

**APROXIMACIÓN A UN MODELO PARA ANALIZAR LA TECNOLOGÍA
DIAGNÓSTICA EN LAS DIFERENTES FASES DE SU CICLO DE VIDA
SOPORTADO EN UN SISTEMA DE GESTIÓN POR PROCESOS**

Tesis que presenta:

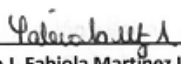
JAIR ASIR VILLANUEVA PADILLA

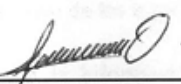
Para Obtener el Grado de:

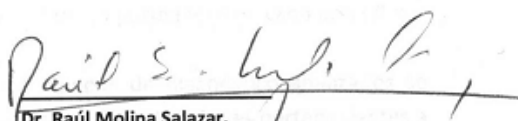
**MAESTRÍA EN CIENCIAS
(Ingeniería Biomédica)**

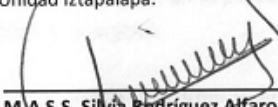
Mayo 2010

Aprobado por:


M. en I. Fabiola Martínez Licona.
Asesor - Profesor Titular
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa.


Dra. María del Rocío Ortíz.
Sinodal
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa.


Dr. Raúl Molina Salazar.
Co-Asesor – Profesor Titular
Departamento de Economía
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa.


M.A.S.S. Silvia Rodríguez Affaro.
Sinodal
Departamento de Ingeniería Biomédica
Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán
México, D.F.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD IZTAPALAPA División de Ciencias Básicas e Ingeniería

APROXIMACIÓN A UN MODELO PARA ANALIZAR LA TECNOLOGÍA DIAGNÓSTICA EN LAS DIFERENTES FASES DE SU CICLO DE VIDA SOPORTADO EN UN SISTEMA DE GESTIÓN POR PROCESOS

RESUMEN

En este proyecto, se diseña una aproximación a un modelo que permite el análisis del desempeño de la tecnología diagnóstica en cada fase de su ciclo de vida dentro una institución de salud. La caracterización de las fases del ciclo de vida y la descripción de los procesos relacionados con la gestión tecnológica, ayudaron a identificar diferentes parámetros que permitieron valorar el uso, la conservación, los recursos económicos y el impacto de la tecnología médica dentro del servicio clínico. La integración de estos parámetros en un modelo proporciona una estimación del estado actual de la tecnología, la proyección de los años de uso óptimo dentro de la institución y la información necesaria para proponer un reemplazo oportuno.

El modelo empleado corresponde a una cadena de Markov de tiempo discreto que, mediante la definición de diferentes criterios de valoración y la obtención de las correspondiente probabilidades de transición entre los estados propuestos, permite establecer el estado funcional de la tecnología y predecir los tiempos en que el equipo permanece en cada uno ellos.

La información clínica, económica y tecnológica de los equipos de diagnóstico analizados se obtuvo a partir de la aplicación de una serie de encuestas a cuatro instituciones pertenecientes a los sistemas de salud de México y Colombia. Como la primera iteración del modelo se consideraron 11 equipos de rayos X convencional y 4 equipos de tomografía computada. Los resultados obtenidos al aplicar el modelo revelan una fuerte correlación con la percepción que se tiene del uso de los equipos por parte de los distintos entes involucrados.

Dado que la información obtenida por parte del modelo queda documentada de manera organizada, se puede considerar que ésta es confiable, es decir, que no depende de un punto de vista subjetivo, y oportuna debido a que se cuenta con los elementos necesarios para contender de manera anticipada con las situaciones derivadas del uso de la tecnología. Asimismo el sistema suministra las herramientas suficientes para dar soporte a los procesos de gestión tecnológica, así como a la toma de decisiones, y la optimización de los recursos financieros y tecnológicos del hospital. Además, contribuye al desarrollo de estrategias para el reemplazo oportuno del equipamiento y esté acorde con la normatividad nacional e internacional.

APPROACH TO A MODEL FOR ANALYSIS OF DIAGNOSTIC TECHNOLOGIES IN EVERY PHASE OF THEIR LIFE CYCLE SUPPORTED ON MANAGEMENT PROCESS SYSTEM

ABSTRACT

The design of an approach to a model that aims to the performance analysis of diagnostic technologies in every phase of their life cycle inside a health institution is presented. The characterization of the life cycle phases and the description of the processes related to technology management, allowed to identify different parameters for assess the use, maintenance, financial resources and the impact of the medical technology inside the clinical service. The integration of these parameters into a model provides an estimation of the current state of the technology, the estimation of the years of optimal use within the institution and the necessary information to propose an appropriate replacement.

The model used uses a discrete-time Markov chain; by defining different endpoints and obtaining the corresponding transition probabilities between states, it establishes the functional status of the technology and a prediction of the time that the equipment remains in each period.

The Clinical, financial and technological Information of the diagnostic equipment analyzed was obtained from the application of a series of surveys to four institutions belonging to the health systems of Mexico and Colombia. As a first iteration of the model 11 conventional X-ray and 4 tomography units were considered. The results of the model show a strong correlation with the current status of the equipment installed in the radiology services surveyed.

Since the information obtained by the model is documented and organized, it can be considered reliable, in other words, it not dependent on a subjective point of view and timely because it has the elements required in advance contending with situations resulting from use of technology. Also the system provides the necessary tools to support technology management processes, as well as decisions-making-, and the optimal location of the financial resources in the hospital. In addition, it contributes to the development of strategies for the medical technology replacement process in accordance with the national and international standards.

A Dios por darme la sabiduría, el entendimiento y su amor.
A mi familia, por su apoyo incondicional, confianza y amor.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar un sincero agradecimiento a mi mentora, a la MsC. Fabiola Martínez Licon, por compartir sus conocimientos conmigo, por asesorarme en todo momento durante mis estudios en la UAM-I y por su amistad.

Igualmente, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Conacyt de México por su apoyo y los recursos proporcionados para la realización de este proyecto de investigación. A la Universidad Autónoma del Caribe en Barranquilla – Colombia por su confianza y por contribuir con mi crecimiento profesional en México, y poder seguir vinculado al Alma Mater.

A la Dra. María del Rocío Ortiz del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma Metropolitana y a la M.A.S.S Silvia Rodríguez Alfaro del Departamento de Ingeniería Biomédica del Instituto Nacional de Nutrición por la revisión de mi trabajo y sus valiosos aportes al proyecto.

Al Dr. Raúl Molina Salazar por sus asesoramientos y el apoyo en diferentes las fases del desarrollo de este proyecto.

Quiero agradecer a todos los profesores con los que tuve el gusto y placer de tomar clases a lo largo de mis estudios de maestría. Al Dr. Joaquín Azpiroz, MsC. Miguel Cadena y el Dr. Alfonso Martínez, por sus consejos y apoyo. Al igual que los compañeros que me brindaron su amistad incondicional a lo largo de estos dos años.

Finalmente y no menos importante, a mi esposa, amiga y compañera Estefany, por ser mi inspiración, mi bendición, mi gran amor y sobre todo mi alegría cada día. Así mismo, quiero dar las gracias a mis padres, Reinaldo y Yesmin, y a mi hermana Linda Pamela, porque su amor, motivación y aliento trascendió fronteras y me mantuvo fuerte en todo momento.

“Un gran viaje comienza con un primer y pequeño paso”

Jair Asir Villanueva Padilla

INDICE DE CONTENIDO

	págs.
RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE TABLAS	ix
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	10
1.1 Justificación	12
1.2 Objetivos	13
CAPÍTULO II	
ANTECEDENTES	14
2.1 Conceptos Básicos	14
2.1.1 Concepto de tecnología médica	14
2.1.2 Ciclo de vida de la tecnología médica	14
2.2 Evaluación de la tecnología médica	16
2.2.1 Evaluación de la tecnología médica a nivel mundial	17
2.2.2 Evaluación de la tecnología médica en Latinoamérica	19
2.2.3 Métodos utilizados en la evaluación de tecnología médica	21
2.4 Evaluación clínica de la tecnología médica	30
2.5 Evaluación social, ética y organizacional	30
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	33
3.1 Fase 1: Caracterización de las fases del ciclo de vida de la tecnología diagnóstica.	34
3.1.1 Definición del ciclo de vida de la tecnología	34
3.1.2 Elementos de valoración	35
3.1.3 Criterios de inclusión y exclusión de los elementos de valoración	35
3.2 Fase 2: Recolección de información	36
3.3 Fase 3: Análisis	37
3.3.1 Niveles de prioridad de los elementos de valoración	37
3.3.2 Determinación del nivel de relevancia de los factores	38
3.4 Fase 4: Diseño del modelo propuesto	38
3.4.1 Estados de la cadena de Markov	39
3.4.2 Matriz de probabilidad de transición	40
3.5 Evaluación del modelo propuesto	41
3.6 Análisis de reemplazo de la tecnología	41

