healthcare y encontrar problemas en otras unidades que reflejaron

la conexión simultánea con esas otras unidades. Para la conformación de los equipos de trabajo es conveniente incluir: colaboradores con poder de decisión, para así asegurar que las contramedidas se ejecutan en el menor tiempo posible; y personal operativo, para fortalecer la implementación y asegurarla en el tiempo.

## CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto permitió validar la metodología Lean Healthcare como estrategia para el desarrollo del mejoramiento continuo de procesos. La revisión de estudios realizados de Lean Manufacturing, Lean Healthcare y Six Sigma respaldaron el uso y aplicación de diferentes enfoques que terminan siendo complementarios. Los análisis a nivel nacional e internacional de casos de implementación exitosos en distintos servicios de salud permitieron contextualizar en plano práctico las herramientas, formas y condiciones que se deben tener en cuenta para lograr una adecuada implementación. Se recomienda trabajar herramientas como VSM, flujo continuo y pensamiento Kaizen en paralelo con la metodología DMAIC, ya que esta fusión logra maximizar el beneficio de un desarrollo metodológico de mejoramiento, disminuye desperdicios y costos y mejora el flujo de la operación y con ello la atención de los pacientes. Un factor común en la revisión de literatura fue el cambio de los hábitos de liderazgo que se deben fortalecer en todos los miembros de la empresa, por ello durante el desarrollo de estudio se buscaron estrategias para que las ideas de los empleados fuesen consideradas, evaluadas y retroalimentadas.

La metodología de mejoramiento Lean Healthcare fue acogida por los líderes de las unidades dado que cumplió con las expectativas de una estructura de mejoramiento robusta para el mejoramiento de procesos; la alta dirección quedó convencida que la institución debe continuar desarrollando metodologías Lean dentro de los procesos de la clínica, dado también es una práctica de mejoramiento que actualmente se desarrollan en el sector salud a nivel nacional e internacional.

Como se mencionó, se logró disminuir dos horas de espera en la entrega de resultados y se están ejecutando las contramedidas prioritarias como son el uso de estándares para el adecuado alistamiento del paciente, espacios reservados en las agendas para pacientes de urgencias, estrategias de alertas para asegurar los



llamados de pacientes al proceso de decisión una vez la imagen este transcrita. Ahora la posición de la institución es mantener esta iniciativa de mejoramiento continuo en los procesos, conservando y apropiándose cada vez más de esta filosofía de mejoramiento. Para ello, la gestión del cambio entró a jugar como papel fundamental para el logro de los objetivos y nuevas maneras de realizar prácticas de mejoramiento de las operaciones en la institución. A partir de las lecciones aprendidas de esta experiencia, se recomienda:

- integrar la implementación de mejoramiento Lean Healthcare dentro de la planeación estratégica de la organización, donde se proyecte la sensibilización y el desarrollo del pensamiento Lean en los procesos;
- continuar con el compromiso de la alta dirección en el desarrollo de metodologías Lean para el mejoramiento de sus procesos internos acompañado de la conformación de equipos de mejoramiento;
- continuar con los pasos del desarrollo metodológico, el acompañamiento para asegurar la estandarización de la metodología y los indicadores de gestión para el seguimiento y control de los planes de acción y de las operaciones de la unidad de imágenes;
- replicar este desarrollo en las demás modalidades de estudio de imágenes diagnósticas porque pertenecen a la misma área y se podrían encontrar con oportunidades de mejora semejantes, lo que permitiría sincronización y mayor experticia en desarrollos Six Sigma;
- desarrollar pensamiento Lean en espacios de comunicación con los colaboradores en los que se pueda sensibilizar y capacitar sobre el uso y aplicación de técnicas de esta filosofía y generar ideas y sugerencias para promover esta cultura de mejoramiento en la organización;
- evaluar la percepción de trabajo de las áreas en la unidad de imágenes y las unidades interrelacionadas (motivación, carga laboral, políticas organizacionales, liderazgo, trabajo en equipo), para conocer su percepción frente a los cambios del mejoramiento; y
- crear grupos interinstitucionales para contrastar las prácticas de mejoramiento Lean e identificar y reconocer nuevas oportunidades de mejora en el sector.

A nivel de investigación, sería interesante: aplicar todas herramientas Lean en la modalidad de ecografía en la unidad de imágenes y analizar su efecto; complementar Six Sigma centrada en la reducción de la variabilidad de

defectos y fallos en la entrega de resultados en la modalidad de imágenes, dado que en este estudio se utilizó los pasos de la metodología DMAIC como mejora incremental del proceso; realizar prácticas para proyectos de grado en la institución, enfocadas en aplicaciones del pensamiento Lean para lograr mayor desarrollo y sostenibilidad de la filosofía de mejoramiento Lean Healthcare.

## REFERENCIAS

- Amedee, R., Maronge, G., & Pionsky, W. (2012). Improving the transition of care in patients transferred through the Ochsner Medical Center transfer center. *Ochsner, 7*, 12(4):318-22.
- Aronsson, P., Mazzocato, C., Savage, M., Brommels, M., Aronsson, H., & Thor, J. (2010). Lean thinking in healthcare: A realist review of the literature. *Quality & Safety in Health Care, 19*(5), 376-382.
- Arrieta-Posada, J. & Giraldo, E. (2014). Lean healthcare: A look through its tools, an approach from the literature. En *Proceedings of 25th Annual Production Operations Management Society (POMS) Conference*. <https://www.pomsmeetings.org/ConfProceedings/051/FullPapers/Final%20Full%20length%20Papers/051-0437.pdf>
- Bhat, S., Gijo, E.V., & Jnanesh, N.A. (2014). Application of lean Six Sigma methodology in the registration process of a hospital. *International Journal of Productivity and Performance Management, 63*(5), 613-643. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-11-2013-0191>
- Breyfogle, F. (2003). *Implementing Six Sigma: smarter solutions using statistical methods*. Wiley.
- Casey, J., Brinton, T. & González, C. (2009). Utilization of lean management principles in the ambulatory clinic setting. *Nature Clinical Practice Urology, 6* (3), 146-153.
- Chalice, R. (2007). *Improving healthcare using Toyota Lean production methods*. American Society for Quality.
- Chiarini, A. & Bracci, E. (2013). Implementing lean Six Sigma in healthcare: Issues from Italy. *Public Money & Management, 33*(5), 361-368.
- Coelho, S. M., Pinto, C. F., Calado, R. D., & Silva, M. B. (2013). Process improvement in a cancer outpatient chemotherapy unit using lean healthcare. *IFAC Proceedings, 46*(24), 241-246.
- Cretikos, M., Parr, M., Hillman, K., Bishop, G., Young, L., & Daffurn, K. (2006). Guidelines for the uniform reporting of data for Medical Emergency Teams. *Resuscitation, 68*(1), 11-25.
- De Koning, H., Verver, J., Van den Heuvel, J., Bisgaard, S., & Does, R. (2006). Lean Six Sigma in healthcare. *Journal of Healthcare Quality, 28*, 4-11.
- Fundación Hospital San Vicente. (2018). *Six Sigma y Lean en el hospital: metodología de mejoramiento continuo*. <http://hospitaluniversitario.sanvicentefundacion.com/index.php/comunidad->

- online/noticias/107-noticias-del-hospital-universitario/951-six-sigma-y-lean-en-el-hospital- metodologia-de-mejoramiento-continuo
- George, M. (2003). *Lean Six Sigma for services*. McGraw-Hill.
- Giraldo, E. (2016). *Estudio sobre la aplicación de Lean Healthcare en el sector hospitalario en Medellín* [tesis de maestría, Universidad Eafit]. <http://hdl.handle.net/10784/9523>
- Harry, M. (1997). *The vision of Six Sigma*. Sigma.
- Jacobs, S. & Pelfrey, S. (1995). Applying just-in-time philosophy to healthcare. *The Journal of Nursing Administration*, 25(1), 47-51.
- Karstoft, J., & Tarp, L. (2011). Is lean management implementable in a department of radiology? *Insights into Imaging*, 2(3), 267-73. <https://doi.org/10.1007/s13244-010-0044-5>
- Kim, C., Spahlinger, D., Billi, J., & Kin, J. (2006). Lean health care: What can hospitals learn from a worldclass automaker? *Journal of Hospital Medicine*, 1(3), 191-199. <https://doi.org/10.1002/jhm.68>.
- López, T. & Salinas, L. (2016). *Propuesta metodológica para el diagnóstico de la aplicabilidad lean manufacturing en el manejo de materiales de la logística hospitalaria* [tesis, Universidad Icesi]. [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/83583/1/TG01857.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/83583/1/TG01857.pdf)
- Lynn, M., Rampersad, S., Low, D., & Reed, M. (2014). Mejoramiento de los procesos en el quirófano mediante la aplicación de la metodología Lean de Toyota. *Revista Colombiana de Anestesiología*, 42(3), 220–228. <https://doi.org/10.1016/j.rca.2014.02.007>
- Macedo, A., Senna, P., Monteiro, A., & Pinha, D. (2016). Study on techniques and tools used in Lean Healthcare implementation: A literature review. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 13, 406-420. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2016.v13.n4.a1>
- Martínez, P; Martínez, J. L., Cavazos, J., Nuño, J. Pablo. (2016). Mejora en el tiempo de atención al paciente en una Unidad de urgencias por medio de Lean Manufacturing. *Nova Scientia*, 8(16), 17-40.
- Mazzocato, P., Holden, R., Brommels, M. & Aronsson, H. (2012). How does lean work in emergency care? A case study of a lean-inspired intervention at the Astrid Lindgren Children's Hospital, Stockholm, Sweden. *BMC Health Services Research*, 12(1), Art.28. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-12-28>
- Meredith, J., Grove, A., Walley, P., Young, F., & Macintyre, M. (2011). Are we operating effectively? A lean analysis of operating theatre changeovers. *Operations Management Research*, 4(3), 89-98. <https://doi.org/10.1007/s12063-011-0054-6>
- Ministerio de Salud de la República de Colombia. (2017). *Movimiento Integral de Atención en Salud – MIAS: Plan de capacitación sectorial*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/01-pais-mias-capacitacion-sectorial.pdf>

- Muñoz, I. (2010). *Aplicación de la metodología de dirección de proyectos para la implantación de Lean en el sector sanitario* [tesis de grados, Universidad de la Rioja]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=48449>
- Newell, T., Steinmetz- Malato, L., & Van Dyke, D. (2011). Applying Toyota production system techniques for medication delivery: improving hospital safety and efficiency. *J Healthc Qual.*, 33(2),15-22. <https://doi.org/10.1111/j.1945-1474.2010.00104>
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system*. Productivity Press.
- Otero, E. (2015, diciembre 21). *Orígenes de las deficiencias del sistema de salud colombiano* [El Universal]. <https://www.eluniversal.com.co/salud/origenes-de-las-deficiencias-del-sistema-de-salud-colombiano-214184-HSEU317606>
- Poksinska, B. (2010). The current state of lean implementation in health care: Literature review. *Quality Management in Health Care*, 19(4), 319-329.
- Rentería, J. (2006). *Implementación del pensamiento esbelto: impacto en instituciones de salud y en la generación de capacidades dinámicas* [tesis de doctorado, Universitat de Barcelona]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/400004>
- Rivera, L. (2003). Justificación conceptual de un modelo de implementación de Lean Manufacturing. *Heurística*, 15, 91-106.
- Ruiz, E. (2016). *Marco de trabajo para la implementación de Lean Healthcare en el contexto colombiano – clínicas y hospitales nivel alto, área metropolitana de Bucaramanga* [tesis de maestría, Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/165040.pdf>
- Ruiz, E., & Ortiz, N. (2015). Lean healthcare: una revisión bibliográfica y futuras líneas de investigación. *Scientiaet Technica*, 20, 358-364. <https://doi.org/10.22517/23447214.11181>
- Ruiz, S. & Villarreal, J. (2017). *Desarrollo de la metodología Lean Healthcare, como estrategia de mejoramiento continuo, que permita elevar el nivel de servicio prestado en el área de imágenes diagnósticas del Hospital Universitario de La Samaritana (HUS)* [tesis de grado, Universidad Libre]. <http://hdl.handle.net/10901/10570>
- Santoro, A., Tanco, M., & Escuder, M. (2015). Experiencia de implementación de lean en un centro de salud de Uruguay. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, 13, 79-94.
- Shingo, S. (1989). *A Study of the Toyota production system*. CRC
- Shook, J. (2018). *Managing to learn: Using the A3 management process*. Lean Enterprise Institute.
- Smith, G., Poteat-Godwin, A., Harrison, L.M., & Randolph, G.D. (2012). Applying Lean principles and Kaizen rapid improvement events in public health practice. *J Public Health Manag Pract.*, 18(1), 52-54. <https://doi.org/10.1097/PHH.0b013e31823f57c0>
- Southard, P. B., Chandra, C., & Kumar, S. (2012). RFID in healthcare: A Six Sigma DMAIC and simulation case study. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 25(4), 291-321.

