

Aplicación de técnicas de clustering para caracterizar proveedores de servicios de mantenimiento

Sandra P. Usaquén Perilla¹, Nidia N. Vanegas Pabón², Carolina Lopera¹, y Antonio Miguel Cruz¹
1. Facultad de Medicina, Dpto. de Ciencias Básicas Universidad del Rosario, Calle 63D # 24-31
7 de Agosto, Bogotá D.C, Colombia,
Email autor contacto: antonio.cruz43@urosario.edu.co
2. Dpto. de equipos médicos Hospital Universitario de la Samaritana, Cra. 8 No. 0 – 55, Bogotá
D.C, Colombia, Nidia.vanegas@hus.org.co

Resumen— El objetivo del presente trabajo es utilizar técnicas de clustering para caracterizar a los proveedores de servicios de mantenimiento de una institución de salud. Se caracteriza el inventario del equipamiento perteneciente a 7 áreas pilotos (264 equipos médicos). Se encontró que como promedio el equipamiento puede ser catalogado de obsoleto. La razón TE/VU alcanza un valor promedio de 0.78 para todos los equipos. Se pudo detectar que el % que representa el mantenimiento del servicio en casa es de solo el 2.43% en comparación con el contratado. Se aplican técnicas de clustering (método SimpleKmeans) usando 26 variables de estudio para agrupar los proveedores de servicio. Entre las más significativas se tienen: el tiempo de respuesta (RT), la duración de las intervenciones (DR), la disponibilidad y el tiempo de cambio de estado (TAT), en horas. Se identifican 4 grupos o conglomerados de proveedores de servicios. Clasificados de la siguiente forma: Grupo (1, el 6% del total): Mejor desempeño, con alta disponibilidad, menores valores de TAT, RT y DR Grupo (0, el 25% del total): Desempeño medio, disponibilidad media (91.75% como promedio) valores de $1 < TAT < 6$ y los Grupos (2) y (3) el 69% del total, con bajos desempeños, por poseer valores altos de TAT y valores bajos de disponibilidad.

Palabras clave—Disponibilidad, Gestión Tecnológica, servicios de Outsourcing, data mining

I. INTRODUCCIÓN

EL ingeniero clínico es un ingeniero biomédico que desde su ámbito, contribuye a mejorar el cuidado del paciente garantizando un entorno seguro a los mismos [1]. Una de las funciones del ingeniero clínico es acompañar y controlar los servicios de mantenimiento que son ejecutados por las empresas externas (tercerización u “Outsourcing”), entre otros [2].

El Outsourcing se puede definir “...como una estrategia empresarial por medio de la cual una organización delega formalmente funciones misionales y no misionales a otra empresa...” [3], [4]

Para muchas instituciones de salud, contratar los servicios de mantenimiento es inevitable, pues muchas veces no poseen el recurso humano debidamente entrenado, ni los materiales para realizar estas actividades. Esto se evidencia en algunos estudios realizados sobre la contratación de los servicios de mantenimiento. Estos indican por ejemplo, que entre un 15 y un 20% del total del inventario de equipos médicos de una institución de salud es contratado a proveedores externos [5]. En términos de

volúmenes monetarios; se ha reportado que el monto de dinero destinado a pagar los servicios de los contratos de mantenimiento está en el orden del 64% del presupuesto destinado a la gestión de tecnologías. Por lo anterior dicho es que se hace necesario desarrollar un conjunto de herramientas que permitan supervisar el nivel de calidad de de los proveedores de servicios [6]. La aplicación de simples herramientas de control ha contribuido a reducir los gastos que implican los contratos de servicios de mantenimiento hasta en un 20 % [7].

El problema científico existente, es que aún no ha sido abordado con suficiente profundidad el tema de la evaluación del desempeño de los proveedores de servicios de mantenimiento. El propio Instituto para la Investigación de los Cuidados de Emergencia (por sus siglas en inglés ECRI) ha planteado que a pesar de conocerse cuáles son las variables que caracterizan a los proveedores de servicios de mantenimiento y las variables que miden su desempeño “... aún no existe una formulación universal que permita establecer la calidad del servicio de los proveedores...” [8].