CAPÍTULO IV	
RESULTADOS	43
4.1 Caracterización del ciclo de vida de la tecnología diagnóstica	43
4.1.1 Fase de Difusión.....	43
4.1.2 Fase de utilización y conservación.....	45
4.1.3 Fase de disposición final	47
4.2 Elementos de valoración	48
4.3 Nivel de prioridad de los elementos de valoración	50
4.4 Nivel de relevancia de los factores	50
4.5 Modelo de evaluación propuesto	51
4.5.1 Estados de la cadena de Markov propuestos	52
4.5.2 Matriz de probabilidad de transición propuesta	55
4.6 Evaluación del modelo propuesto	59
4.7 Análisis de reemplazo de la tecnología diagnóstica	63
CAPÍTULO V	
DISCUSIÓN	65
5.1 Limitaciones	67
5.2 Trabajos futuros	68
CAPITULO VI	
CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXO A. Ciclo de Vida de la Tecnología Médica: Una Aproximación Integral	78
ANEXO B. Encuestas para instituciones de salud: Caso de Estudio Hospital 3	82
ANEXO C. Conceptos Básicos del Proceso Jerárquico Analítico	101
ANEXO D. Cadenas de Markov de Tiempo Discreto.	104
ANEXO F. Matrices de probabilidades de transición de n pasos para diferentes periodos.	106
ANEXO E. Tendencias de las distribuciones de probabilidad de transición n-pasos para diferentes periodos	112

INDICE DE FIGURAS

	págs.
Figura 1. Fases del ciclo de vida de la tecnología médica dentro del hospital en función de la intensidad de su uso.....	15
Figura 2. Pasos para el diseño de modelado en evaluaciones económicas.....	27
Figura 3. Diseño metodológico del trabajo de investigación.....	34
Figura 4. Escala de valoración	38
Figura 5. Mapa general de procesos de la fase de difusión de la tecnología diagnóstica.	45
Figura 6. Mapa general de procesos de la fase de utilización y conservación de la tecnología diagnóstica. 46	46
Figura 7. Mapa general procesos de de la fase de disposición final de la tecnología diagnóstica.	48
Figura 8. Diagrama de transición del modelo propuesto.	54
Figura 9. Matriz de transición de probabilidades propuesta para un T= 4 meses.....	55
Figura 10. Matriz de transición de probabilidades propuesta para un T= 6 meses.....	55
Figura 11. Matriz de transición de probabilidades propuesta para un T= 12 meses.....	56
Figura 12. Matrices de probabilidades de transición de n pasos para un periodo de 4 meses.....	57
Figura 13. Probabilidades de los estados D, E y F en n transiciones para un periodo de 4 meses.	58

INDICE DE TABLAS

	págs.
Tabla 1. Agencias e institutos destinados a la evaluación de tecnología médica a nivel mundial.	18
Tabla 2. Tipos de análisis económicos	26
Tabla 3. Matriz de Inclusión y exclusión de los elementos de valoración	35
Tabla 4. Número de instituciones contactadas para la recolección de datos.	37
Tabla 5. Factores y elementos de valoración del modelo.	49
Tabla 6. Puntos claves para la caracterización de cada fase.....	49
Tabla 7. Asignación de prioridades de los elementos de valoración.	50
Tabla 8. Matriz de relevancia con relación a la fase de difusión.	51
Tabla 9. Matriz de relevancia con relación a la fase de utilización y conservación.	51
Tabla 10. Matriz de relevancia con relación a la fase de disposición final.	51
Tabla 11. Criterios para valorar el uso de la tecnología diagnóstica en el servicio radiológico.....	52
Tabla 12. Criterios para valorar los costos de la tecnología diagnóstica en el servicio radiológico.	53
Tabla 13. Criterios para valorar la conservación de la tecnología diagnóstica en el servicio radiológico.	53
Tabla 14. Criterios para valorar el impacto de la tecnología diagnóstica en el servicio radiológico.	54
Tabla 15. Casos de estudios para validar la aproximación propuesta.	61
Tabla 16. Casos de estudios analizados para evaluar la aproximación propuesta	63
Tabla 17. Atributos para el análisis de reemplazo de los equipos de diagnóstico.	64

CAPÍTULO I

Introducción

La creciente complejidad en los procedimientos clínicos y los avances tecnológicos en materia de equipamiento médico ha proporcionado nuevas opciones diagnósticas y terapéuticas que permiten mejorar la calidad de vida de la población. Sin embargo, el crecimiento tecnológico acelerado y la incorporación vertiginosa de tecnología médica en los sistemas sanitarios han conllevado a un incremento significativo en los costos para la prestación de servicios de salud. Es por ello que los tomadores de decisiones, administradores y profesionales de la salud requieren herramientas cada vez más eficientes que permitan evaluar y controlar la tecnología una vez que ésta es introducida y difundida en la institución, a fin de analizar los beneficios reales, las consecuencias, su comportamiento, los costos y el riesgo que implica su uso dentro del entorno hospitalario [1].

Diversos autores han propuesto estrategias y metodologías que permiten evaluar los aspectos clínicos, técnicos, económicos, éticos, sociales y legales relacionados con la incorporación y el uso de la tecnología médica en los sistemas de salud. La metodología comúnmente utilizada para evaluar una alternativa o procedimiento médico se resume a una revisión sistemática de la literatura, la síntesis de evidencia, el análisis de información y la diseminación de los resultados. Aunque esta metodología se encuentra bien estructurada, la evaluación tecnológica tiende a limitarse a los análisis económico y clínico, en los cuales se valora el impacto y las consecuencias clínicas, y los beneficios que pueden tener una o varias alternativas médicas sobre los pacientes y su entorno, en términos de costos, eficiencia, efectividad, riesgo y seguridad. Sin embargo, ninguno de los métodos ha propuesto una aproximación cuantitativa para valorar estos parámetros. Asimismo, existe poca evidencia reportada que permita analizar el comportamiento real de la tecnología médica dentro de una institución de salud desde una perspectiva integral que incluya diferentes aspectos clínicos, tecnológicos y económicos [2][3][4][5].

Por otra parte, el modelo de utilización de la tecnología médica en Latinoamérica se ha visto influenciado por las características de la transferencia tecnológica por parte de los países industrializados. Los métodos de evaluación de tecnologías médicas se han desarrollado para los contextos de salud de estos países, en donde la asignación de presupuestos, los recursos tecnológicos y económicos, y la capacitación del personal médico y asistencial son diferentes a los encontrados en nuestros sistemas de salud [6].

En el contexto de América Latina, el control y la evaluación de la tecnología se ha enfocado en la elaboración de regulaciones relacionadas con la seguridad técnica y prácticas de buena manufactura, los programas para la adquisición e incorporación de equipamiento y las

actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de la tecnología médica. Sin contar con que la mayoría de las decisiones con respecto a la asignación de recursos en el sector salud están influenciadas por diferentes presiones políticas, sociales y económicas, y que en muchas ocasiones éstas se realizan con ciertos prejuicios y generalizaciones [7].

Sin embargo, en la actualidad existe un interés mundial en desarrollar y homogenizar diferentes metodologías y modelos que permitan evaluar la tecnología médica en los sistemas de salud de cada país; esto puede ser justificado por las siguientes causas: el crecimiento del gasto en los sistemas de salud atribuido a la introducción y uso de tecnologías médicas, la variabilidad en la práctica clínica, la escasez de información confiable y oportuna, el aumento de las necesidades clínicas teniendo en cuenta las limitaciones presupuestarias para satisfacerlas y la incertidumbre de los impactos reales de la tecnología en los diferentes niveles de salud [8].

Generalmente, el proceso de evaluación tecnológica se ha basado en la revisión sistemática de la literatura científica; en donde los resultados obtenidos se analizan y se adaptan al contexto del país considerando las particularidades de cada sistema de salud, sus características culturales, demográficas y epidemiológicas, los problemas prioritarios de salud y los recursos disponibles; con el fin de emitir diferentes recomendaciones y conclusiones que determinan la posible contribución de la tecnología para mejorar la salud de la población [9]. Los resultados finales son tomados en cuenta en los procesos de toma de decisiones y formulación de estrategias de políticas de salud con el fin de garantizar que la introducción, adopción, difusión y utilización de la tecnología médica se realice acorde con los criterios de eficacia, seguridad y eficiencia científicamente comprobados.