## Metodología para mejora de los procesos de una unidad de imágenes diagnósticas en una clínica de Cali

- Souza, L. (2009). Trends and approaches in lean healthcare. *Leadership in Health Services*, 22(2), 121-139.
- Tejedor, F., Montero, J., Tejedor, M., Jimenez, L., Calderon, J., & Borja, F. (2014). Mejora del proceso de un servicio de urgencias de hospital mediante la metodología lean. *Emergencias*, 26, 84-93.
- Van den Heuvel, J., Does, R., & Bisgaard, S. (2005). Dutch hospital implements Six Sigma. *Six Sigma Forum Magazine*, 4, 11-14.
- Van den Heuvel, J., Does, R., & De Koning, H. (2006). Lean Six Sigma in a hospital. *Internacional Journal of Sigma and Competitive Advantage*, 2(4), 377-388. <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2006.011566>
- Vargas, J., & Molina, G. (2009). Acceso a los servicios de salud en seis ciudades de Colombia: limitaciones y consecuencias. *Rev Fac Nac Salud Pública*, 27(2), 121-130.
- Whitson, D. (1997). Applying Just-in-Time systems in health care. *IIE Solutions*, 29(8), 32-38.
- Workman-Germann- J., Woodward-Hagg, H., (2006). Implementing Lean Six Sigma methodologies in the radiology department of a hospital healthcare system. En *Proceedings of the 2006 American Society for Engineering Education Annual Conference*. [http://docs.lib.purdue.edu/rche\\_rp/27/](http://docs.lib.purdue.edu/rche_rp/27/)
- Yusof, M., Khodambashi, S., & Mokhtar, A. (2012). Evaluation of the clinical process in a critical care information system using the Lean method: A case study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 12(1), Art. 150. <https://doi.org/10.1186/1472-6947-12-150>.



# METODOLOGÍA PARA MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA Y PRODUCTIVIDAD EN LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS FINANCIEROS EN EMPRESA DEL SECTOR SOLIDARIO

Luz Ángela Caicedo Ordóñez, MSc.

Juan José Cardona Melo, MBA.

## **Citación**

Caicedo, L. A. & Cardona, J. J. (2020). Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario. En *Bitácoras de la maestría*, vol. 5, *Energía solar - Lean healthcare - Productividad* (pp. 117-153). Universidad Icesi.





---

## RESUMEN

---

Si bien los conceptos de medición y optimización de la capacidad instalada están generalmente asociados a las empresas manufactureras, también son aplicables a las empresas de servicios, en la medida en que permiten tomar decisiones orientadas a mejorar su productividad y enfocar su gestión en crear valor, fortalecer el servicio al cliente y obtener los resultados planeados a corto, mediano y largo plazo. Esta investigación se desarrolló en una empresa del sector cooperativo que brinda servicios financieros con el propósito de establecer, documentar y aplicar una metodología que permita determinar la capacidad de la cooperativa y analizar qué tan productiva y qué tan ágil es en la prestación de servicios. Se enfoca en un aspecto crucial en este sector económico como es la optimización del tiempo de atención al cliente. Como resultado, se obtiene y prueba un método que incluye cuatro pasos y unas herramientas para abordarlos: la definición del tiempo estándar de atención en caja; las definiciones de la capacidad instalada, ocupación del cajero y productividad; el análisis de tiempo de espera en cola y caracterización del patrón de arribo de usuarios; y la validación de escenarios por medio de la simulación.

## INTRODUCCIÓN

El mercado de las empresas de bienes y servicios es cada vez más competitivo, por ello su único camino para consolidarse en el mercado y crecer es mejorar su productividad y enfocar su gestión en crear valor, fortalecer el servicio al cliente y obtener los resultados planeados a corto, mediano y largo plazo.

Esta investigación fue desarrollada en una empresa del sector cooperativo que brinda servicios financieros de ahorro y crédito –un sector de creciente importancia para la economía colombiana por los empleos que genera, el desarrollo de actividades de impacto social y su contribución al Producto Interno Bruto [PIB]–, con el objetivo de establecer, documentar y aplicar una metodología que permita determinar la capacidad de la cooperativa y analizar qué tan productiva y qué tan ágil es en la prestación de servicios. Una consideración importante al respecto es que el valor del tiempo para los clientes es cada vez mayor, por lo que cada vez es más importante reducir los tiempos de espera “en cola”, un tiempo que las personas perciben como perdido o mal invertido.

Por lo general, el concepto de medición de capacidad se asocia con empresas manufactureras o productoras, sin embargo, es un conocimiento necesario para determinar el alcance tanto en la producción como en la prestación del servicio, determinando, por ejemplo, el número de clientes atendidos o la demanda satisfecha. Conocer la capacidad orienta a la alta gerencia a tomar decisiones de crecimiento o expansión, siempre pensado en optimizar y mejorar la experiencia con el servicio.

Dos recursos limitados en las empresas de servicios son el número de colaboradores disponibles para la atención y el tiempo. Este último es uno de los aspectos más importantes a evaluar en la búsqueda de estrategias que permitan el mejor aprovechamiento de los colaboradores. La expectativa siempre es que logren atender de manera eficaz al mayor número de clientes posible y que a la vez los clientes tengan una percepción positiva (satisfacción) de esa atención. No disponer de una capacidad apropiada, acorde con la demanda –o no utilizarla de la mejor manera–, puede ocasionar la pérdida de clientes.

Actualmente la cooperativa objeto de estudio no tiene implementada una metodología que permita realizar este tipo de métricas y determinar su capacidad; de igual manera, existen procesos y procedimientos con un alto componente manual, que alargan los tiempos de respuesta y generan reprocesos.

La implementación de la metodología de medición de la capacidad permitirá conocer su eficiencia y productividad, para que a partir de ese análisis sean definidas acciones y estrategias que aumenten su competitividad y efectividad en el servicio. De igual manera el estudio de capacidad permite mejorar la administración operativa de los colaboradores y garantizar su calidad laboral.

De acuerdo con la Superintendencia de la Economía Solidaria [Supersolidaria] (2020) y la Superintendencia Financiera de Colombia [SFC] (2020), existen 186 cooperativas que ejercen actividad financiera en el país, la mayoría de ellas está regulada por la Supersolidaria, solo seis por la SFC. La normatividad de la SFC, al ser más robusta, hace que las cooperativas reguladas por ella implementen metodologías y tecnologías que fortalezcan su gestión y control. Dicho de otra manera, el 97% de las cooperativas colombianas podría carecer de metodologías y tecnologías que apunten a la consolidación de sus resultados operativos y financieros y a fortalecer la prestación de sus servicios. Si bien para atender este último aspecto es importante determinar su capacidad instalada y productividad, estos no tienen gran arraigo en las empresas de servicios porque fueron desarrollados principalmente para empresas industriales (Vuorinen et al., 1998).

En el proyecto de investigación realizado se analiza la situación de una cooperativa de ahorro y crédito líder del suroccidente colombiano que dispone de mediciones de productividad para su gestión comercial y el cumplimiento de metas, pero no para su gestión operativa. Entre 2012 y 2016 la entidad incrementó su volumen de negocio de manera muy significativa, estuvo muy cerca de duplicar los números de asociados y cuentas de ahorro, y duplicó con holgura el valor de sus depósitos y cartera. En cuanto a su planta de personal de atención al cliente, aunque los números del mismo periodo indican que el total se duplicó, una revisión más detallada indica un crecimiento muy significativo en el número de asesores externos (de 13 a 43), pero muy conservador en el de asesores internos (de 25 a 35) y más aún de cajeros (de 19 a 24).

Más allá de las cifras de cambio, se desconoce la pertinencia de las decisiones de crecimiento en planta porque no se cuenta con un parámetro o criterio de eficiencia que permita identificar en qué momento aumentar en número de empleados de acuerdo con el comportamiento del volumen de negocio o del crecimiento transaccional. Es lógico pensar que un crecimiento en el volumen de asesores represente un aumento del volumen de negocio y un crecimiento en el número de transacciones, lo que de no contar con la respuesta adecuada en atención al cliente va a generar insatisfacción en ellos –derivada de los largos tiempo de espera–, ineficiencia o baja productividad.

La cooperativa dispone de trece sedes ubicadas en zonas urbanas y rurales, cada una cuenta con una a cuatro cajas desde donde se brindan servicios de recaudos, depósitos y retiros de cuentas de ahorro y, en ocasiones, pago de proveedores y de nómina. Las diferencias sociodemográficas de su clientela afectan la tarea del cajero, en ocasiones debe incluso brindar acompañamiento y orientación al usuario en la transacción y el diligenciamiento de formatos, lo que implica un mayor tiempo de atención y probablemente un mayor tiempo de espera en cola. El comportamiento de las cajas de la cooperativa muestra diferencias importantes, con promedios que van desde cien hasta doscientas atenciones por día por cajero. Determinar cuál de ellos está más cerca de lo óptimo no es posible porque no está definido el parámetro de medición que lo sustente ni se cuenta con el conocimiento de la demanda por sede que permita valorarlo.

El desconocimiento de la capacidad instalada puede ocasionar: incremento en los gastos de personal, con su consecuente disminución de la capacidad de inversión en otras áreas; subutilización o sobrecarga y saturación de los colaboradores; dificultades en la gestión del desempeño operativo, derivadas de la no medición de estándares; tiempos muy holgados de atención al cliente o altas demoras en cola, con su consecuente respuesta no oportuna a la demanda e insatisfacción de clientes; desconocimiento de los momentos adecuados para el crecimiento y la sostenibilidad de la empresa; e insuficiencia en la generación de planes de mejoramiento para la cualificación de procesos y colaboradores.

En el informe de quejas de la cooperativa se observa que el 25% de ellas tiene relación con la problemas en la atención, dentro de este rubro, la mayoría está asociada con demoras. Como respuesta, la cooperativa ha venido ampliando su planta en atención y caja, sin embargo, aunque las cifras evidencian una disminución en quejas por la demora en atención de los asesores, aún muestra un aumento en las quejas por demora en la caja, lo que probablemente guarda relación con las citadas diferencias en el crecimiento del número de plazas de asesores y cajeros.