Para los países en desarrollo el problema es aún mayor, pues no se posee suficiente información para poder realizar estos estudios de evaluación del desempeño. Por ejemplo, un estudio concluyó que en “... en Colombia no se han realizado profundos estudios sobre este tema, las únicas indagaciones que se han hecho se refieren en alguna medida a la importancia que esta estrategia tiene entre las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud en Colombia...” [3].

El gran aporte a hacer en este campo, es obtener un indicador que permita medir y predecir el desempeño de los proveedores de servicios de mantenimiento en función de las características de las propias instituciones. Pero para obtener un indicador, por una parte, primero hay que caracterizar el inventario de equipos bajo contrato y luego, por otra parte, caracterizar a las instituciones de servicios de mantenimiento responsables de estos equipos. Finalmente con esta información se podría medir y predecir el desempeño mediante la construcción de un indicador o predictor numérico [9].

Este trabajo intenta llenar el vacío que existe en la caracterización de las instituciones proveedoras de mantenimiento y de los equipos biomédicos bajo su cargo en instituciones de salud. Los objetivos de este trabajo son,

por un lado; brindar a la comunidad de ingenieros clínicos una metodología general que permita la caracterización de las entidades que prestan servicios de mantenimiento y el inventario de los equipos médicos a su cargo, y por el otro aplicar técnicas de conglomerados que permita agrupar a los proveedores de servicios de mantenimiento según la calidad del desempeño de las actividades que realizan.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un Hospital Universitario de III Nivel de complejidad. Este posee un total de 251 camas, de ellas 209 en hospitalización general, 11 en una única unidad de cuidado intensivo adulto y 31 camas y cunas para atención de la unidad de neonatología. El inventario total de equipos médicos es de 1050 unidades.

Primero se realizó un estudio de caracterización del inventario. El estudio se llevó a cabo por áreas pilotos y por especialidades de equipos. Se seleccionaron siete áreas pilotos estas fueron: Imágenes Diagnósticas (BB), Unidad Quirúrgica (CC), Unidad de Cuidados Intensivos (DD), Neonatos (FF), Urgencias (AA), Unidad de Cuidados Intermedios (EE), Laboratorio Inmunología (HH), Laboratorio Clínico (GG) y Microbiología (II). Los autores de este trabajo seleccionaron estas áreas debido a la complejidad técnica de los equipos biomédicos y por lo tanto por la mayor probabilidad de que el servicio de mantenimiento sea contratado con un proveedor externo. Las especialidades de equipos tenidas en cuenta fueron: Diagnóstico (A), Tratamiento (B), Monitoreo (C), Apoyo (D) y Laboratorio (E). Estas fueron seleccionadas por ser las que tiene en cuenta el ministerio de la Protección Social de la Republica de Colombia [10].

Las variables estudiadas para caracterizar el inventario en las respectivas áreas y especialidades de equipos fueron 12 en total, estas son: cantidad de equipos, razón tiempo de explotación (TE) versus vida útil (VU), valor total de inventario (Valor Inv), por ciento que representa el valor del inventario de los equipos versus el valor del inventario total analizado (% del Valor Inv Total), costo del servicio del mantenimiento externo, tercerizado o contratado (Costo Mto Externo), costo del servicio de mantenimiento propio o en casa (Costo Mto Propio Piezas y Repuestos), la razón costo de mantenimiento propio versus costo del servicio del mantenimiento externo (Costo Propio/Costo Mto Ext), costo total de mantenimiento, o sea externo más el propio, % del costo de mantenimiento en relación con el costo total (% costo total de mto) y la razón costo del servicio versus costo de adquisición (CS/CA).