Por otra parte, en las instituciones de salud, especialmente las de carácter público, la asignación de los recursos para la adquisición de equipos médicos es muy limitada. En muchos de los casos, la decisión para asignar estos recursos no se fundamentan en un análisis económico riguroso y tiende a no satisfacer la demanda tecnológica o del recurso humano que se requieren para las cumplir con las necesidades reales y prioritarias de la institución, lo cual dificulta que la prestación de los servicios de salud a la población no se realice de manera óptima. Sin contar, que no se cuenta con una estrategia ni con criterios definidos para reemplazo de los equipos médicos por parte de los decisores y administradores de la tecnología en los sistemas de salud.

Las decisiones suelen basarse en razones subjetivas, o son tomadas por intereses particulares, y no a las necesidades reales y prioritarias de la institución. Como resultado, la productividad general de un sistema puede verse afectada debido a una inoportuna asignación de presupuesto cuando se sustituyen alternativas que todavía pueden resultar viables en lugar de centrarse en los equipos que necesitan un reemplazo prioritario [10].

Todos estos factores han dado lugar a que los diferentes tomadores de decisiones y organismos regulatorios (entes gubernamentales, no gubernamentales, instituciones de salud públicas y privadas), requieran de una mayor y mejor información sobre el impacto económico, clínico y tecnológico, que permita tener un control sobre el manejo y la conservación de la tecnología

médica dentro de las instituciones de salud, para poder decidir más racionalmente y satisfacer la demanda de atención en salud de la población.

En este sentido, el propósito principal de esta investigación es el desarrollo de una aproximación a un modelo de evaluación que integre los factores clínicos, económicos y tecnológicos de los equipos de diagnóstico en las diferentes fases de su ciclo de vida para valorar su desempeño dentro de una institución de salud. La implementación de este sistema, proporcionará un panorama amplio sobre el estado operativo y funcional de la tecnología durante su estancia dentro del hospital y suministrará información confiable y oportuna que apoye los procesos relacionados con gestión tecnológica y la toma de decisiones. Además, ayudará a la optimización de los recursos financieros y tecnológicos, permitiendo la creación de estrategias para el reemplazo oportuno del equipamiento.

1.1 Justificación

En Latinoamérica existe poca evidencia reportada sobre el uso y desarrollo de evaluaciones económicas y tecnológicas que sustenten las tomas de decisiones para la adquisición, la incorporación y la utilización de la tecnología médica, así como estrategias para la asignación adecuada de los recursos financieros en los sistemas de salud que conforman la región.

Diferentes factores han limitado el uso de las evaluaciones de tecnología médica para la toma de decisiones estratégicas en el ámbito hospitalario entre los cuales cabe mencionar: la poca accesibilidad a fuentes de información confiables, la falta de criterios bien definidos para diseñar estándares o métodos que asistan en los procesos de toma de decisiones, la escasez de recursos financieros destinados para realizar este proceso y la pobre interacción entre el sector académico y el sector salud [11].

A pesar del esfuerzo de diferentes autores y organizaciones en desarrollar e implementar metodologías y guías para evaluar la tecnología médica, su control y uso dentro de las instituciones de salud se reduce a los procedimientos de registro y autorización previos a su utilización, las actividades de mantenimiento y supervisión durante su vida útil y el abastecimiento de consumibles, así como a los análisis económicos realizados para adquirir una nueva tecnología e introducirla de manera eficiente al servicio clínico, obviando otros aspectos relevantes como la capacidad productiva, la funcionalidad, la seguridad, el riesgo y el impacto clínico y social que da lugar a la utilización de la tecnología a lo largo del tiempo; estos factores permiten analizar el comportamiento real del equipamiento dentro del ámbito hospitalario [12].

Con este trabajo de investigación se han abordado dos problemas, los cuales pueden plantearse con las siguientes preguntas: ¿Se está haciendo uso óptimo del recurso tecnológico conforme a las necesidades de salud que plantea el hospital?, ¿Existe la suficiente evidencia para determinar en qué momento es conveniente planificar un reemplazo tecnológico? Con el fin de presentar una solución a estos interrogantes, se presenta el desarrollo de una aproximación a un modelo que permite analizar el desempeño de la tecnología médica a partir del análisis de los factores

clínicos, técnicos y económicos obtenidos de la caracterización de su ciclo de vida dentro de la institución.

Asimismo el estado funcional en que se encuentra la tecnología dentro del servicio clínico y el tiempo aproximado que permanece bajo ciertas condiciones de operación pueden determinarse mediante el uso de técnicas de modelado probabilístico. La información proporcionada por el modelo sirve como un elemento para el apoyo en la toma de decisión respecto a las acciones pertinentes para garantizar el correcto funcionamiento y conservación de la tecnología dentro del hospital, así como el soporte necesario para sustentar la decisión del reemplazo de la tecnología cuando ésta ya no cumple con los objetivos para lo cual fue adquirida.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es diseñar y desarrollar una aproximación a un modelo que permita valorar el desempeño de la tecnología diagnóstica, en particular los sistemas de rayos x convencional y equipos de tomografía computada, a partir del análisis de los factores clínicos, económicos y tecnológicos relacionados con su uso, conservación e impacto dentro de una institución de salud.

Con el fin de lograr el objetivo general, es necesario identificar y llevar a cabo los siguientes objetivos específicos:

- Determinar un método basado en procesos que permita establecer los elementos relevantes para valorar la tecnología diagnóstica a lo largo de su ciclo de vida dentro de una institución de salud.
- Diseñar un modelo que permita valorar el desempeño de la tecnología diagnóstica integrando los aspectos clínicos, económicos y tecnológicos relacionados con su utilización, conservación e impacto dentro de la institución de salud.
- Diseñar e implementar el sistema de evaluación de equipos de diagnóstico que soporte el modelo realizado utilizando modelos matemáticos probabilísticos y técnicas de inteligencia artificial.
- Validar y evaluar el modelo a través del sistema desarrollado, en las instituciones de salud de diferente naturaleza seleccionadas del sistema de salud de México y Colombia.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera: en el Capítulo 2 se define el concepto de la tecnología médica y se describen las fases que conforma su ciclo de vida dentro de la institución, así mismo se explican los métodos y modelos utilizados para valorar los aspectos clínicos, técnicos y económicos relacionados con el uso de la tecnología en hospital. La descripción detallada de la metodología utilizada es desarrollada en el Capítulo 3, en la cual se mencionan los pasos requeridos para alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo. En el Capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos en esta investigación. La discusión y el análisis de estos resultados, así como limitaciones y trabajos futuros que surgen a partir de este trabajo son mostrados en el Capítulo 5. Por último, las conclusiones y contribuciones son presentadas en el Capítulo 6. Adicionalmente, los anexos soportan y complementan la información presentada.

CAPÍTULO II

Antecedentes

Diferentes investigadores y organizaciones han desarrollado metodologías y modelos para evaluar la tecnología utilizada en el ámbito hospitalario. En este capítulo se define el concepto de tecnología médica y su ciclo de vida dentro de una institución de salud. De igual manera, se describen brevemente los métodos utilizados para valorar los aspectos clínicos, tecnológicos y económicos relacionados con la incorporación, utilización y conservación de la tecnología médica y el impacto de sus resultados dentro de un sistema de salud.

2.1 Conceptos Básicos

2.1.1 Concepto de tecnología médica

Se entiende por tecnología a la aplicación del conocimiento empírico y científico a una finalidad práctica. El término de “tecnología médica” está asociado a los dispositivos, equipamiento, aparatos, sistemas, programas y suministros que junto con los medicamentos y otro tipo de aditamentos hospitalarios resultan imprescindibles en el ámbito clínico para prevención, diagnóstico, monitoreo y tratamiento de enfermedades [13].

En ese mismo sentido, la Organización Mundial de la Salud (OMS) propone una definición más amplia del concepto de tecnología médica como: “cualquier instrumento, dispositivo médico, aparato, herramienta, suministro, reactivos y sistemas usados con el propósito de prevenir, diagnosticar, monitorear y tratar o aliviar una enfermedad e incluso reemplazar una función fisiológica del cuerpo humano” [14].

2.1.2 Ciclo de vida de la tecnología médica

Uno de los aspectos relacionados con el concepto de tecnología médica tiene que ver con el comportamiento de ésta a lo largo del tiempo. En la actualidad, existen diversas interpretaciones que se han adoptado en diferentes países y organizaciones sobre el concepto del ciclo de vida de la tecnología médica.

En resumen, las fases iniciales predominantes en todas las definiciones son las fases de investigación, experimentación y fabricación, y se refieren en primera instancia al desarrollo y aplicación de una idea a un problema específico para satisfacer una necesidad preexistente en el campo de la salud. En estas fases se evalúa la tecnología antes de que ésta ingrese al ámbito hospitalario; e intervienen los investigadores, desarrolladores y fabricantes a fin de garantizar la

seguridad y el desempeño óptimo de la misma. El producto final en esta primera parte es el prototipo validado, mismo que deberá ser evaluado en diversos entornos a fin de que pueda ser aceptado como posible alternativa tecnológica para atender a las necesidades de la institución de salud. Las fases restantes, en lo general, la implementación, la aceptación, la utilización y la disposición final, se desarrollan en el entorno clínico y su evaluación correspondería a su actuación dentro del hospital; esto implica que las fases anteriores fueron exitosamente aprobadas [15][16][17].