Con el fin de ampliar los puntos de recaudo, facilitar el acceso a sus clientes y descongestionar las cajas de las agencias la cooperativa inició un servicio de recaudo por corresponsales. Sin embargo, aunque la utilización de este servicio ha venido en aumento (en 2017 el 11 % de las transacciones se hicieron por ese canal), las quejas por demora en las cajas se acrecentaron; mientras los colaboradores de la agencia perciben que con esta estrategia ha disminuido el

flujo de asociado, los clientes expresan su insatisfacción por las demoras en caja y solicitan habilitar más cajas.

Con todo lo dicho, es válido cuestionarse acerca de la pertinencia de las decisiones de ampliar la planta cuando se desconoce la capacidad instalada, la productividad, la demanda y los tiempos de espera en cola. Es claro entonces que las decisiones tomadas presentan un alto grado de incertidumbre. Para resolver este aspecto, la presente investigación se dirigió a analizar la capacidad instalada y productividad de los servicios de caja disponibles en la cooperativa. El objetivo del proyecto se definió como: “Establecer y aplicar una metodología para identificar los niveles de capacidad instalada y productividad en las cajas de la cooperativa líder en el suroccidente colombiano”, y como objetivos específicos: definir la metodología para medición de capacidad en caja para entidades de servicios financieros; aplicar la metodología y analizar los datos obtenidos, determinando tiempo de atención en caja, capacidad instalada, ocupación de cajeros, tiempo de espera en cola y productividad; y proponer estrategias que aumenten la agilidad en el servicio.

## **MARCO DE REFERENCIA**

Vuorinen et al. (1998) indican que aunque el concepto de productividad está muy relacionado con el contexto de la fabricación, en el sector servicios existe una creciente necesidad de análisis exhaustivo. A partir de ello proponen hacer análisis con visión holística, partiendo de los conceptos de calidad y cantidad, reconociendo la importancia de operar a través de una unidad de medida en ambos. En su investigación, el enfoque de productividad fue analizado a través de un estudio de caso en una compañía de seguros de Finlandia, la Pohjola Insurance Group. En ella se determinó la cantidad a partir del tamaño y la programación de la capacidad de la empresa –tiempos de respuesta, número de transacciones y número de horas de servicio, entre otros–, y la calidad asociada a como era percibida por el cliente y a la satisfacción de los empleados, este último un aspecto fundamental para retener y especializar a sus empleados. Un aspecto destacado en la mejoría de la cantidad y calidad en el servicio fue la implementación e integración de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [TIC], como son los cajeros electrónicos, el teletrabajo y la calidad de la información y las bases de datos, entre otros. El estudio concluyó que, aun cuando no existe un orden

lógico de análisis de variables, sí debe existir una visión holística que incluya las variables más importantes para la organización.

Gil et al. (2016), por su parte, parten de reconocer la ausencia de metodologías claras para determinar la capacidad en empresas de servicios y, en consecuencia, focalizan su trabajo en ello. “La literatura ha abarcado ampliamente otros problemas que afectan a la capacidad, así como la programación y planificación del personal, instalaciones y horarios sin llegar directamente a medir capacidad” (p. 141), explican. Los autores refieren que todas las instituciones tienen un número limitado de instalaciones y recursos que los orienta a ser eficientes y a brindar un servicio de calidad para los clientes a partir del equilibrio de los servicios ofrecidos en comparación con la disponibilidad de recursos y las limitaciones presupuestarias. Finalmente, proponen un modelo de simulación con modelamiento matemático que permite conocer la capacidad en términos del número de estudiantes a atender en una institución educativa.

De otro lado, Küpers (1998) indica que para obtener una alta calidad de servicio sostenible es necesario mejorar la productividad de las organizaciones de servicios a partir de la medición de la cultura organizacional, el análisis del ser y la sincronización de sus sentidos a la organización, mientras que González et al. (2016) manifiestan que la ganancia de la productividad tiene una influencia sobre la mejora en el ingreso de los empleados, en los beneficios de las empresas y en la capacidad de compra de los consumidores, por lo que resulta crucial identificar los elementos clave de la productividad, esto es: innovación tecnológica, mejora en procesos y formación a empleados.

Además, González et al. (2016) analizan la importancia y los beneficios de los anteriores elementos en la productividad e indican que existe un elevado grado de consenso en que los trabajadores cualificados tienen una influencia positiva, directa e indirecta sobre la productividad. Indican además que existe evidencia empírica que muestra cómo las empresas que poseen una alta proporción de fuerza de trabajo con elevado grado de formación consiguen mejores resultados a nivel de innovación y como ello influye en la productividad. Luego de encuestar a 606 empresas españolas manufactureras y de servicios concluyeron que la innovación radical y la formación influyen positiva y significativamente en la productividad, a diferencia de la innovación incremental y el cambio de tecnología incorporado en la maquinaria, cuya influencia es negativa.

Dhar y Rahman (2013) resaltan cómo a partir de la aplicación de la teoría de colas y el modelo analítico se puede inferir el tiempo promedio de espera de

un cliente en el sistema, la longitud de la cola y la probabilidad que el sistema esté vacío o lleno, lo que permite anticipar el comportamiento de la cola y programar el número de cajeros automáticos, contribuyendo así al aumento de la calidad del servicio. Además, en su trabajo destacan la importancia de realizar la simulación del modelo para validar los resultados obtenidos a partir de la aplicación del modelo analítico por su aporte a la exactitud al resultado y la manera como refleja su funcionamiento real.

Por su parte, Hao y Yifei (2011) mencionan la importancia de realizar un estudio de optimización del sistema de cola, pensando primero en analizar y modificar variables o procesos como el costo, la calidad, el servicio y su velocidad, antes de pensar en aumentar el número de sucursales o el número de servidores en los bancos, porque la mala planeación de los recursos podría acarrear grandes pérdidas para la organización.

Chowdhury (2013) menciona la importancia de establecer los costos tangibles –por ejemplo, los de mano de obra, materiales y equipos–, y los intangibles relacionados con la insatisfacción y la pérdida de la ventas, porque hacerlo permite una óptima programación de las instalaciones del servicio, hace más eficiente la gestión y reduce el costo al mínimo esperado. Asimismo, destaca la importancia de establecer indicadores clave para un sistema de cola, tales como la tasa de utilización, el tiempo promedio del sistema, el tiempo promedio en la cola, la probabilidad de llegada de clientes al sistema, el número promedio de clientes en el sistema y el número promedio de clientes en la cola.

Buscando identificar herramientas, metodologías o modelos relacionados con capacidad instalada y productividad, e indicadores de gestión y estándares definidos para la prestación del servicio en empresas similares, se consultó a seis entidades del sector solidario. Se identificó que solo dos de ellas disponen de un estándar de desempeño en caja, aunque no de una metodología documentada para determinar y medir su capacidad. Dado que la información obtenida de las entidades es confidencial, a continuación se presenta un resumen no pormenorizado de los datos recopilados en cinco de ellas.

- Cooperativa 1. Las transacciones realizadas en la caja utilizando lectura de códigos de transacción tiene un tiempo estándar de dos minutos; el tiempo de espera en cola no ha sido determinado, sin embargo, el hacer monitoreo a los datos les ha permitido determinar días y horarios de mayor afluencia de clientes y con base en ello tomar decisiones dirigidas a brindar una atención ágil.

- Cooperativa 2. Aunque no fue posible conocer el tiempo estándar para la atención, se sabe que disponen de un modelo de tiempos de llegada y atención que les ha permitido definir el número óptimo de cajeros e identificar los tiempos de baja afluencia. Esto último les permite contar con el apoyo de los cajeros en otras actividades importantes para la obtención de las metas comerciales y resultados.
- Banco 1. El tiempo estándar en cola es de dos minutos; el tiempo de espera en cola se ha determinado, pero es confidencial.
- Bancos 2 y 3. Si bien destacan que no existe una ley que los obligue a cumplir con un determinado tiempo para la atención, mencionan que por efectos de calidad del servicio han establecido un tiempo promedio quince minutos contados desde que el cliente entra a las instalaciones, hasta que se retira de ellas. Sin embargo, advierten que este estándar no aplica para todas las transacciones pues en ocasiones se presentan algunas de alto monto que ameritan que una caja sea cerrada.

En general, las entidades consultadas manifiestan que permanentemente están realizando mediciones y análisis porque los tiempos de atención y cola varían en la medida en que se implementan nuevos procesos o tecnologías.

## MÉTODO

Los conceptos teóricos que sustentan el trabajo realizado en esta investigación son el estudio de tiempos y la teoría de colas: el primero es una técnica útil para establecer la eficiencia del trabajo a partir del establecimiento de estándares de tiempo determinados mediante estimaciones, registros históricos y procedimientos de medición del trabajo (Niebel & Freivalds, 2009); el segundo formula modelos matemáticos que representan una operación que luego se utilizan para obtener medidas de desempeño (Hillier & Lieberman, 2015) y es de amplio uso en el diseño y rediseño de sistemas de líneas de espera.

La obtención de la información base para el estudio de tiempos y movimientos incluyó cuatro pasos que se aplicaron de manera uniforme en todas las sedes: definición del tiempo estándar de atención en caja; definición de la capacidad instalada, ocupación del cajero y productividad; análisis de tiempo de espera en cola y caracterización del patrón de llegada o arribo de asociados y usuarios del servicio; y validación de escenarios por medio de la simulación.



## **PASO I. DEFINICIÓN DEL TIEMPO ESTÁNDAR DE ATENCIÓN EN CAJA**

Se inició con la recopilación de información del sistema de turnos disponible en la entidad (número de turno, empleado, fecha, hora de toma de turno, hora de llamado del turno, hora de atención de turno y hora de finalización del turno), cuando dicha información no estaba disponible, se realizó un trabajo de medición de tiempos in situ, apoyada con dos formatos: el primero para la toma de tiempo de atención en caja, en él, además de registrar los tiempos de arribo y salida del cliente, se registraron los códigos de causal de demora y el tipo de transacción; el segundo para la toma de tiempo “en cola”, en el cual se registró el tiempo transcurrido desde el momento en que el cliente toma el turno, hasta que es llamado a la ventanilla.

Para la medición de tiempo fue necesario determinar primero el ciclo del estudio. Con ese fin se realizó una toma inicial de tiempos de atención en dos cajas que operaban de manera simultánea. El resultado final (ver detalles de cálculo en Caicedo, 2018), después de veinte tomas, mostró que se requerían 183,9 y 123,5 ciclos respectivamente en las cajas 1 y 2, para obtener una muestra con un nivel de confianza de 95% y un error relativo de 5%. Se decidió entonces trabajar con el mayor valor, 184 ciclos.

Hecho esto se procedió con la valoración del trabajo, pues el cálculo del tiempo estándar requiere determinar la habilidad y el esfuerzo de los empleados que participan en el estudio, para lo que se utilizó el sistema de calificación Westinghouse (Niegel & Freivalds, 2009) y sus cuatro factores: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia (TABLA 1). Este sistema establece un valor numérico que representa un nivel para cada factor así: superior, excelente, bueno, promedio, aceptable y malo, para habilidad; excesivo, excelente, bueno, promedio, aceptable y malo, para esfuerzo; ideal, excelente, bueno, promedio, aceptable y malo, para condiciones; y perfecto, excelente, bueno, promedio, aceptable y malo, para consistencia.

Los resultados obtenidos para el cargo de cajero corresponden al nivel “bueno” de este sistema de calificación en cada uno de los cuatro factores, con un factor de desempeño de 1.08. Para cuidar la homogeneidad de los datos se tuvo en cuenta el perfil del cajero a evaluar, determinando: la experiencia exigida en el perfil del cajero (mayor de un año) y la experiencia en la ejecución del cargo (antigüedad) en la cooperativa (mayor de seis meses), que equivale al tiempo en que se completa la curva de aprendizaje.