Con la caracterización del inventario se pudieron detectar los proveedores de servicios de mantenimiento externos de la institución. Seguidamente se elaboró una herramienta tipo encuesta con el objetivo de caracterizar a los proveedores de servicios. Las variables recavadas por medio de la encuesta fueron 26 en total¹, estas son las siguientes: denominación y registro de la empresa, fecha de inicio del contrato, fecha de finalización del contrato,

duración del contrato (Duración en años), Número o cantidad de equipos en el contrato (NEquip), si es un contrato de garantía (Garantía), si el contrato incluye repuestos (REP), número de visitas al año estipuladas en el

contrato (NvisitasY), especialidades de los equipos por tipo (Tipoequipos), cantidad de ingenieros y técnicos que tiene la empresa (TotalRHEmpresa), cantidad de ingenieros y técnicos destinados a atender el contrato (TotalRHContrato), experiencia del recurso humano de la empresa en (años, ExpPersonalY), distancia a que se encuentra el proveedor del hospital en metros (DistPHUS), cantidad de contratos que maneja la empresa (NContratos), años experiencia de la empresa en el negocio (ExpEmp), si ofrece servicios en línea (SevL), si posee stocks de piezas de repuesto en el país (BacUp) y si entrena a usuarios y operadores (EntUsu y EntTec). Estas variables son las más típicas para realizar una caracterización adecuada de los proveedores de servicios de mantenimiento [8].

Se realizó un seguimiento de las variables tiempo de respuesta (RT²), duración real de las intervenciones de mantenimiento (DR³) de cada proveedor de servicio de mantenimiento y del servicio en casa que generaron órdenes de trabajo; así como el tiempo de cambio de estado (TAT⁴) y la disponibilidad del equipamiento con el objetivo de hacer un seguimiento de la calidad del servicio y obtener posibles niveles de agrupamiento de estas variables y las que caracterizan a las instituciones.

II. RESULTADOS

A. Caracterización de los equipos biomédicos

Se realizó la caracterización del inventario con una población de 264 equipos. Esto representó un 53.4% del total en las áreas pilotos seleccionadas. Estos 264 equipos se seleccionaron teniendo en cuenta de que estuviera el 100% de la muestra de los posibles proveedores de servicios a encuestar.

No obstante a que no se trabajó con el 100% de la muestra, este por ciento no afecta la exactitud y confiabilidad de la caracterización del inventario. Calculando el tamaño de la muestra siguiendo un método de muestreo aleatorio simple, con 7 áreas de trabajo seleccionadas, teniendo un total 494 equipos (N), y con un error estándar aceptable de 0.02 (98% intervalo de confianza) se obtiene un valor de 155 equipos de tamaño de muestra. Como se puede observar se trabajó con un valor superior. Esta fase del estudio arrojó los siguientes patrones:

1. El equipamiento puede ser catalogado de “viejo”, pues la razón TE/VU tiene un valor promedio de 0.78. Existiendo valores notablemente elevados de TE/VU tales como es el caso de Neonatos, Microbiología, y Unidad Quirúrgica con valores de, 1.01, 0.92, 1.19 respectivamente
2. El costo total del mantenimiento de los servicios contratados asciende a un valor del 97.57% unidades monetarias. En oposición al costo de

² Correctivo: Tiempo en horas que transcurre desde que se solicita el servicio hasta que se inicia

Preventivo: Tiempo en horas que transcurre desde que se emite la orden de trabajo hasta que se inicia

³ Correctivo y preventivo: Duración real frente al equipo, ya sea reparando o sustituyendo piezas en intervenciones programadas

⁴ Correctivo: Tiempo en horas que transcurre desde que se solicita el servicio hasta que se termina

Preventivo: Tiempo en horas que transcurre desde que se inicia la orden de trabajo hasta que se termina

¹ Ver Figura 4 para identificar la codificación de las variables

mantenimiento propio o en casa, que sólo representa el 2.43% del total del costo del mantenimiento.