A pesar de que las definiciones propuestas han caracterizado las diferentes fases que conforman el ciclo de vida de la tecnología, su control y uso dentro del hospital siguen orientándose hacia la elaboración de programas de mantenimiento preventivo y correctivo, la dotación de consumibles y los análisis económicos realizados para adquirir una nueva tecnología e introducirla de manera eficiente en la institución, obviando otros parámetros importantes como la capacidad productiva, la funcionalidad, la seguridad, el riesgo y el impacto clínico y social que implica el uso de la tecnología a lo largo de su vida útil; estos aspectos permiten analizar su comportamiento real dentro del servicio clínico [12].

Villanueva y Martínez han propuesto un concepto de ciclo de vida enfocado en el desempeño de la tecnología una vez que ésta se introduce en el medio hospitalario a partir del análisis de los componentes tecnológicos, económicos y clínicos que tienen las diversas definiciones del ciclo de vida. La definición propuesta consta de tres fases: difusión, utilización y conservación, y disposición final [18]. La Figura 1 presenta las fases propuestas del ciclo de vida de la tecnología médica considerando su intensidad de uso dentro del hospital.

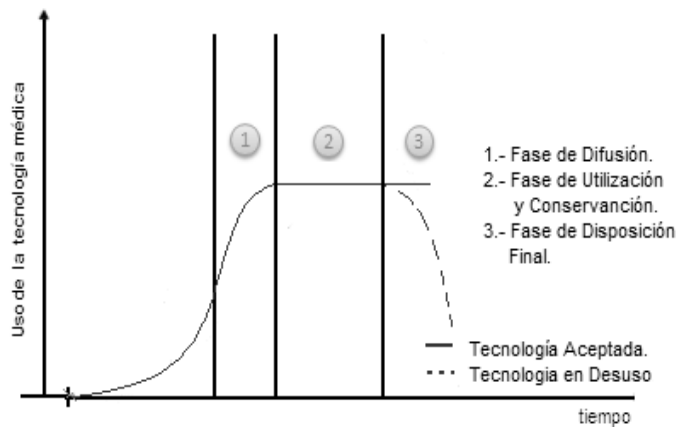


Figura 1. Fases del ciclo de vida de la tecnología médica dentro del hospital en función de la intensidad de su uso.

Para la caracterización de las fases del ciclo de vida propuesto se consideraron diferentes factores, tales como la intensidad de uso, el personal involucrado en el manejo de la tecnología, los recursos económicos invertidos, los requerimientos de mantenimiento y el impacto social de la tecnología en el servicio clínico. Estos parámetros se pueden utilizar como indicadores que permitan apreciar el desempeño de la tecnología dentro del hospital, identificar oportunamente las dificultades que se pueden presentar con respecto al uso y conservación de las tecnologías, y

proporcionar información de valor que soporte decisiones relacionadas con el cambio de tecnologías. En el anexo A se presenta un trabajo de divulgación como un resultado de esta investigación, en donde se propone la definición del ciclo de vida de la tecnología médica desde una perspectiva integral considerando la interrelación entre los diferentes factores que conformaron el análisis. Esta definición permite aproximar el comportamiento de la tecnología médica a lo largo de su estancia dentro del hospital.

2.2 Evaluación de la tecnología médica

Por su parte, la evaluación de la tecnología médica es una disciplina relativamente reciente, en la cual se “examinan las consecuencias clínicas, económicas y sociales derivadas del uso de la tecnología a corto y mediano plazo, así como los efectos directos e indirectos, deseados e indeseados”, con el fin de proporcionar elementos que orienten la toma de decisiones estratégicas relacionadas con la cobertura del aseguramiento en salud, la asignación de recursos, incluida la adquisición de equipos, a los profesionales de la salud, decisores, administradores sanitarios, entre otros, de tal manera que puedan sustentar las decisiones y políticas en salud de forma eficiente y objetiva [19].

La evaluación de la tecnología médica se realiza con el propósito de solucionar diferentes problemas que surgen en los sistemas de salud, entre los cuales se encuentran: el incesante crecimiento del gasto público en salud atribuido a la introducción y uso de la tecnología, la variabilidad en los estilos de la práctica clínica, las limitaciones presupuestarias y el desconocimiento de los impactos reales de la tecnología en niveles de salud [20].

La metodología empleada para evaluar la tecnología médica puede variar dependiendo de la situación que se quiere abordar con el análisis. El método más empleado para realizar este proceso consiste en la consolidación de la mejor evidencia científica reportada sobre la temática que se esté analizando. Para ello se precisa realizar una revisión sistemática de la información del objeto de estudio, sintetizar e interpretar los datos obtenidos y por último, dar a conocer los resultados y recomendaciones de la investigación mediante la presentación final de un reporte o informe, en donde se especifican las fuentes de información primaria y secundaria, las estrategias de búsqueda, criterios de inclusión y exclusión de los estudios, la metodología utilizada y los hallazgos o resultados encontrados en el análisis [21].

Los resultados obtenidos en este proceso abarcan aspectos relacionados con la seguridad, eficacia, efectividad clínica, análisis económicos, implicaciones éticas y sociales que pueden obtenerse de la incorporación y utilización de las tecnologías en la práctica clínica.

Estos resultados pueden dirigirse básicamente a tres niveles y a diferentes actores. En el nivel macro, son útiles en los ámbitos de regulación, financiamiento y evaluación global de sistemas y servicios, en el nivel meso afectan decisivamente los aspectos del aseguramiento, la asignación de recursos financieros y los modelos de atención en salud, y en el nivel micro son utilizados en la asignación de recursos a nivel local y regional, la selección de alternativas, la adquisición de

nueva tecnología y en la gestión tecnológica hospitalaria. Los actores principales a quienes se orientan estos resultados son las autoridades sanitarias, los gerentes y decisores, los profesionales de la salud, la industria y los pacientes y sus familias [22].

En este sentido, la tecnología médica puede ser evaluada en cualquiera de las fases de su ciclo de vida [12][23]:

- *En la fase experimental:* es la más oportuna para la evaluación de la viabilidad técnica, eficacia y seguridad de la tecnología médica. En esta fase no intervienen los organismos o agencias dedicadas a realizar los procesos de evaluación. Generalmente, corresponden a los investigadores o la industria realizar estos tipos de análisis para proporcionar los primeros datos sobre la tecnología. Sus resultados son condición necesaria para pasar a las fases posteriores.
- *En la fase de difusión:* los aspectos como la efectividad, la utilidad y las consecuencias clínicas que sobre la organización tiene la tecnología, son tomados en cuenta en esta fase para la evaluación de su aceptación en el entorno hospitalario. Por lo que se determinan las condiciones, los mecanismos y las estrategias con las cuales se difundirá la tecnología médica dentro de la institución y el seguimiento de sus efectos esperados y no esperados.
- *Fase de utilización y conservación:* se realizan estudios sobre los efectos y consecuencias clínicas de la tecnología, con el fin de medir los resultados y su impacto a mediano y largo plazo. Las evaluaciones realizadas en esta fase deberán proporcionar datos confiables y consistentes sobre los efectos reales de la utilización de la tecnología o de una intervención clínica en el entorno hospitalario. Así mismo, los análisis económicos: costo-utilidad, costo-efectividad, costo-beneficio y minimización de costos son utilizados frecuentemente en esta fase, debido a que con estos parámetros, se puede determinar si la tecnología resulta ser aun costeable en relación a los beneficios que proporciona, por lo tanto, entra directamente en el campo de acción de los organismos y grupos dedicados a la evaluación.
- *Fase de disposición final:* la tecnología médica actual o sus aplicaciones dentro de la institución ya no cumple con los objetivos y los requerimientos clínicos para lo cual fue adquirida y utilizada, por lo que se descontinúa su uso y se sustituye por una opción más adecuada. Al igual que la fase anterior priman los análisis de costos, especialmente, los análisis de costo-beneficio y costo-utilidad con el fin de determinar el reemplazo oportuno de la tecnología.

2.2.1 Evaluación de la tecnología médica a nivel mundial

Diferentes agencias y organismos a nivel mundial se han especializado en desarrollar, sintetizar y diseminar información sobre la utilidad y el impacto de los procedimientos y las alternativas utilizadas en los servicios de atención a la salud. Los objetivos de estas agencias de evaluación de tecnologías (HTA, por sus siglas en inglés), han sido principalmente los de proveer información

fidedigna sobre la efectividad, los costos, los efectos adversos y las consecuencias éticas y sociales de las tecnologías médicas a los tomadores de decisiones y entes reguladores [24].