**Tabla 1. Sistema de calificación Westinghouse (Niebel & Freivalds, 2009)**

Factor		Calificación	
Habilidad	+0,15	A1	Superior
	+0,13	A2	Superior
	+0,11	B1	Excelente
	+0,08	B2	Excelente
	+0,06	C1	Bueno
	+0,03	C2	Bueno
	0,00	D	Promedio
	-0,05	E1	Aceptable
	-0,10	E2	Aceptable
	-0,15	F1	Malo
Esfuerzo	-0,22	F2	Malo
	+0,13	A1	Excesivo
	+0,12	A2	Excesivo
	+0,10	B1	Excelente
	+0,08	B2	Excelente
	+0,05	C1	Bueno
	+0,02	C2	Bueno
	0,00	D	Promedio
	-0,04	E1	Aceptable
	-0,08	E2	Aceptable
Condiciones	-0,12	F1	Malo
	-0,17	F2	Malo
	+0,06	A	Ideal
	+0,04	B	Excelente
	+0,02	C	Bueno
	0,00	D	Promedio
Consistencia	-0,03	E	Aceptable
	-0,07	F	Malo
	+0,04	A	Perfecto
	+0,03	B	Excelente
	+0,01	C	Bueno
	0,00	D	Promedio
-0,02	E	Aceptable	
-0,04	F	Malo	

Debido a que el trabajo se realiza en jornadas laborales de ocho horas, es muy probable que sea ininterrumpido debido a necesidades personales o contingencias imprevistas, tales como retrasos en el proceso y daños del sistema o los equipos. Por lo tanto, para la definición del tiempo estándar fue necesario definir holguras, lo que se hizo igualmente con base en el sistema de calificación Westinghouse (Niebel & Freivalds, 2009), que se presenta en la TABLA 1.

Este sistema establece dos suplementos constantes, uno por necesidades personales, otro por fatiga básica, y diez suplementos variables, dos de ellos relacionados con la posición en el trabajo y los demás con el uso de la fuerza, el nivel de luz, las condiciones atmosféricas, los niveles de atención requerida, ruido y estrés mental, la monotonía y el tedio. Como se puede apreciar en la TABLA 2, el factor definido fue de 1,19.

Para la toma de tiempos se utilizó la técnica continua y acumulativa, el cronómetro funcionó de manera ininterrumpida durante toda la jornada de toma de tiempos, desde la medida del primer elemento hasta la finalización del estudio. En esta técnica el tiempo se determina como el periodo que transcurre entre el inicio y la finalización de cada elemento o transacción. Como resultado de ello se calcula el Tiempo Medio Observado [TMO]. El tiempo estándar se calculó mediante la ECUACIÓN (1):

$$\text{Tiempo estándar} = \text{Tiempo normal} \times (1 + \text{Suplementos}) \quad (1)$$

donde,

$$\text{Tiempo normal} = \text{Tiempo medio observado} \times \text{Factor de desempeño} \quad (2)$$

En la organización de la información para el análisis de los datos se determinaron rangos de atención así: rangos 0 a 3, en franjas de 30 segundos, lo que es consistente tanto con los resultados de la medición en el campo, que mostraron un mínimo de 18 segundos, como con el referente del mercado (2 minutos); rangos 4 a 8 con tiempos superiores: de 2 a 3 minutos, 3 a 5 minutos, 5 a 10 minutos, 10 a 20 minutos y más de 20 minutos, respectivamente.

**Tabla 2. Cálculo del factor de holgura (Kanawati, 1992)**

Tipo	Suplemento...	Criterio	St.	Ptos.
Constante	Por necesidades personales		5	5
	Base por fatiga		4	4
Variable	Por trabajar de pie		2	0
	Por postura anormal	Ligeramente molesta	0	0
		Molesta (agachado)	2	
		Muy molesta (tendido, estirado)	7	
	Uso de la fuerza o energía muscular (levantar, jalar o empujar) en libras:	5	0	0
		10	1	
		15...	2	
		...70	22	
	Iluminación	Un poco debajo de la recomendada	0	0
		Bastante menor que la recomendada	2	
		Muy inadecuada	5	
	Condiciones atmosféricas (calor y humedad)		0-100	0
	Atención requerida	Trabajo bastante fino	0	2
		Trabajo fino o preciso	2	
		Trabajo muy fino y muy preciso	5	
Nivel de ruido	Continuo	0	0	
	Intermitente-fuerte	2		
	Intermitente- muy fuerte	5		
	De tono alto- fuerte	5		
Estrés mental	Proceso bastante complejo	1	4	
	Atención compleja o amplia	4		
	Muy Compleja	8		
Monotonía	Nivel bajo	0	2	
	Nivel medio	1		
	Nivel alto	4		
Tedio	Algo tedioso	0	2	
	Tedioso	2		
	Muy tedioso	5		
Total			19	
Factor de holgura			1,19	

## Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario

### PASO 2. DEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA, LA OCUPACIÓN DEL CAJERO Y LA PRODUCTIVIDAD

Una vez definido el tiempo estándar por cajero, se calculó la capacidad instalada (ECUACIONES 3 y 4), la ocupación del cajero (ECUACIÓN 5) y la productividad (ECUACIÓN 6).

$$\text{Capacidad instalada sede} = \sum_{i=1}^n \text{Capacidad del cajero } i \quad (3)$$

$$\text{Capacidad del cajero} = \frac{\text{Horas disponible en jornada}}{\text{Tiempo estándar en horas}} \quad (4)$$

$$\text{Ocupación del cajero} = \frac{\text{Tiempo en atención por jornada}}{\text{Tiempo disponible por jornada}} \quad (5)$$

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Número de turnos atendidos}}{\text{Capacidad del cajero}} \quad (6)$$

### PASO 3. ANÁLISIS DE TIEMPO DE ESPERA EN COLA Y CARACTERIZACIÓN DEL PATRÓN DE ARRIBO

La secuencia de tareas para el análisis del tiempo de espera fue: recopilar información del servicio, esto es al menos turno, cajero, fecha, hora de toma del turno y hora de llamado del turno; integrar en la información de los campos el día, mes, semana, quincenas –si aplica– y fechas de corte para el pago de facturas; y determinar el tiempo de espera en cola, comparando las horas de toma y llamado del turno. Para facilitar el análisis de información de espera en cola fueron utilizados seis rangos (numerados de 1 a 6) con espacios de quince minutos –atendiendo el parámetro de mercado–, desde 0 a 15 minutos (rango 1), hasta más de 75 minutos (rango 6). Para el análisis de patrón de arribo de asociados se determinó un tiempo de quince minutos por ciclo, los cuales se distribuyeron durante el horario de atención del servicio: de 8:00 a 11:30 AM (catorce ciclos) y de 2:00 a 5:00 PM (doce ciclos). El comportamiento de las tasas de arribo de clientes fue analizado mediante gráficos. Además, se determinaron: un mínimo de tres días “distintos” del mes, de acuerdo con los niveles de afluencia (alta, media y baja); y comportamientos estacionarios (jornada–día) y estacionales (fecha–mes), cuando era aplicable.

#### **PASO 4. VALIDACIÓN DE ESCENARIOS POR MEDIO DE LA SIMULACIÓN**

Para apoyar el trabajo de simulación se utilizó Promodel, software de modelación que permitió “experimentar” el comportamiento de una sede específica en momentos de alta afluencia y simular mejoras en el desempeño. Para la simulación fue necesario caracterizar el servicio de caja así: cuando los clientes llegan a la agencia toman un turno y entran a una cola única donde permanecen hasta ser atendidos por uno de los servidores disponibles (cajeros), considerando los aspectos relacionados con la manera en que llegan los clientes, la distribución de los tiempos de servicio y el número típico de cajeros (dos por lo general, aunque una de las agencias tiene cuatro).

La llegada de los clientes es probabilística, dado que no está definido el tiempo entre llegadas sino que es aleatoria. La función de probabilidad que más se utiliza en este tipo de procesos es la distribución de Poisson. Con el fin de comprobar el tipo de distribución fue utilizada la herramienta Stat Fit –disponible en Promodel– y se analizó la tasa de arribo conforme con la clasificación citada en el paso 3: afluencia y comportamiento estacional. La distribución de los tiempos de servicio es variable y probabilística, pues de acuerdo con el tipo de transacción se determina el tiempo de atención de los cajeros. Los tiempos, en este caso, muestran una probabilidad de tipo exponencial. Con el fin de comprobar el tipo de distribución aplicable al tiempo de servicio fue utilizada la herramienta Stat Fit, disponible en Promodel. Fueron analizados los tiempos de atención de cada cajero según el día de atención de acuerdo con los criterios de afluencia y estacionalidad.

### **LA IMPLEMENTACIÓN**

El estudio fue realizado en las sedes de la cooperativa identificadas con los códigos 01, 04 y 10, las tres agencias con mayor participación en el consolidado de quejas por demora en caja. Cabe mencionar que las sedes código 04 y código 10 son, en su orden, las más representativa de la cooperativa tanto por su volumen de negocio como por su contribución a la generación de excedentes.

El tiempo estándar se calculó a partir de 245 mediciones en caja por sede realizadas durante cinco días: dos a comienzo de mes, uno de quincena y dos de fin de mes, con el fin de notar las diferencias en el comportamiento de acuerdo con la afluencia de público. El trabajo en campo permitió tener claridad en

variables y situaciones de demora que no se pueden observar solamente con los datos del sistema de turnos.

El horario de atención en la caja es de lunes a viernes de 8:00 am a 11:30 am y de 2:00 pm a 5:00 pm y los sábados, de 8:00 am a 11:30 am, para un total de 6,5 horas de lunes a viernes y 3,5 horas, los días sábados. Los cajeros son fijos y siempre están disponibles en los horarios de atención, por tanto, no se maneja el concepto de cajero por turno.

La revisión de las transacciones registradas por cajero y por sede permitió establecer que: la sede código 04 en promedio realiza 14.607 transacciones mensuales (646 transacciones diarias) con cuatro cajeros, para un promedio de 3.652 transacciones por cajero / mes; la sede código 10, 5.428 transacciones mensuales (228 transacciones diarias) con dos cajeros, para un promedio de 2.714 transacciones por cajero / mes; y la sede código 01, 7.519 transacciones mensuales (321 transacciones diarias) con dos cajeros, para un promedio de 3.760 transacciones por cajero / mes.

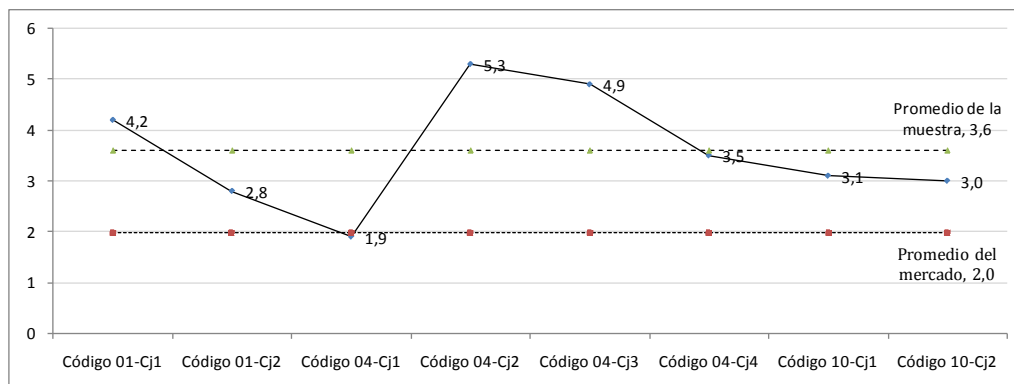
El análisis de comportamiento transaccional permitió hacer comparativos con los datos del sistema de turnos, lo que contribuye a una mayor aproximación del análisis y conclusiones a la realidad de la cooperativa en la prestación del servicio.