- Las áreas de Imágenes Diagnósticas (BB), Unidad Quirúrgica (CC) y UCI (DD) consumen el 90.3% del valor total de inventario de los equipos instalados en las 7 áreas analizadas. Coincidentemente consumen el 87.72% del costo total del mantenimiento estando solo el 50% de los equipos involucrados en este costo (ver Figuras 1 y 2).
- El valor promedio de la razón CS/CA es de 8.61% anual. Se puede decir que todos los valores son elevados, muy por encima de lo encontrado en lo reportado en otros estudios [5]. Es notable destacar que existen valores notablemente elevados tales como, UCI (DD), Microbiología (II) y Laboratorio clínico; con valores de 27.80, 23.81 y 21.38% respectivamente (ver Figura 3)

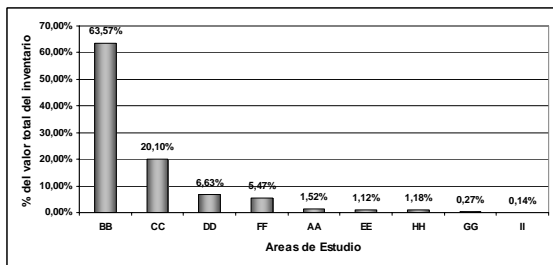


Fig. 1: Porcentaje de inversión en la compra de equipo biomédico en las áreas bajo estudio

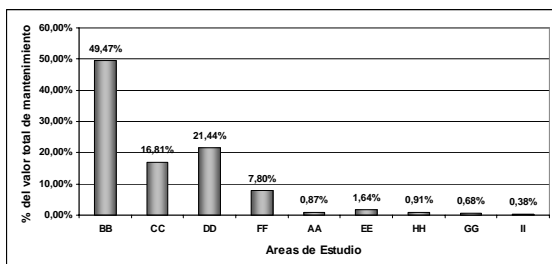


Fig. 2: Porcentaje de la inversión realizada en mantenimiento externo en las áreas bajo estudio.

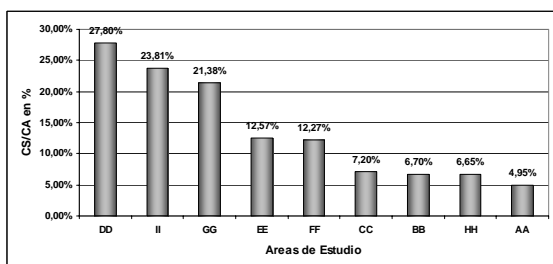


Fig. 3: Razón Costo del servicio versus Costo de adquisición en las áreas bajo estudio

B. Caracterización de los proveedores de mantenimiento

Se caracterizó el 100% de la muestra de los proveedores de mantenimiento, esto es una cantidad de 26 proveedores (codificados con las letras del alfabeto desde la A hasta la Z), incluyendo al servicio en casa como un proveedor más. Esta fase arrojó los siguientes patrones:

- En términos de volumen o cantidad de equipos contratados este representa el 46.69% de la población de equipos.

- De este 46.69% el 62.23% se encuentra en manos de un proveedor de servicios de mantenimiento.
- La duración de contrato más común es de 1 año
- Las empresas pueden ser catalogadas con experiencia dentro del gremio, siendo 25 años el valor más repetido.
- Las empresas pueden ser catalogadas de pequeñas, siendo el valor de 3 personas entre técnicos e ingenieros como total de recurso humano en las mismas.
- Las empresas se encuentran a una distancia cercana a la institución de salud, siendo el valor más común de 10 km de distancia.
- El 15.38% de las empresas no posee stock de repuestos en el país.
- El 11.5% no ofrece servicios de asistencia en línea.
- Las empresas destinan a 3 especialistas, como valor más común, entre técnicos e ingenieros para atender a los equipos bajo contrato de servicios

C. Estudio del agrupamiento de los proveedores de servicios

La Figura 4 muestra el ordenamiento de los proveedores de servicios según la variable TAT (en días). Observe como los valores de TAT que ostentan los proveedores se dividen en tres grandes grupos: Valores elevados ($TAT > 6$ días), incluso con valores no permisibles en el orden de 101 días, o sea más de tres meses (proveedor J, O, V, L, y H), Valores intermedios ($1 < TAT < 6$), o sea menores a una semana (proveedores I, B, C, G y S) y Valores bajos ($TAT < 1$), o sea menores a un día, lo cual es un valor de TAT realmente bueno (proveedores F, Y, K, M, Z, y T)