En la actualidad existen alrededor de 200 organizaciones entre públicas, privadas, académicas y de investigación, dedicadas de modo específico a valorar y regular la introducción, difusión y uso de la evaluación de tecnologías médicas en los sistemas de salud.

Los procedimientos de evaluación y regulación varían de acuerdo a las características propias del sistema de salud. En los países que tienen un sistema de salud de financiación mayoritariamente público, como en Canadá, Suecia, Noruega, España y Reino Unido, se han creado organismos públicos adscritos a sus Parlamentos o Gobiernos dedicados a realizar esta labor; la tabla 1 muestra los principales organismos y agencias destinadas a la evaluación de tecnología médica a nivel mundial [25].

País	Organismos/Agencias (ETM)	Función
Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> National Institute for Clinical Excellence (NICE) 	Investigación y desarrollo de programas que permitan valorar la efectividad, los costos y el amplio impacto de todos los procedimientos usados para promover la salud.
Internacional	<ul style="list-style-type: none"> The "International Network of Agencies for Health Technology Assessment" (INAHTA). 	Formulación y desarrollo de proyectos para evaluar una tecnología médica de interés común en colaboración con las agencias de valoración tecnológica. Promover el intercambio de información de los reportes de evaluación y la duplicación innecesaria de esta actividad.
Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> Office of Technology Assessment (OTA) (Extinta en 1995). Food and Drug Administration (FDA) 	Evaluación de tecnología médica y el desarrollo de guías y reportes para el control de dispositivos, equipos, medicamentos y alimentos.
Canadá	<ul style="list-style-type: none"> Oficina Canadiense de Coordinación de la Evaluación de Tecnologías Sanitarias (CCOHTA). 	Elaboración de reportes y guía clínicas basadas en la evidencia reportada de la efectividad clínica, costo/efectividad y el impacto de medicamentos, tecnologías sanitarias y sistemas de salud.
España	<ul style="list-style-type: none"> Agencia de Evaluación de Tecnología Sanitarias. Instituto de Salud Carlos III. Ministerio de Sanidad (AETS). 	Identificación y evaluación de las tecnologías nuevas o establecidas que permita fundamentar técnicamente la selección, incorporación y difusión en el Sistema de Salud y la elaboración de estudios prospectivos e informes sobre el impacto médico, económico, ético y social, determinados por el uso de diferentes tecnologías de salud nuevas y emergentes.
Internacional	<ul style="list-style-type: none"> European Network for Health Technology Assessment. (EUnetHTA). 	Desarrollo y aplicación de herramientas para transferir eficientemente los resultados de las valoraciones de tecnologías médicas (ETS) utilizados en el asesoramiento y la toma de decisiones de políticas de salud en los Estados miembros y la Unión Europea.
Internacional	<ul style="list-style-type: none"> Health Technology Assessment International (HTAi). 	Apoyo y promoción del desarrollo, la difusión, la comprensión y la utilización de la evaluación de la tecnología médica alrededor del mundo, como una base científica para la toma de decisiones respecto a la introducción de innovaciones efectivas y al uso eficiente de los recursos en la atención de la salud.
Internacional	<ul style="list-style-type: none"> Organización Mundial de la Salud (WHO). 	Apoyo a los países en el establecimiento de políticas y mecanismos para impulsar la evaluación de tecnologías médicas dentro de sus sistemas de salud.

Tabla 1. Agencias e institutos destinados a la evaluación de tecnología médica a nivel mundial.

2.2.2 Evaluación de la tecnología médica en Latinoamérica

A pesar de que la mayor parte de los países de Latinoamérica están llevando a cabo reformas en sus sistemas de salud, ha habido poco interés en considerar el desarrollo y uso de evaluaciones de la tecnología médica como una herramienta que permita guiar y apoyar los procesos de toma de decisiones y asignación de recursos dentro de sus sistemas de salud.

Según un estudio realizado por NEVALAT Project (2005), en el cual se evaluaron nueve países Latinoamericanos: Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, México, Nicaragua, Perú, Uruguay y Venezuela, se concluye que los principales factores que limitan la utilización de los procesos de evaluación en los sistemas sanitarios de estos países están relacionados con la falta de criterios definidos para diseñar guías o métodos que asistan en los procesos de toma de decisiones, el acceso a fuentes de información económica, clínica, y tecnológica, la escasez de recursos financieros destinados a realizar esta labor y la escasa relación entre el sector académico y el sector salud [26].

No obstante, los ministerios de salud y organizaciones no gubernamentales han realizado diferentes esfuerzos para promover el desarrollo de guías y protocolos que permitan armonizar las metodologías empleadas para evaluar las tecnologías en salud, e interpretar y diseminar adecuadamente sus resultados. Diferentes países latinoamericanos han creado organismos oficiales suscritos a los Ministerios de Salud que se encargan de realizar e incentivar los procesos de evaluación de tecnología médica y medicamentos.

En Argentina, el Instituto de Efectividad Clínica y Sanitaria (IECS), como ente colaborador del Ministerio de Salud, se ha enfocado en el desarrollo de reportes de evaluaciones tecnológicas y económicas con el fin de estudiar el impacto y las implicaciones financieras de la adopción de las tecnologías médicas en su sistema de salud. Los documentos realizados por el IECS, se centran principalmente en informes técnicos y reportes de valoración tecnológica, que incluyen los análisis económicos y se evalúan los aspectos de efectividad, eficacia y seguridad de una tecnología médica o un procedimiento en particular. Estos reportes se basan principalmente en fuentes secundarias de información tales como los informes de valoración de otros organismos, revisiones sistemáticas y meta-análisis, guías de práctica clínica y las políticas de cobertura de otros países [27].

De la misma forma, el Ministerio de Salud de Brasil, a través de la Secretaria de Ciencia Tecnología e Insumos Estratégicos (SCTIE), crea en el año 2000 el Departamento de Ciencia y Tecnología (DECIT) como principal representante del gobierno en INATHA. El objetivo primordial de este departamento es el desarrollo de actividades que fomenten la elaboración de metodologías, guías y recomendaciones en el área de la evaluación de tecnologías para contribuir con una base científica en las decisiones de incorporación, distribución y utilización de tecnologías, bajo los criterios de seguridad, eficacia, efectividad e impacto económico y social del Sistema Único de Salud de este país. El DECIT no se considera como una agencia de HTA, sin embargo, se encarga del financiamiento de las investigaciones y revisiones sistemáticas, así como de generar lineamientos metodológicos y estándares para la HTA en este país. Dentro de

los productos que se desarrollan en el DECIT, se encuentran las revisiones sistemáticas de diferentes tecnologías diagnósticas, como los equipos de tomografía y rayos X; técnicas de acupuntura y técnicas quirúrgicas, así como los estudios de evaluaciones económicas, especialmente los análisis de costo- efectividad y costo -utilidad [28].

En Chile, el Departamento de Calidad y Seguridad del Ministerio de Salud, establece en 1997, la Unidad de Evaluación de Tecnologías Sanitarias, con el fin de desarrollar guías clínicas, informes técnicos y recomendaciones que valoren los aspectos de seguridad, efectividad y riesgos de diferentes alternativas y procedimientos clínicos basados en evidencia científica. Los reportes de valoración son elaborados mediante una revisión sistemática de la literatura científica, opiniones de expertos, especialistas y otros actores que forman parte de su red asistencial; con el fin de satisfacer las necesidades de evaluación de su sistema salud [29].

En Colombia, el organismo encargado de ejecutar las políticas formuladas por el Ministerio de la Protección Social en materia de vigilancia sanitaria y control de calidad de los dispositivos médicos, medicamentos y alimentos, es el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). Su función principal es generar los informes y reportes sobre alertas de tecno-vigilancia y fármaco-vigilancia emitidas por diferentes agencias e instituciones internacionales. Así mismo, es el ente encargado de otorgar permisos para el registro sanitario, comercialización de tecnologías médicas, fármacos y alimentos que se importan o exportan en este país. Actualmente no se tiene conocimiento de una institución pública que se encargue de realizar los procesos de evaluación de tecnología en el sistema de salud [30].

En Cuba, el Centro de Control Estatal de Servicio Médicos (CCEEM), es la entidad reguladora perteneciente al Sistema Nacional de Salud cubano, encargada de realizar los procesos de evaluación, registros, vigilancia sanitaria, tecno-vigilancia y normalización de la tecnología médica utilizada en ámbito de salud, con el fin de garantizar la calidad en la prestación de servicios de salud y de prevenir riesgos, daños y fallos en sus equipos médicos [31].