A continuación se presentan los resultados de la aplicación de lo descrito en la sección Método. El detalle de los datos (tiempos) tomados para todos los cálculos se puede obtener en el capítulo 5 del trabajo de Caicedo (2018).

#### **PASO I. DEFINICIÓN DEL TIEMPO ESTÁNDAR DE ATENCIÓN EN CAJA**

El tiempo estándar de atención en caja del total de la muestra es de 3,6 minutos, lo que resulta de la aplicación de la ECUACIÓN 1 a nivel de las sedes. Ellas, a su vez, obtienen como tiempos estándar: 3,9 (código 04); 3.1 (código 10) y 3,5 minutos (código 01). La información a nivel de cajero, con una comparación frente al estándar del mercado y el promedio de la cooperativa, se presenta en la FIGURA 1.

Por otra parte, la revisión de los tiempos de atención muestra que las sedes logran atender, respectivamente al 71 %, 64 % y 66 % de sus usuarios en un lapso menor o igual a tres minutos; y que estos números disminuyen a 60 %, 47 % y 42 %, respectivamente, para un lapso de dos minutos, el estándar del mercado.



**Figura 1. Tiempo de atención estándar por cajero frente a los promedios del sector y la cooperativa**

El cálculo del tiempo promedio de atención evidencia la amplia brecha que existe entre sus números y el tiempo promedio de atención en el mercado, por lo que es claro que la cooperativa debe adoptar indicadores en la prestación del servicio que le permitan ser más competitiva.

**PASO 2. DEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA, OCUPACIÓN DEL CAJERO Y PRODUCTIVIDAD**

Los cálculos de la capacidad instalada fueron realizados con base en las ECUACIONES 3 y 4. Sus resultados indican que ella es de 475, 259 y 231 atenciones por día, respectivamente, para las sedes código 04, 10 y 01. El proceso además mostró diferencias importantes entre los cajeros, al punto de que cada sede dispone de un cajero cuya habilidad le permite realizar un mayor número de atenciones por día. Esta observación es consistente con lo manifestado por González et al. (2016) respecto de la influencia de la cualificación de los empleados y su impacto en la productividad. Para la cooperativa, destaca la importancia de evaluar las buenas prácticas implementadas por estos cajeros destacados y realizar labores de formación dirigidas a estandarizar los tiempos de atención. Por su parte, los cálculos de nivel de ocupación y productividad fueron realizados con base en las ECUACIONES 5 y 6, respectivamente, con información de tres días (de alta, media y baja afluencia). La investigación, a partir de esta actividad se enfocó únicamente en las sedes código 04 y 10, las de mayor relevancia para la organización. El resultado de los cálculos se presenta en la TABLA 3. El detalle de la toma de datos y cálculos por sede se presenta en la TABLA 4 (ocupación) y en la TABLA 5 (productividad).



**Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario**

**Tabla 3. Niveles de ocupación y productividad / sede**

	Sede	Código 04			Código 10		
	Afluencia	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Turnos atendidos		556	383	170	175	133	80
Nivel de ocupación de las cajas (%)		90	68	36	88	59	42
Productividad (%)		117	81	36	68	51	31
Tiempo de espera en cola promedio (minutos)		25	17	16	10	9	2

**Tabla 4. Niveles de ocupación por sede según nivel de afluencia de público**

	Sede	Código 04			Código 10		
		Afluencia	Alta	Media	Baja	Alta	Media
Tiempo de atención (segundos)	Cajero 1	17.115	9.605	0	17.903	15.457	8.603
	Cajero 2	23.407	17.794	13.077	23.087	12.245	11.183
	Cajero 3	21.179	16.427	11.120	n.a	n.a	n.a
	Cajero 4	22.812	19.733	9.463	n.a	n.a	n.a
	Total	84.513	63.559	33.660	40.990	27.702	19.786
Turnos atendidos por jornada (#)		556	383	170	175	133	80
Tiempo disponible / jornada / cajero (segundos)		23.400	23.400	23.400	23.400	23.400	23.400
Nivel de ocupación (%)	Cajero 1	73	41	0	77	66	37
	Cajero 2	100	76	56	99	52	48
	Cajero 3	91	70	48	n.a	n.a	n.a
	Cajero 4	90	68	36	n.a	n.a	n.a
	Total	90	68	36	88	59	42

**Tabla 5. Niveles de productividad por sede según nivel de afluencia de público**

Sede		Turnos atendidos/ jornada			Capacidad instalada	Productividad (%)		
		Alta	Media	Baja		Alta	Media	Baja
Código 04	Cajero 1	223	124	0	210	106	59	0
	Cajero 2	126	69	60	73	172	94	82
	Cajero 3	62	75	40	80	78	94	50
	Cajero 4	145	115	70	112	130	103	63
	Total	556	383	170		117	81	36
Código 10	Cajero 1	74	59	31	127	58	46	24
	Cajero 2	101	74	49	131	77	56	37
	Total	175	133	80		68	51	31

En el caso de la sede código 04, se observa que un día de alta afluencia el cajero 1, aún con baja ocupación, presenta una productividad de 106% y contribuye con un número considerado de atenciones, lo que amerita realizar trabajo de campo para determinar a qué obedece esa baja ocupación y óptima agilidad en la atención.

La muestra presenta ocupaciones que superan el tiempo disponible, esto obedece a que, si bien la sede cierra sus puertas a la hora prevista, la atención finaliza solo cuando es atendido el último cliente de la cola, con un tiempo extra que oscila en alrededor de una hora. Por otra parte, el análisis de la capacidad de los cajeros presenta una variabilidad frente al tiempo estándar disponible de cada uno, por lo que es importante determinar aspectos a fortalecer con entrenamiento, pues los cuatro cajeros analizados cumplen con la experiencia y antigüedad que requiere el cargo.

En la muestra se puede observar que existen días donde la agencia dispone de solo tres cajeros, lo que dado el bajo nivel de ocupación haría suponer que ello no afecta el nivel de servicio, sin embargo, en la espera en cola se observan días en promedio con tiempos superiores al mercado (entre 16 y 25 minutos). Como esto no está relacionada con la ocupación del cajero, es recomendable realizar un trabajo de campo que permita identificar factores que afectan la prestación del servicio.

Al indagar acerca de los factores que afectan los tiempos de atención con el director de la oficina y los cajeros, ellos argumentan que existe una cultura de acompañamiento al cliente y orientación en el diligenciamiento de formatos en caja, tiempo que cuenta en la atención de cada turno.

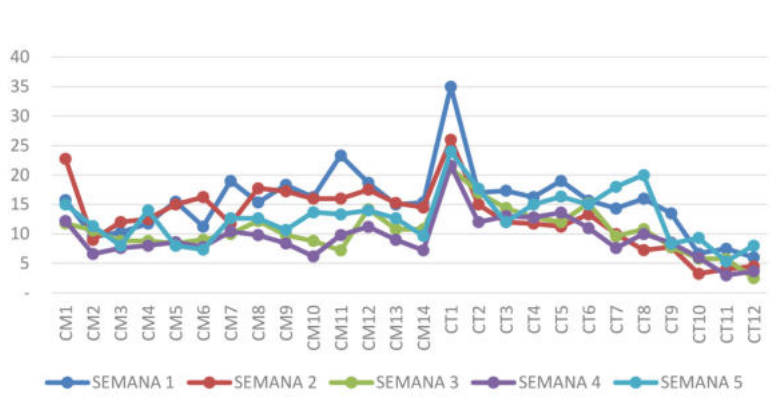
En el caso de la sede código 10, los tiempos de atención de los cajeros presentan leves diferencias que ameritan, tal como se mencionó para la otra sede, determinar los aspectos a fortalecer en el entrenamiento de los cajeros, para mejorar su agilidad y con ello aumentar la capacidad instalada.

Por otra parte, es claro que la productividad de los cajeros en días de alta afluencia es baja, el servicio no se está utilizando de acuerdo con su capacidad. A diferencia de lo que ocurre en la sede código 04, el tiempo promedio en cola no supera el estándar del mercado y en días de baja afluencia los asociados en promedio esperan hasta dos minutos para ser atendidos, por tanto, las quejas registradas, en el caso de la sede código 10, no guardan relación con lo encontrado.

**PASO 3. ANÁLISIS DE TIEMPO DE ESPERA EN COLA Y CARACTERIZACIÓN DEL PATRÓN DE ARRIBO**

En las sedes código 04 y código 10 se analizó la tasa de arribo por semana en un periodo de seis meses en franjas de quince minutos. El comportamiento en la sede código 04 se ilustra en las FIGURAS 2 a 7, algunos aspectos destacados son:

- la mayor tasa de arribo en los meses de enero, febrero y marzo se presentó en las semanas 1, 2 y 5, en abril en las semanas 1 y 5 y en mayo y junio en las semanas 1 y 2;
- en todos los meses los clientes arribaron en mayor proporción durante los primeros quince minutos de cada jornada (mañana y tarde);
- en todos los meses, la jornada de la tarde presentó mayor afluencia de público entre las dos y las cuatro, momento a partir del cual baja la afluencia de público;
- en febrero, en la jornada de la mañana el arribo no fue estacionario, pues no muestra una constante;
- en abril, en la jornada de la mañana de la semana 5 se incrementó el arribo de asociados entre las nueve treinta y las once;
- en mayo y junio, en las jornadas de la mañana de las semanas 1 y 2 se incrementó el arribo de asociados entre las nueve y las once;
- en general, las semanas 3 y 4, cuando la 4 no es la última semana del mes, presenta una disminución en el número de atenciones.