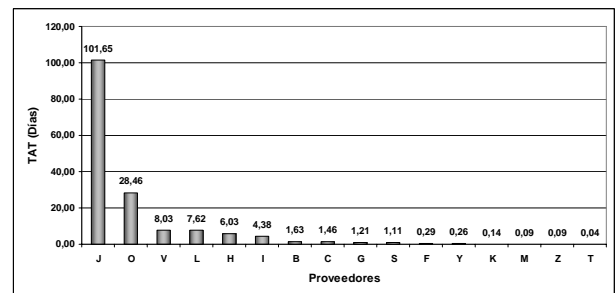


Fig. 4: Análisis de la variable TAT por proveedor de servicios

Nota 1: Los autores se reservan el derecho de guardar el anonimato de los nombres reales de los proveedores de servicios

Nota 2: Las letras del alfabeto que faltan es debido a que existen proveedores de servicios que a los que no se le han registrado los valores de TAT por no haberse reportado órdenes de trabajo durante el periodo analizado

Un análisis integral de las características de los proveedores se puede hacer realizando un estudio de agrupamiento. Este nos permite agrupar a los proveedores en conglomerados permitiendo identificar cuales son sus características fundamentales. Se obtuvieron 4 conglomerados o grupos. Pudiendo calificar a los proveedores de servicios de la siguiente manera:

Attribute	cluster#			
	0 (4)	1 (1)	2 (5)	3 (6)
Duración	1.875	1	1.8	1.0417
Equipos	5.75	8	55	26.3333
Garantía	SI	NO	SI	NO
Contrato	NO	SI	SI	SI
RFP	SI	SI	NO	NO
Asistíasy	3.5	4	2.6	4.3333
Tipoequipos	Tratamiento	Apoyo	Diagnóstico	Diagnóstico
Totalempresa	15.5	4	16.4	7.5
Totalcontrato	3	2	3.6	3.8333
Totalreducot	0.6827	0.25	2.8336	1.4378
ExpPersonal	7.5	9	11	10.1667
DistPHUS	10700	100	5234	10633.3333
Incontratos	89.3333	4	122.6	18.8333
ExpEmp	19.25	2.5	42.2	20.8333
SoFl	SI	SI	SI	SI
Facup	SI	SI	SI	NO
Repp	SI	SI	SI	SI
Enlusu	SI	NO	SI	SI
Entec	SI	NO	SI	NO
RT	69.35	0	51.696	29.7533
DR	7.0225	39	483.552	116.7183
TAT	76.37	39	191.248	140.47
Disp	0.9175	0.99	0.872	0.95

Fig. 5: Análisis Clústeres o conglomerados obtenidos

Nota 1: el algoritmo empleado para obtener los conglomerados es el SimpleKmeans implementado en la herramienta WEKA[11]

1. Grupo (1): Mejor desempeño, alta disponibilidad, menores valores de TAT, RT y DR; cuyos proveedores son (B, el 6%)
2. Grupo (0): Desempeño medio, disponibilidad media (91.75% como promedio) valores de $1 < TAT < 6$; cuyos proveedores son: (I, S, G y H, el 25%) (días)
3. Grupos (2) y (3): con bajos desempeños, por poseer valores altos de TAT y valores bajos de disponibilidad; cuyos proveedores son: (J, V, O, K, L, M, T, Z, Y, C, F, el 69%)

La herramienta informática para realizar el análisis de clustering es WEKA V 3.6, programa de fuente abierta desarrollado por el grupo de investigación de ciencias de la computación e inteligencia artificial de la Universidad de Waikato en Nueva Zelanda disponible en [11],

III. DISCUSIÓN

La disponibilidad⁵ de los equipos se estudió como una variable más de seguimiento de la calidad del servicio (variable disp en la Figura 5). Como puede verse esta variable tiene valores buenos (por encima de 90% para tres de los cuatro grupos de proveedores obtenidos). Sin embargo, este valor es debido a la cantidad de horas tan elevada que los equipos tienen que operar para cumplir su función misional dentro de los servicios de salud (alcanzando valores de 10240,05 horas para el periodo analizado). Se puede decir que los valores deficientes de TAT son “enmascarados” por lo buenos resultados de la disponibilidad.