En México, el Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC), fue creado como un organismo especializado de la Secretaría de Salud, con dos propósitos fundamentales: generar información exacta, pertinente y relevante sobre tecnología médicas para mejorar la prestación de servicios de salud y el diseño e implementación de políticas de salud; y ayudar a racionalizar la adquisición, adopción, gestión y difusión de tecnologías médicas en el nivel local, regional y nacional. Además de estas funciones básicas, el CENETEC ha organizado varios foros nacionales sobre las tecnologías médicas y recientemente ha creado la Red Mexicana de Evaluación de Tecnología con los representantes de todas las principales instituciones y organismos involucrados en HTA [32].

2.2.3 Métodos utilizados en la evaluación de tecnología médica.

En la actualidad, existe una amplia gama de métodos para la evaluación de tecnologías. Los enfoques más comunes incluyen la revisión sistemática de la literatura, el meta-análisis, los juicios de expertos, la evaluación económica, los análisis de decisión, los ensayos clínicos y la modelación matemática.

Revisión sistemática

Es un tipo de estudio pormenorizado, selectivo y crítico que pretende recopilar, analizar e integrar toda la información esencial de los estudios primarios de investigación sobre un problema determinado.

La metodología para llevar a cabo una revisión sistemática parte de la formulación del problema que se quiere abordar con el estudio, estas preguntas permiten determinar la estructura que tendrá la revisión, las estrategias para la localización y la selección de los estudios o de los datos. Seguidamente, se realiza una búsqueda exhaustiva de los estudios existentes sobre el tema en diferentes fuentes de información, como bases de datos electrónicas, registros de ensayos clínicos existentes, resúmenes y memorias de congresos, tesis doctorales y contactos personales con expertos e investigadores, estudios pendientes de publicación, agencias de investigaciones e industria farmacéutica. Posteriormente, se hace la valoración crítica de los estudios identificados y se analizan los datos obtenidos, con el fin de interpretar y presentar los resultados obtenidos de la revisión. En estos se deben considerar la calidad de los estudios, la robustez de los análisis de subgrupos y de sensibilidad, y la relevancia de los mismos dentro del marco de conocimiento en que se encuadran [33].

Las revisiones sistemáticas presentan dos ventajas fundamentales. La primera, es que permiten abordar cuestiones que no se pueden analizar desde los estudios individuales, como el estado global del conocimiento científico en ese campo, descubrir errores, generar nuevas hipótesis, aumentar la precisión de la estimación de los resultados y la eficacia estadística de los estudios de investigación analizados. La segunda, este tipo de estudios resulta ser una alternativa viable en cuestión de tiempo y costos, cuando no se disponen recursos suficientes para realizar nuevos ensayos o estudios o cuando los estudios primarios publicados no han contestado definitivamente una pregunta u objetivo propios de investigación.

Sin embargo, una de las desventajas potenciales que se presenta, es la limitación de la interpretación y generalización de los resultados cuando los estudios que se incluyen en la revisión tiene un diseño estructural y metodológico deficiente, lo cual no garantiza el control de todos los posibles sesgos, por lo que la revisión sistemática producirá unos resultados combinados que no serán acordes con la realidad. Por ello es necesario evaluar la calidad metodológica de los estudios para incluir aquellos que acreditan una calidad suficiente [34].

Por otra parte, una de las fuentes de información secundaria y de recursos bibliográficos más importantes en términos de validez científica e importancia clínica es la Base de Datos de Revisiones Sistemáticas de la Biblioteca Cochrane, este recurso electrónico contiene el trabajo de

la Colaboración Cochrane, la cual es una organización internacional de investigadores que prepara, mantiene y divulga las revisiones sistemáticas de ensayos aleatorizados sobre intervenciones en asistencia sanitaria. Estas revisiones son cada vez más reconocidas como una fuente de información confiable, debido a que se fundamenta en una evidencia sólida sobre la efectividad de las intervenciones para los cuidados en salud. Los reportes y documentos presentados en esta biblioteca son de alta calidad metodológica y se encuentran sometidos a estrictos procesos editoriales que rigen su publicación [33].

Meta-análisis

Es un método cuantitativo que permite obtener un resultado global de diferentes estudios utilizando técnicas estadísticas, que posibilitan la combinación y síntesis de los datos obtenidos de los trabajos de investigación revisados, con el fin de conseguir conclusiones más confiables y precisas, que puedan ser utilizadas para la valoración de la efectividad de un tratamiento o la planificación de nuevos estudios.

La esencia de un meta-análisis es el abordaje sistemático para identificar y resumir la información crítica de diferentes estudios clínicos; su desarrollo comprende las siguientes fases: la definición de un protocolo de investigación que describa razonadamente el motivo, los objetivos y la hipótesis que se persiguen con este estudio, así como los métodos de búsqueda y los criterios de inclusión y exclusión de los estudios clínicos existentes. Seguidamente, se procede a resumir los datos de los diferentes trabajos de manera estructurada, se combinan mediante un procesamiento estadístico adecuado, y se analizan e interpretan los resultados obtenidos. Por último, se presentan las conclusiones y las recomendaciones derivadas del estudio en un reporte o informe final [35].

El meta-análisis es una técnica utilizada cuando los resultados de los estudios clínicos existentes son conflictivos o no concluyentes, incluso cuando tienen los resultados discordantes. En estos casos, este método permite comprobar la consistencia y cuantificar la incidencia de efectos indeseados de los estudios clínicos analizados.

Uno de los principales problemas metodológicos que se presentan al realizar este tipo de análisis está relacionado con la introducción de sesgos (errores sistemáticos) en los estudios incluidos. Lo anterior se debe a que, no todos los artículos son publicados por diferentes razones, especialmente aquellos que no registran diferencias significativas en los resultados obtenidos; por tanto no se reflejan fielmente la totalidad de los estudios clínicos realizados, condicionando así los resultados de la búsqueda bibliográfica y dando lugar a resultados sesgados (sesgos de publicación). Otra posibilidad de sesgo consiste en duplicar la extracción de datos por parte del investigador que va a realizar el análisis. Esto ocurre con frecuencia con los ensayos clínicos multicéntricos en los que además de sus resultados generales, cada centro participante puede publicar individualmente sus resultados de forma independiente. Por último, la variabilidad entre los diferentes estudios que se combinan puede afectar la validez de los resultados del meta-análisis, ya que las investigaciones pueden ser realizadas en distintos contextos, con

pacientes de características no necesariamente similares o incluso con resultados muy diferentes (Heterogeneidad) [36].

Las conclusiones de un meta-análisis dependerán en gran medida de la calidad de los estudios originales. Sin embargo, ésta técnica es una herramienta valiosa que potencializa los resultados de diferentes investigaciones, y en muchos casos permite utilizar de modo más eficiente la información proveniente de los estudios analizados.

A pesar que la revisión sistemática y meta-análisis son técnicas que permiten la consolidación de evidencia científica, el meta-análisis debe aplicarse únicamente cuando los trabajos incluidos en la revisión a juicio de los investigadores se pueden combinar razonablemente mediante una síntesis estadística cuantitativa de sus resultados, con el fin de obtener una estimación combinada de los efectos descritos en los estudios individuales. Mientras que, la revisión sistemática constituye un proceso de investigación más amplio, que va desde la formulación del objetivo hasta la interpretación de los resultados, incluyendo la fase de análisis estadístico cuando haya sido posible la inclusión cuantitativa de los datos.

Juicios de expertos

Las opiniones que pueden brindar profesionales expertos en un campo específico referente a un tema o problemática de salud son de gran utilidad, cuando no se encuentra la suficiente evidencia reportada sobre una temática en particular o se pretende dar respuesta a preguntas que presentan numerosos aspectos subjetivos. En estos casos, puede ser relevante complementar la síntesis de la evidencia con una valoración subjetiva y la opinión de especialistas experimentados.

Los procedimientos para llevar a cabo un juicio de expertos emplean diferentes técnicas con grados de formalización y estructuración, y métodos cualitativos de investigación y de decisión. Por lo que existen una gran variedad de aproximaciones metodológicas para la elaboración de reportes o documentos de consenso de expertos.

En general, la metodología a seguir para realizar este proceso precisa la identificación del tema o problemática que se quiere abordar, la identificación de los expertos o especialista en la temática, la determinación de los mecanismos y de la estructura del proceso para obtener la información, y por último la elaboración del reporte consensuado en el que se propone una solución o alternativa al problema planteado [9].

Los métodos comúnmente utilizados, son los modelos inspirados en el método Delphi, las técnicas de grupo nominal y el consenso de experto. Estos procedimientos suelen implicar la participación de un grupo de expertos que discuten sobre un tema específico y exponen sus diferentes puntos de vistas y opiniones que usualmente permanecen anónimas con el objetivo de anular las presiones sociales. Conociendo los comentarios de cada experto, se analizan individualmente y se hace un documento de las opiniones del grupo. Seguidamente, se discuten sobre las conclusiones obtenidas y se pueden modificar según lo requiera el caso; este proceso

continúa hasta que se llegue a un conceso final donde los actores involucrados estén de acuerdo con los resultados logrados.