**Figura 2. Sede código 04: tasa de arribo por semana de enero de 2018**

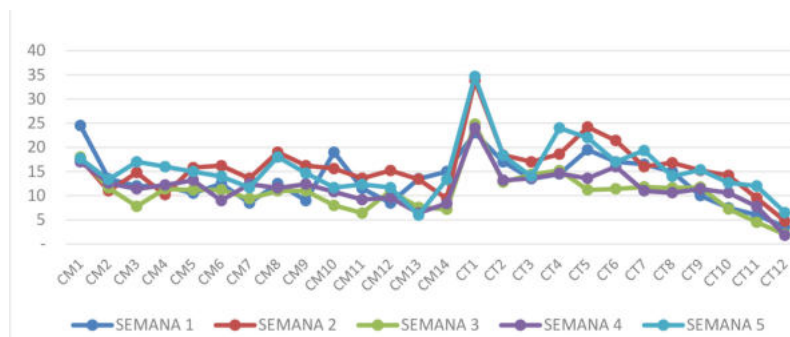


Figura 3. Sede código 04: tasa de arribo por semana de febrero de 2018

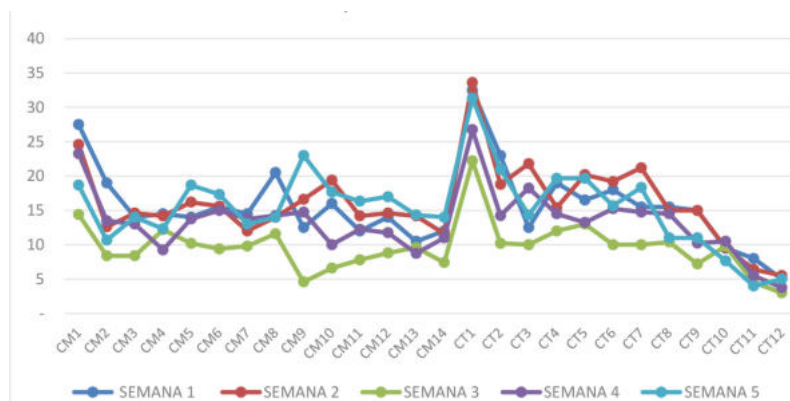


Figura 4. Sede código 04: tasa de arribo por semana de marzo de 2018

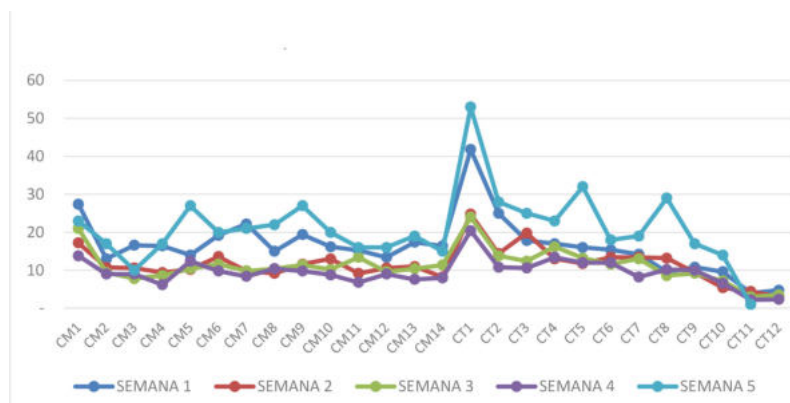
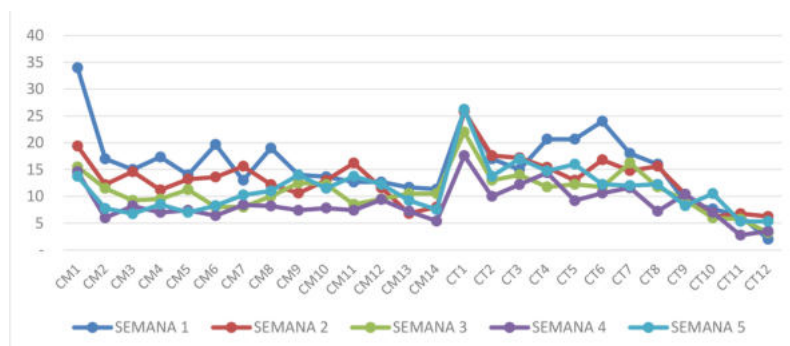
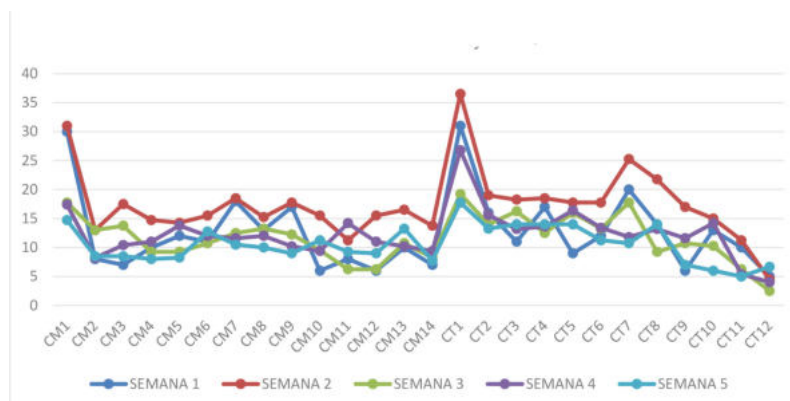


Figura 5. Sede código 04: tasa de arribo por semana de abril de 2018

## Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario



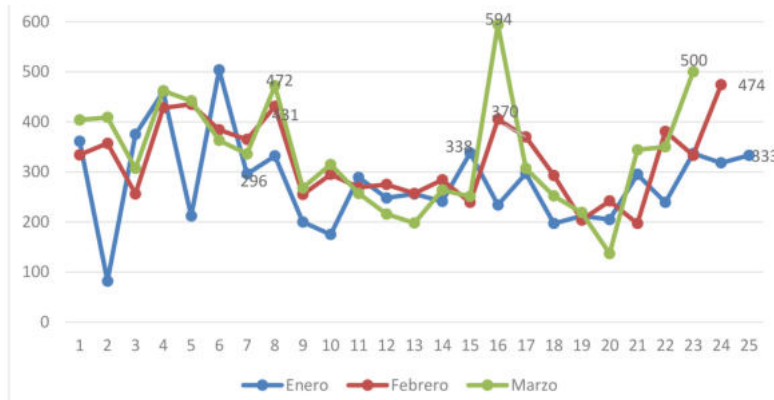
**Figura 6. Sede código 04: tasa de arribo por semana de mayo de 2018**



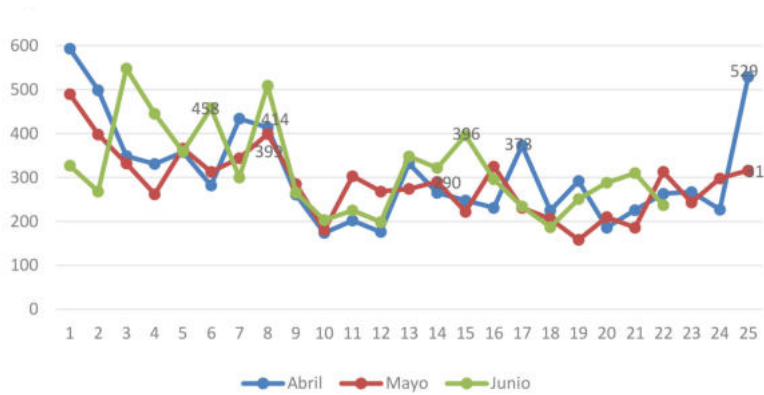
**Figura 7. Sede código 04: tasa de arribo por semana de junio de 2018**

Durante el mismo periodo se realizó el análisis por tasa de arribo en días hábiles. En las gráficas de comportamiento (número de turnos) de los meses de enero a marzo (FIGURA 8) y de abril a junio (FIGURA 9) se evidencia una mayor afluencia: durante los primeros ocho días hábiles de cada mes; en los días cuando se acerca el segundo corte (14,15 y 16); y en los últimos tres días de cada mes. Este comportamiento está muy asociado con la fecha de corte o pago de facturas, así: 39,64 % (día 10); 22,30 % (día 20); y 38,06 (día 30). En marzo el comportamiento es atípico, lo que puede estar asociado con la época de Semana Santa. El mes de junio, no incluye los datos del último día.

Con base en la lectura de este comportamiento, se puede determinar que la sede código 04 presenta la mayor afluencia el primer día de la semana, lunes o



**Figura 8. Sede código 04: número de turnos enero-marzo de 2018**

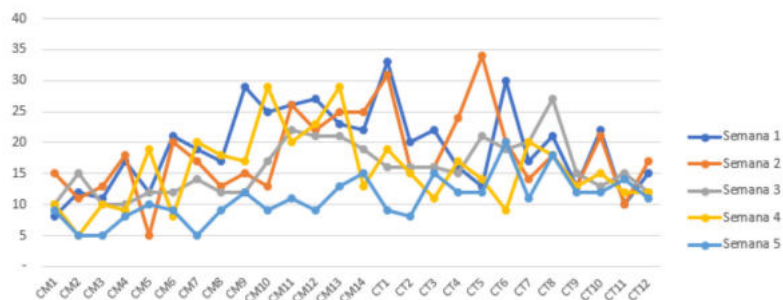


**Figura 9. Sede código 04: número de turnos abril-junio de 2018**

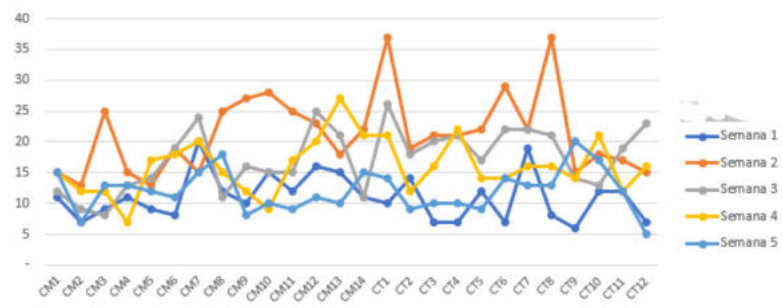
martes (si el lunes es festivo). De igual forma se logra cuantificar a los días de mayor afluencia como aquellos con una tasa de arribo superior a 400 turnos y a los de menor afluencia como aquellos con una tasa de arribo inferior a 300 turnos.

Para la sede código 10, las tasas de arribo por semana correspondientes al mismo periodo se ilustran en las FIGURAS 10 a 15. En las gráficas se destacan dos aspectos: el primero, que no hubo uniformidad en cuanto a las semanas con mayor tasa de arribo, en enero la mayor tasa se presentó en las semanas 1, 2 y 3, en febrero durante las semanas 2, 3 y 4; en marzo, en la semana 2; en abril, durante la semana 1 y en mayo, durante las semanas 1 y 2, mientras

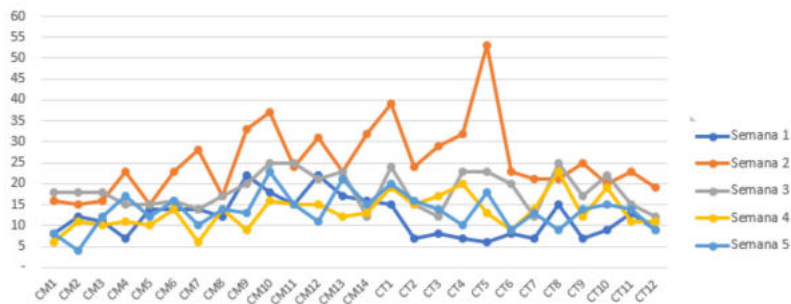
## Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario



**Figura 10. Sede código 10: tasa de arribo por semana de enero de 2018**



**Figura 11. Sede código 10: tasa de arribo por semana de febrero de 2018**



**Figura 12. Sede código 10: tasa de arribo por semana de marzo de 2018**

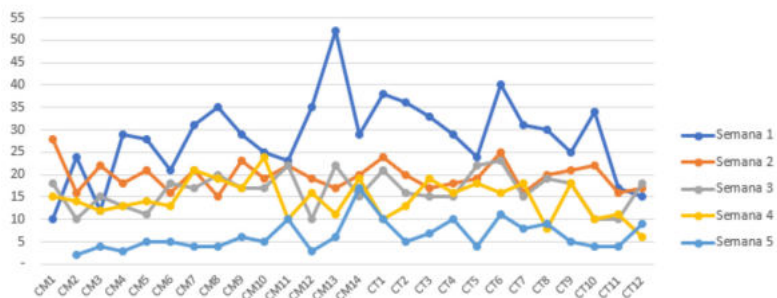


Figura 13. Sede código 10: tasa de arribo por semana de abril de 2018

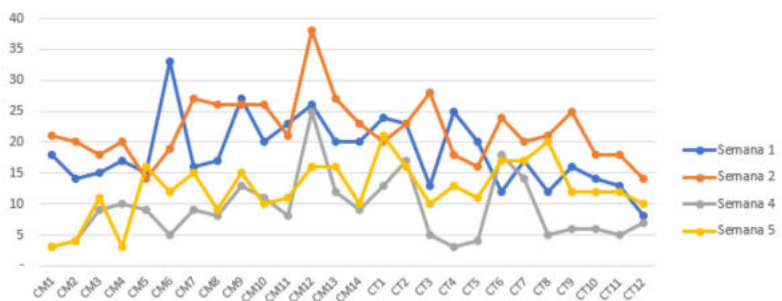


Figura 14. Sede código 10: tasa de arribo por semana de mayo de 2018

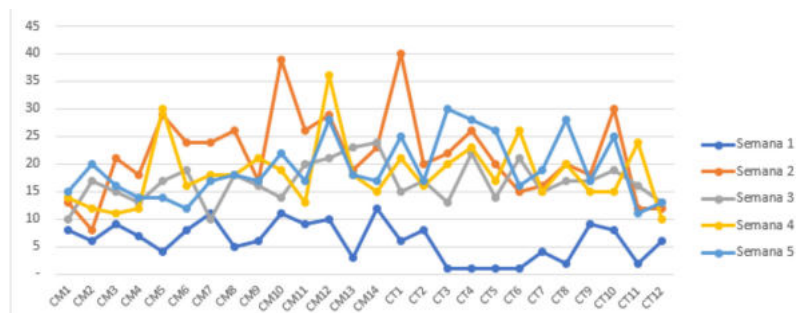


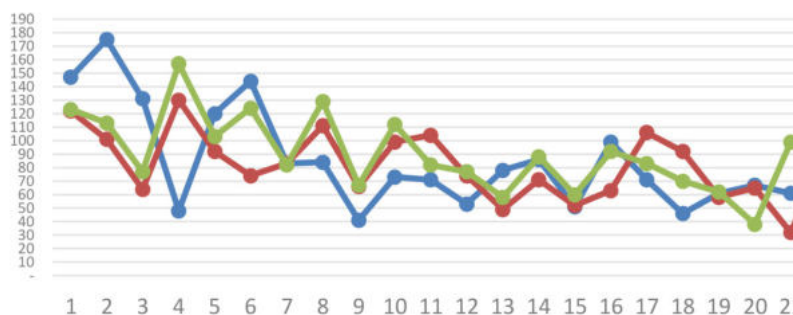
Figura 15. Sede código 10: tasa de arribo por semana de junio de 2018