Desafortunadamente el proveedor J es el peor proveedor de servicios, este es el servicio de mantenimiento en casa; o sea el Dpto. de Ingeniería Clínica del hospital. Las posibles razones que influyen estos resultados pueden estar asociadas al alto índice de obsolescencia de los equipos, por consiguiente el gran número de fallas y a la falta de entrenamiento y cuidado en la operación de los equipos. Nuevas estrategias deben presentarse para mejorar la calidad del servicio Estas pueden ir desde aumentar el número de especialistas y técnicos dentro del Dpto., hasta mejorar los niveles de entrenamientos a usuarios y técnicos; y aplicar adecuadas técnicas de priorización del equipamiento. Se recomienda hacer estudios posteriores de

⁵ Disponibilidad: entendida como la probabilidad de que un equipo este operativo cuando se necesita de su servicio, puede ser calculada por la razón disponibilidad = $H_{ope}/(H_{ope}-H_{nope})$

el número de fallas y la cantidad de órdenes de servicio de mantenimiento preventivo en función de la cantidad de equipos y el número de especialistas de cada proveedor de servicios, incluido el servicio en casa.

Se observa que los proveedores de servicios con peores desempeños son los que tienen más equipos bajo su cargo, son los equipos de mayor complejidad tecnológica (diagnóstico) y de forma general son los que mas distantes se encuentran del hospital.

Es recomendable continuar este trabajo aplicando una técnica predictiva para la obtención del TAT en función de las características de las empresas proveedoras de servicios de mantenimiento y las variables RT y DT.

IV. CONCLUSIONES

1. La metodología empleada permitió caracterizar al inventario de equipos médicos y a los proveedores de servicios de mantenimiento.
2. Las técnicas de conglomerados o clustering demostró se una técnica efectiva para identificar los proveedores más competitivos y los menos competitivos.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por COLCIENCIAS Convocatoria: 459/08 proyectos investigación prioritaria en salud. Al Hospital Universitario la Samaritana por su apoyo y colaboración en la realización de esta investigación

REFERENCIAS

- [1] American college of clinical Engineering (ACCE). Disponible en: <http://www.acenet.org/default.asp?page=about§ion=definition>
- [2] E. Antunez, M do Vale, P. Mordelet, y V Grabois, “Gestão da Tecnologia Biomédica. Tecnovigilância e Engenharia Clínica”, 2002.
- [3] Ministerio de la Protección Social. Modelo de Evaluación y Gestión del Equipamiento Biomedico. Disponible en: <http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/Library/documents/DocNewsNo14710DocumentNo5095.pdf>
- [4] G. Duarte, P. Sackett y S. Evans, “Migration and outsourcing”, IEEE Manufacturing Engineer, Agosto-septiembre, pp. 44-48, 2004.
- [5] Cohen T. Benchmark indicators for medical equipment repair and maintenance. Biomedical Instrumentation and Technology. 29(4). 308 -320. U.S.A. 1995.
- [6] K. Segupta, M. Zviran, “Measuring user satisfaction in an outsourcing environment”, IEEE transactions on engineering management, vol. 44, N°4 pp. 414-421, 1997
- [7] ECRI, In House servicing of X-ray and CT Equipment, Health Technology Management, Winter 1993
- [8] ECRI, Health Technology. Special report on managing service contract,. Vol 3. # 4 .Winter U.S.A 1989, Health Technology. Types of services their advantages and disadvantages. 3.(4) 39-21. Winter U.S.A. 1989.
- [9] P. Kitcher, “Benchmarking performance improvement indicators for the clinical engineering department”, *Proceeding of the IEEE32nd Annual northeast*, pp. 137-138, 2006.
- [10] INVIMA. Decreto 4725 de 2005. Por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano.
- [11] WEKA v 3.6 disponible en http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/index_downloading.html