Las limitaciones principales de utilizar los juicios de expertos es la incertidumbre sobre la validez y reproducibilidad de esta técnica en diferentes contextos, además los resultados y conclusiones obtenidas, tienden a ser subjetivas y en diversos casos las decisiones tomadas por los expertos pueden estar condicionadas o influenciadas por presiones políticas.

Los ensayos clínicos

El ensayo clínico es un método planificado que determina los efectos de las intervenciones clínicas o quirúrgicas y farmacológicas de nuevos productos en condiciones experimentales, es decir, se evalúa su eficacia [37].

La metodología para realizar un ensayo clínico parte de la elaboración de un protocolo donde se formulan los objetivos generales o una pregunta de evaluación, se determinan los aspectos metodológicos; como los criterios de inclusión y exclusión, el tipo de ensayo, el número de la muestra que se incluye en el ensayo, su duración y los parámetros clínicos que se van a medir. Posteriormente, se selecciona una muestra de la población de individuos que presenta cierto padecimiento en común y se asignan aleatoriamente a cada una de las modalidades de tratamiento (grupo de control y un grupo experimental), lo cual asegura que los grupos incluidos en los ensayos tengan características relevantes iguales excepto en la intervención que cada uno recibe. Una vez realizado los procedimientos de aleatorización, se aplican las intervenciones prevista a los dos grupos y se examinan cuales han sido los resultados de las intervenciones comparadas, para ello se tienen en cuenta la comparabilidad de los grupos formados por la asignación aleatoria, el análisis de los subgrupos, las diferencias estadísticamente significativa y la elección de la prueba estadística más adecuada [38].

Su principal ventaja consiste en que en teoría se pueden evitar sesgos que se producen con otras técnicas y otros tipos estudios, además, tienen un elevado nivel de comparabilidad de poblaciones y de información, por lo que sus resultados pueden ser generalizables en diferentes contextos. Sin embargo, en la práctica su diseño y desarrollo, así como algunos aspectos metodológicos son muy complejos y costosos.

Evaluación económica de la tecnología médica

La evaluación económica de la tecnología médica ha tomado mayor relevancia en la última década debido a la necesidad de relacionar los beneficios que proporcionan las intervenciones o la tecnología con el costo asociado a su utilización, en un entorno en el que los recursos disponibles no son suficientes para satisfacer todas las necesidades que en el ámbito de salud se demandan. El objetivo principal de este proceso es "identificar, medir, valorar y comparar los costos y las consecuencias de las diferentes alternativas consideradas" [39].

El análisis comparativo de los costos de una alternativa o programa de salud es común a todas las formas de evaluación económica y por ello generalmente los conceptos metodológicos están

enfocados a la aplicación de los análisis de costos y análisis de costos/resultados. La metodología a seguir para realizar una evaluación económica ha sido descrita por diferentes autores y se resume en diez etapas sucesivas [40]:

- Definición del objetivo del estudio.
- Determinación de la perspectiva del análisis.
- Determinación del horizonte temporal del análisis.
- Elección del comparador de la evaluación económica.
- Identificación, medida y valoración de los costos.
- Identificación, medida y valoración de los resultados.
- Determinación del tipo de análisis económico.
- Análisis de los resultados.
- Análisis de sensibilidad.
- Conclusiones y recomendaciones.

En términos generales, la metodología para valorar las implicaciones económicas de una tecnología médica, parte de la definición de un objetivo y una pregunta de investigación a la que trata de responder el estudio, donde se especifican las opciones comparadas, la perspectiva empleada y las características de población a la cual hace referencia; se selecciona un comparador que en la mayoría de los casos es la alternativa más utilizada en la práctica clínica; se miden los costos globales asociados con la incorporación y uso de la tecnología, y por último se contrarrestan con los beneficios que se reciben como consecuencia a lo largo de un periodo. Las fuentes de información para obtener los costos van desde literatura publicada en revistas especializadas, bases de datos institucionales e información obtenida de los servicios de salud, fabricantes o proveedores. Los beneficios pueden incluir tanto los beneficios en salud como otros beneficios y ahorros derivados y pueden expresarse en valores monetarios, unidades naturales de salud o unidades que involucren utilidad, como el caso del QALY (años de vida ganados ajustados por calidad).

Las evaluaciones económicas se puede clasificar en dos grupos: los análisis de costos y los análisis de costos/resultados. En los primeros, se analizan y miden los costos incurridos por la institución, los pacientes, los familiares y terceros, como por ejemplo: costos de adquisición, uso y conservación de los equipos, costo por unidad de servicio entregado o el costo total del número de servicios que se estima van a producirse a partir de la demanda o de la población. En el análisis de costos/resultados, una vez determinado los costos, se mide efectividad y/o utilidad de las diferentes alternativas o procedimientos que se están considerando, este resultado se relaciona con su respectivo costo, de tal manera que sea posible establecer cuánto cuesta cada unidad de medida de efectividad o de utilidad conseguida, y comparar ese valor en diferentes alternativas.

De acuerdo con Drummond [33], existen cuatro tipos de análisis de costos los cuales se valoran en términos monetarios: minimización de costos, costo-efectividad, costo-utilidad, costo-beneficios. La tabla 2 presenta las descripciones y las limitaciones de cada uno de los análisis de

costo/resultados. La diferencia entre los análisis descritos radica en la forma de medir las consecuencias entre las intervenciones evaluadas. La elección apropiada de un análisis particular depende del propósito de la evaluación y de la disponibilidad de recursos (información, datos, financieros) para llevarlo a cabo.

Los resultados obtenidos de una evaluación económica deben proveer a los tomadores de decisiones herramientas que determinen si una alternativa, procedimiento o política de salud resulta conveniente o no a la sociedad en general o a un grupo de estudio en particular, así mismo, permitan sustentar la distribución de recursos financieros en un sistema de salud de manera eficiente.

Tipos de análisis	Descripción	Limitaciones
Minimización de costos	Este método permite el análisis de costos de dos o más alternativas de intervención cuando existe evidencia que los efectos de salud y bienestar del paciente resultan ser equivalentes.	Su máxima limitación es que no permite establecer comparaciones de intervenciones de diferente naturaleza.
Costo - efectividad	Es la técnica de evaluación económica más empleada y se basa en la medición de resultado en unidades naturales como casos encontrados, vidas salvadas, años de vida ganados, etc., y la comparación del costo por unidad de resultado entre dos o más programas o intervenciones. Es útil para evaluar aquellos casos donde la efectividad de las intervenciones no es equivalente.	<ul style="list-style-type: none"> * Sólo permite la comparación entre opciones similares y que tengan efectos medidos en las mismas unidades. * Es difícil ajustar las medidas de efectividad de las distintas alternativas. * El resultado de los estudios costo-efectividad se expresa como costo incremental por unidad de efecto; de manera que se calcula el cociente costo-efectividad en base a las diferencias de costos sobre la diferencia de efectos.
Costo - utilidad	Este método permite la comparación de intervenciones o procedimientos que no son equivalentes en función de sus costos y sus resultados, considerando un mismo indicador o conjunto de indicadores sanitarios. Entre los indicadores de utilidad más utilizados tenemos los Años de Vida ajustados a la Calidad (QALY) y los Años de Vida Ajustados a la Discapacidad (AVAD).	Su principal inconveniente es la falta de una metodología bien definida para medir la utilidad derivada de una intervención; ya que la calidad de vida de un sujeto, por ser una medida subjetiva es difícil de cuantificar.
Costo- beneficio	Este método evalúa los resultados de las intervenciones en términos monetarios. El objetivo es determinar si los beneficios obtenidos de una intervención justifican sus costos. Es útil para evaluar aquellos casos donde compiten temas que no están relacionados directamente con la salud.	Su principal desventaja es la dificultad metodológica de transformar los resultados de salud en términos monetarios, y las implicaciones éticas que conllevan realizar este proceso.

Tabla 2. Tipos de análisis económicos

Modelado en las evaluaciones económicas

Aunque los análisis de costos/resultados son los más utilizados en el ámbito clínico para cuantificar los costos y las consecuencias asociadas al uso o aplicación de diferentes alternativas y procedimientos médicos, existen otras herramientas metodológicas utilizadas en la evaluación económica de la tecnología médica que sirven como instrumentos de ayuda para la toma de decisiones, cuando la información necesaria (costos, datos, efectos) para analizar las consecuencias tanto clínicas como económicas de una decisión es insuficiente, y no permite extraer conclusiones directas, o en situaciones que no resulta posible llevar a cabo ensayos clínicos. En tales casos, los modelos de análisis de decisión pueden ser utilizados para la síntesis de la mejor información disponible. En la figura 2 se muestra los pasos generales para desarrollar modelos en las evaluaciones económicas [41].