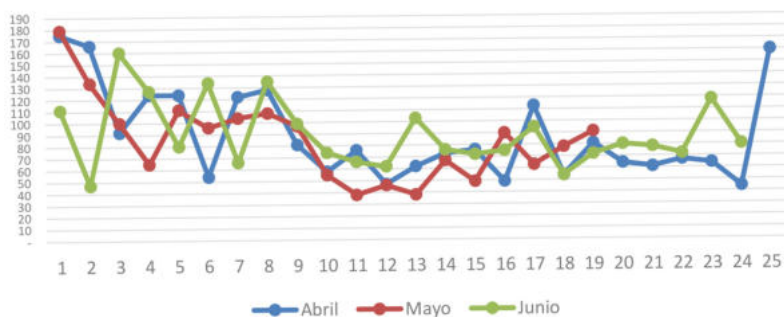
## Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario

que en junio lo notable fue la baja afluencia de público durante la semana 1 (las demás semanas tuvieron un comportamiento relativamente homogéneo); el segundo, que la afluencia de clientes según la hora tampoco fue uniforme, en enero, la mayor tasa de arribo se presentó en las mañanas de nueve a once y en las tardes entre las tres y las cuatro, en febrero los clientes arribaron en mayor proporción entre las nueve y once de la mañana y de dos a cuatro de la tarde, mientras que los meses de marzo, abril y mayo no mostraron un comportamiento estacionario.

En esta sede, el análisis por tasa de arribo en días hábiles realizado durante el mismo periodo (FIGURAS 16 y 17) permite observar una mayor afluencia en los primeros ocho días hábiles de cada mes, en los días que se acerca la fecha del segundo corte (días 15, 16 y 17) y en los últimos tres días de cada mes. Este comportamiento está muy asociado con la distribución de asociados de la



**Figura 16. Sede código 10: número de turnos enero-marzo de 2018**



**Figura 17. Sede código 10: número de turnos abril-junio de 2018**

agencia, en ella el segundo corte tiene una menor proporción, por lo que los asociados cancelan los últimos y primer día del mes. La distribución es: 27,94 % (día 10); 17,97 % (día 20); y 54,09 (día 30).

#### PASO 4. VALIDACIÓN DE ESCENARIOS POR MEDIO DE LA SIMULACIÓN

Con base en los datos de ocupación y productividad obtenidos se realizó la validación de escenarios en la sede código 04, lo que permite analizar la pertinencia de ampliar la planta de cajeros y sugerir un número apropiado de ellos. Para la simulación se estableció el tipo de distribución de la llegada de clientes (usando StatFit) y la distribución de los tiempos de servicio.

Se calculó el tipo de distribución aplicable para la tasa de arribo en días de alta afluencia tanto para la jornada de la mañana (FIGURA 18) como para la de la tarde (FIGURA 19). En ambos casos, como se muestra en dichas imágenes, la distribución de Poisson es la que mejor se adecúa a ellas.

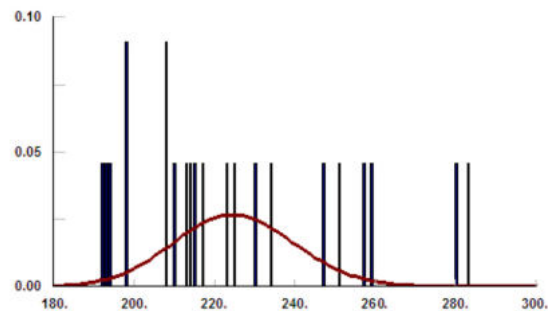


Figura 18. Sede código 04: distribución de llegada en la jornada de la mañana

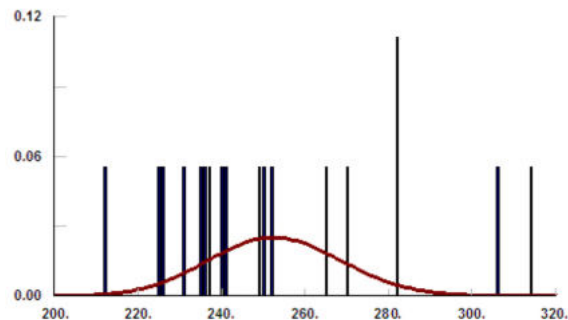
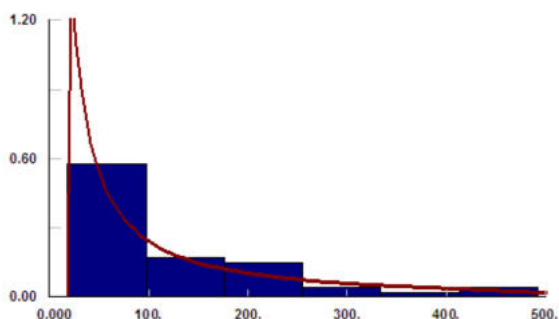


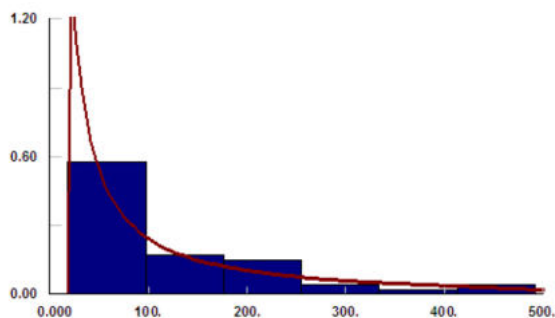
Figura 19. Sede código 04: distribución de llegada en la jornada de la tarde

## Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario

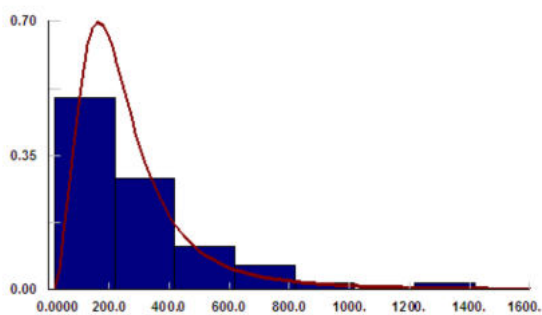
Se calculó también la distribución de los tiempos de servicio para cada cajero disponible, teniendo en cuenta que los tiempos son variables y dependen del tipo de transacción que realiza el asociado. Los resultados se presentan en las FIGURAS 20 a 23, respectivamente para los cajero 1 a 4.



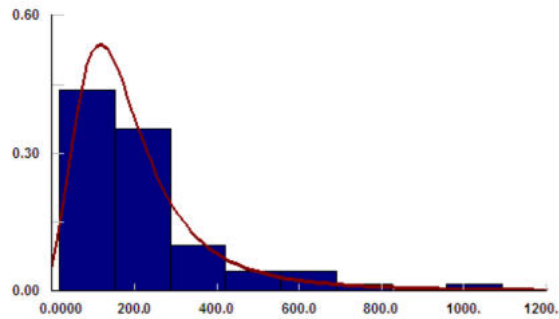
**Figura 20. Sede código 04: distribución de tiempos de servicio del cajero 1**



**Figura 21. Sede código 04: distribución de tiempos de servicio del cajero 2**

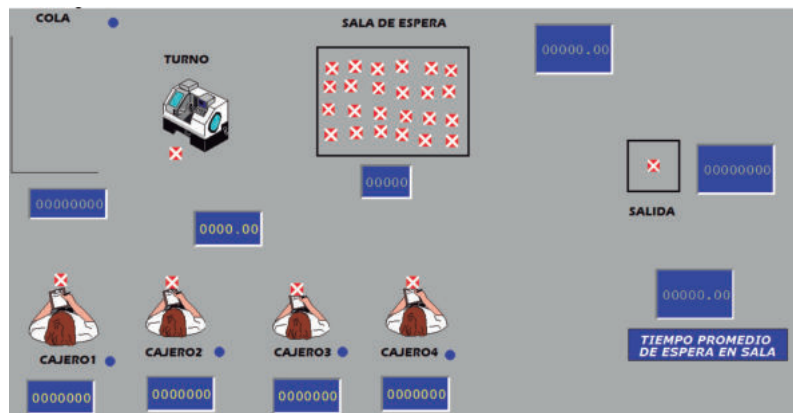


**Figura 22. Sede código 04: distribución de tiempos de servicio del cajero 3**



**Figura 23. Sede código 04: distribución de tiempos de servicio del cajero 4**

En la simulación se consideraron tres escenarios para un día de alta afluencia: sin aumento en el número de cajeros (FIGURA 24), con un cajero extra (FIGURA 25) y con cualificación de los cajeros (FIGURA 26). Se simuló un día de alta afluencia en la que los datos estadísticos arrojan la extensión del horario habitual para la finalización de la atención de turnos y un tiempo promedio de espera de 25 minutos. Para esta simulación fueron utilizadas las distribuciones de probabilidad calculadas para la tasa de arribo de clientes y tiempos de atención de los cajeros. Los resultados de cada simulación se presentan en las TABLAS 6 a 11, los resultados globales en las TABLAS 6, 8 y 10, respectivamente para los escenarios 1, 2 y 3), y los resultados por cajero en las TABLAS 7, 9 y 11, también respectivamente.



**Figura 24. Escenario 1: sin aumento en el número de cajeros (4 cajeros, 100 réplicas)**

**Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario**

**Tabla 6. Resultado del escenario 1: sin aumento en el número de cajeros (4 cajeros, 100 réplicas)**

	Salidas totales	Tiempo promedio (minutos)		
		En el sistema	En la espera	En la operación
Promedio	460	29,43	24,25	4,35
Máximo	506	46,21	40,12	5,06

**Tabla 7. Resultado del escenario 1 / cajero**

Cajero	Promedio de utilización (%)	Tiempo promedio por entrada (minutos)
1	82,89	2,00
2	84,03	5,34
3	83,15	4,91
4	82,53	3,80
Total	83,15	4,01

Como se observa en las TABLAS 6 y 7, los tiempos de ocupación de los cajeros (83.1 %), de atención promedio (4,35 minutos), de espera promedio en la cola (24 minutos) y en el sistema, más el promedio de clientes en cola (34) son elevados en comparación con los estándar del mercado. Por ello se realizó un segundo escenario (FIGURA 25) de simulación incluyendo un quinto cajero.



**Figura 25. Escenario 2: con un cajero adicional (5 cajeros, 100 réplicas)**

**Tabla 8. Resultado del escenario 2: con un cajero adicional (5 cajeros, 100 réplicas)**

	Salidas totales	Tiempo promedio (minutos)			Salidas totales
		En el sistema	En la espera	En la operación	
Promedio	457	16,21	11,02	4,56	0,63
Máximo	513	30,64	25,03	4,98	0,79
Mínimo	399	6,00	1,47	4,17	0,34

**Tabla 9. Resultado del escenario 2 / cajero**

Cajero	Promedio de utilización (%)	Tiempo promedio por entrada (minutos)
1	64,70	1,99
2	66,07	5,34
3	64,35	4,95
4	62,48	3,81
5	61,22	5,03
Global	63,76	4,23

Como se observa en la TABLA 8, aumentar un cajero disminuye el tiempo promedio de atención (tiempo total en el sistema) a 16,21 minutos, un valor muy cercano al promedio del mercado. Sin embargo, disminuye también la ocupación del cajero (TABLA 9), pasa de 83 % a 64 %, con un tiempo promedio de atención muy similar (alrededor de cuatro minutos).

En vista de lo anterior, antes de recomendar decisiones que impliquen aumentar los costos fijos (como es el caso de la contratación del cajero adicional), se decidió realizar una tercera simulación (FIGURA 26) en la que se mantiene el número original de cajeros, pero se mejora su cualificación. Con esto último se espera que el tiempo promedio estándar sea similar al del cajero más rápido, lo que mejora los tiempos de espera en cola y en el sistema (TABLAS 10 y 11).

Es recomendable entonces, antes de pensar en incrementar la planta de personal, analizar e implementar mejoras que optimicen el tiempo en la atención, pues con ello se mejoraría la capacidad en caja y se agilizaría la atención. Estos resultados corroboran la argumentación de Hao & Yifei (2011) acerca de la importancia de modificar variables en los procesos.

## Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario



**Figura 26. Escenario 3: sin cajeros adicionales, pero con cualificación de los cajeros (4 cajeros, 100 réplicas y tiempo estándar igual para todos los cajeros)**

**Tabla 10. Escenario 3: sin cajeros adicionales, pero con cualificación de los cajeros (4 cajeros, 100 réplicas y tiempo estándar igual para todos los cajeros)**

	Salidas totales	Tiempo promedio (minutos)			Salidas totales
		En el sistema	En la espera	En la operación	
Promedio	460	4,72	1,61	2,88	0,23
Máximo	508	6,51	3,15	3,14	0,36
Mínimo	416	3,56	0,63	2,67	0,14

**Tabla 11. Resultado del escenario 3 / cajero**

Cajero	Promedio de utilización (%)	Tiempo promedio por entrada (minutos)
1	53,15	1,97
2	46,72	2,01
3	39,53	1,95
4	33,78	2,04
Global	43,29	1,99

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en estos resultados surge una propuesta de mejora con tres objetivos y una serie de actividades para su alcance, descritas a continuación:

Objetivo 1. Mejorar la competitividad en la atención al usuario.

- Realizar benchmarking en entidades del sector solidario y financiero que permita identificar tecnología y procesos flexibles implementados que hayan contribuido a la disminución de los tiempos de atención.
- Implementar herramientas tecnológicas y procesos que contribuyan a la disminución de los tiempos de atención considerando que en promedio el tiempo estándar de los cajeros es superior al referente del mercado, tales como estaciones para consulta de saldos en agencia e impresión de cheque en caja.

Objetivo 2. Mejorar la agilidad en la atención del servicio de caja.

- Determinar el tiempo de atención estándar en caja y evaluar las mejores prácticas internas para mejorar los tiempos de respuesta y nivelar la gestión de los cajeros, aumentando así la agilidad en la atención.
- Brindar entrenamiento en las mejores prácticas al personal de caja.
- Establecer estándares de medición en caja y en la prestación del servicio, tales como: ocupación del cajero, tiempo promedio de atención y los tiempos de espera en cola y en el sistema, tomando como referencia los tiempos del mercado: dos minutos para la atención en caja y quince minutos de espera en el sistema.
- Realizar campañas y disponer de material POP para facilitar el diligenciamiento de los formatos, de tal manera que cuando el asociado llegué a la caja, disponga del documento y ello reduzca el tiempo de atención.
- Aprovechar la información de atención que brinda el sistema de turnos para generar estándares de atención.

Objetivo 3. Optimizar la gestión de los cajeros.

- Identificar actividades de impacto que pueda apoyar cajero durante los días y horas de baja afluencia de público.
- Implementar caja asesora para los días de baja afluencia de público.
- Evaluar la necesidad de cajeros en aquellas agencias que por su composición transaccional así lo requieran.



La implementación de los indicadores en la caja debe tomar como referencia el mercado: dos minutos promedio en atención y quince minutos promedio de espera en el sistema, para alcanzarlos, de acuerdo con la simulación realizada, se debería llevar a cabo un programa de cualificación del personal que permita identificar brechas, adoptar las mejoras prácticas y generar planes de mejoramiento que redunden en la agilidad del servicio. Cabe mencionar que cualquier mejora de programación de cajeros demanda un proyecto de simulación, así como las consideraciones en tiempos de atención, agilidad en el servicio y fortalecimiento de competencias.

La implementación de estaciones para consulta y orientación al asociado antes de su paso a las cajas puede ser crucial pues como se evidenció, el asociado realiza en la caja actividades que aumentan los tiempos de respuesta, actividades que se podrían hacer por fuera de ella, previo a acceder a ella (diligenciamiento de formatos, consulta de saldos y orientación).

Como complemento del presente trabajo es importante aplicar el modelo analítico y comparar sus resultados con los de la simulación e integrar variables de análisis de costo servicio y costo de espera, de tal manera que se puedan cuantificar las acciones a tomar o no tomadas oportunamente. Asimismo es importante analizar los tipos de transacción en la prestación del servicio de caja, identificando su impacto en los tiempos de atención y tasa de llegada.

Se recomienda:

- estandarizar la metodología de medición de la capacidad instalada en toda la cooperativa para así determinar estándares de evaluación de desempeño;
- definir lineamientos para el crecimiento en planta cuando se observe saturación en el servicio o desajuste a los lineamientos de establecidos;
- identificar días de baja afluencia de público y establecer actividades con enfoque a resultado en las cuales el cajero podría apoyar;
- analizar las atenciones que están por encima del tiempo estándar y determinar las causas de ese sobre tiempo para así poder aplicar correctivos;
- implementar en el software de turnos con datos estadísticos en todas las sedes y definir un responsable de su administración y gestión, para así contar con insumos para la toma de decisiones;

- integrar en el software del dispensador de turnos datos estadísticos que faciliten la toma de decisiones (*e.g.*, tiempo entre llegadas, tiempo de atención estándar, tiempo en cola por ciclos u horarios);
- aplicar la metodología en asesoría y otras áreas de impacto como la fábrica de crédito, para determinar tiempos estándar de atención y de espera en cola, así como la ocupación de los asesores, para optimizar su gestión; y
- profundizar en temas de productividad en la cooperativa e integrar esta actividad al área encargada de organización y métodos.

## REFERENCIAS

- Caicedo, L. A. (2018). *Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario* [tesis de maestría, Universidad Icesi]. [http://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/handle/10906/84789](http://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/handle/10906/84789)
- Chowdhury, M. S. R. (2013). Queuing theory model used to solve the waiting line of a bank: A study of Islami Bank Bangladesh Limited, Chawkbazar Branch, Chittagong. *Asian Journal of Social Sciences and Humanities*, 2(3), 11. <http://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol10- issue1/D01012229.pdf>
- Dhar, S. K. & Rahman, T. (2013). Case study for bank ATM queuing model. *IOSR Journal of Mathematic*, 7(1), 1-5. <https://doi.org/10.5121/ijit.2014.3305>
- Gil, C., Manyoma, P. & Orejuela, J. P.(2016). Simulation-optimization model to determine the installed capacity of an educational services system. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 141-155.
- González, M. G., Alonso, M. V., & Tato, M. G. (2016). Innovation, productive capacity, training and productivity. *Cuadernos de Gestión*, 16(2), 77-02. <https://doi.org/10.5295/cdg.140513mg>
- Hao, T. & Yifei, T. (2011). Study on queuing system optimization of bank based on BPR. *Procedia Environmental Sciences*, 10(A), 640-646. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.103>
- Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (2015). *Investigación de Operaciones*. McGraw-Hill.
- Kanawati. G. [Ed.]. (1992). *Introduction to work study* [4a. ed]. International Labour Office.
- Küpers, W. (1998). Phenomenology of embodied productivity in services. *International Journal of Service Industry Management*, 9(4), 337-358. <https://doi.org/10.1108/09564239810228858>
- Niebel, B. W., Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. McGraw-Hill.
- Superintendencia de la Economía Solidaria (2020, abril 8). *Cooperativas de ahorro y crédito 2020*. <http://www.supersolidaria.gov.co/es/content/cooperativas-de-ahorro-y-credito-2020>

**Metodología para medición de la capacidad instalada y productividad en la prestación de servicios financieros en empresa del sector solidario**

Superintendencia Financiera de Colombia (2020, abril 8). *Información financiera con fines de supervisión: cooperativas financieras–NIF*.<https://www.superfinanciera.gov.co/publicacion/10084374>

Vuorinen, I., Järvinen, R., & Lehtinen, U. (1998). Content and measurement of productivity in the service sector. *International Journal of Service Industry Management*, 9(4), 377-396. <https://doi.org/10.1108/09564239810228876>

La preparación de este libro, que estuvo al cuidado de Claros Editores S.A.S., finalizó en junio de 2020. En su preparación, realizada desde la Editorial Universidad Icesi, se emplearon los tipos: Baskerville MT Std de 9, 10 y 12 puntos; Book antigua de 8 puntos; Cambria Math de 12 puntos; Gill Sans MT de 8, 9, 10, 14, 19, 26 puntos; y Times New Roman de 10 puntos.



En la colección “Bitácoras de la Maestría” se presentan los resultados de las investigaciones base del desarrollo de tesis meritorias de la Universidad Icesi. En este caso se incluyen tres trabajos provenientes de la Facultad de Ingeniería, específicamente de la Maestría en Ingeniería Industrial. El primero de ellos presenta una solución creativa, basada en energía solar, desarrollada en una alianza comunidad-proveedor-Estado, para un problema cada vez más común de las áreas marginales de las grandes ciudades latinoamericanas: el robo de energía y sus consecuentes efectos en las finanzas de las empresas y en la seguridad de los usuarios. La solución propuesta no solo logra eliminar el problema sino que genera excedentes de energía que fortalecen el sistema y es replicable en contextos similares. La segunda investigación corresponde a la aplicación de técnicas propias de la manufactura liviana en el sector salud. En ella se desarrolla una metodología de mejoramiento continuo usando DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) como proceso lógico de implementación y herramientas Lean para la detección de desperdicios y el diseño eficiente de procesos en la unidad de imágenes diagnósticas de una clínica, un área crítica de la cual dependen los médicos para avanzar en sus diagnósticos. El tercer trabajo también corresponde a la aplicación de conceptos propios de la industria manufacturera en ámbitos distintos, en este caso, de los conceptos de medición y optimización de la capacidad instalada para mejorar la productividad de las agencias de una cooperativa que presta servicios financieros.