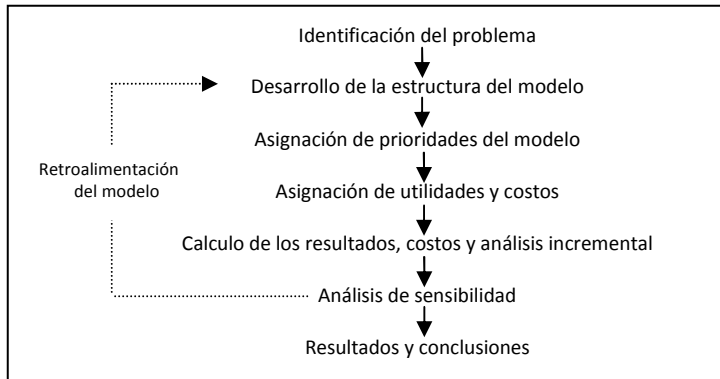


Figura 2. Pasos para el diseño de modelado en evaluaciones económicas.

Las tres técnicas de modelado para los análisis de decisión más utilizadas en el ámbito clínico son los árboles de decisión, los procesos de Markov y los métodos de simulación. En este documento se describen brevemente estas tres técnicas de modelado. Para una mayor profundización sobre los tipos modelado se recomienda los trabajos de Darbas y Chamber [42][43].

Arboles de decisiones

Un árbol de decisión es un método cuantitativo y sistemático que representa las diferentes alternativas de un problema o situación clínica, con el fin de comprender todas sus posibles decisiones y consecuencias. En ellos se establecen todas las posibles alternativas relevantes, las probabilidades de ocurrencia de los sucesos y las consecuencias de cada elección [42].

Se caracterizan gráficamente por un conjunto de ramas que representan las diferentes decisiones con su correspondiente probabilidad de ocurrencia y nodos. Estos nodos son el punto de origen de cada una de las decisiones que se establecen. El árbol tiene tres tipos de nodos: nodos de decisión, nodos probabilísticos, y nodos terminales; los primeros representan un punto de la ramificación en el árbol donde existen varias opciones para la toma de decisiones para su elección; los segundos simbolizan puntos donde se generan las diferentes consecuencias de una decisión, y los últimos representan los resultados finales de la decisión.

La estimación de las probabilidades que van a ser asignadas a cada uno de los componentes del árbol, pueden obtenerse mediante una revisión sistemática de la literatura, consulta a expertos o búsqueda de datos primarios. La probabilidad final de que ocurra un suceso definido por una rama, se obtiene multiplicando todas las probabilidades de todos los trayectos de rama necesarios para llegar a ese resultado clínico final. Estos resultados finales pueden expresarse como, años de vida, años de vida ajustados por calidad, esperanza de vida ajustada por calidad, casos de enfermedad evitados o complicaciones evitadas, o utilidades. Por último, para obtener el valor final de decidir por una elección o por otra, se suman los valores relativos de todos los nodos terminales de esas dos decisiones. Conociendo la probabilidad de que ocurra cada suceso y su utilidad, se dispone de todos los datos para interpretar los resultados y poder elegir el curso de acción más favorable [44].

Los árboles de decisiones son apropiados cuando se analizan eventos que no son recursivos y que tienen un horizonte temporal determinado. Sin embargo, cuando las situaciones clínicas que se requieren modelar reflejan la necesidad de establecer un gran número de posibles consecuencias a lo largo del tiempo puede dar lugar a árboles de decisión demasiado complejos, difíciles de programar y de representar. Este método trata de evitar los errores sistemáticos producidos al establecer juicios clínicos basados fundamentalmente en la intuición clínica o en la experiencia personal. Los análisis de decisión ofrecen un método consistente para direccionar diferentes alternativas, reducir la subjetividad y evaluar las decisiones bajo cierto grado de incertidumbre [45].

Modelos de Markov

Los modelos de Markov son técnicas que permite la representación y el análisis de procesos aleatorios en tiempo. Generalmente, son utilizados para simular la evolución de una enfermedad en un periodo de tiempo definido, y es particularmente apropiado en el estudio de enfermedades de naturaleza crónica y recursiva.

La base fundamental de este método es dividir la evolución de la enfermedad en estados discretos, de forma estocástica, sobre un cierto intervalo de tiempo definido. La duración del intervalo de tiempo es llamado ciclo de duración. Mediante un horizonte de tiempo definido, los costos y las utilidades son relacionados con cada estado discreto. En este modelo, cada condición de salud posible es determinada como un estado Markov. Los pacientes “transitan” de un estado salud a otro en períodos uniformes de tiempo (que se denominan ciclos de Markov) y con unas probabilidades de transición que dependen del estado de salud en el que se encuentre la persona en cada momento. Los estados pueden ser transitorios, a partir de los cuales el individuo siempre tiene la posibilidad de pasar a un nuevo estado; recurrentes a partir de los cuales el individuo tiene la posibilidad de permanecer en el mismo estado; y absorbente cuando no hay transición posible a otro estado. Durante este proceso se van acumulando los resultados (años de vida ganados, QALY, etc.) y los costos para cada una de las intervenciones y luego se comparan los resultados de distintas intervenciones [46].

Una de las principales limitaciones de los modelos de Markov radica en que la probabilidad de transición del modelo en un determinado estado depende únicamente del estado actual en que se encuentre el paciente, por lo que no tiene en cuenta los anteriores estados salud ni la historia clínica del paciente. Otra limitación en este tipo de técnicas, radica en que los períodos de tiempo (ciclos) son prefijados y constantes, por lo tanto los pacientes sólo pueden estar en un único estado de salud en cada ciclo del modelo y sólo es posible una única transición por ciclo [47].

En la práctica, los modelos de Markov son comúnmente utilizados para analizar la dinámica en el comportamiento de diferentes situaciones clínicas bajo condiciones de incertidumbre a través del tiempo. La aplicación de estos modelos dinámicos en el ámbito clínico, especialmente las cadenas de Markov en tiempo continuo y discreto, ha permitido predecir la evolución y el

tiempo de permanencia de los pacientes que ingresan a un servicio clínico, así mismo se han modelado sistemas de espera, control de inventarios, mantenimiento y reemplazo de equipos; sirviendo de apoyo en la toma de decisiones en diferentes campos como la administración, ingeniería y medicina.

Los pioneros de aplicar este método para predecir diferentes situaciones clínicas fueron Beck y Pauker en 1983, desde su introducción, los modelos de Markov se han aplicado con mayor frecuencia en los análisis de la decisión publicada. Aikawa et al. [48], emplean el modelo de cadenas de Markov en tiempo discreto para estudiar la evolución de los pacientes en una unidad de cuidados intensivos y predecir el tiempo de su permanencia. Los estados son definidos considerando el nivel de gravedad de un paciente al cual se le asigna un “score” teniendo en cuenta su diagnóstico, tipo de intervención quirúrgica al que ha sido sometido el paciente y las complicaciones postoperatorias reportadas en su historial clínico. Collart y Haurie [49], emplean un proceso markoviano para tomar decisiones óptimas en la admisión de pacientes en una unidad urológica. Launois et al. [50], analiza desde una perspectiva económica la conveniencia de establecer unidades específicas para pacientes con infartos cuya evolución se describe a través de una Cadena de Markov.

Métodos de simulación

Otros modelos utilizados para el análisis de decisiones en las evaluaciones económicas son los modelos de simulación de eventos discretos, los cuales son utilizados para estudiar sistemas y procesos cuyos estados varían con el tiempo de forma discreta, por lo que permiten conceptualizar la evolución de una enfermedad y su manejo en términos de los eventos que pueden suceder durante la modelización, y cuyo impacto afecta tanto a los pacientes como a otros componentes del sistema. Las probabilidades de que ocurran cada uno de los eventos se asocian con las características personales de los pacientes [41].

Los métodos de simulación son una alternativa a los modelos de Markov y son útiles cuando las evaluaciones económicas resultan ser muy complejas y la disponibilidad de recursos para llevar a cabo otros tipos de estudios son escasos. De la misma manera, esta técnica permite una interpretación de los posibles cursos de las enfermedades mucho más flexibles que la que se podría conseguir con un modelo de Markov.

En resumen, el uso de técnicas de modelización sirve como un conjunto de herramientas complementarias para el apoyo a la toma racional de decisiones en la práctica clínica y resultan imprescindibles cuando existe una ausencia de datos clínicos de resultados finales de las enfermedades estudiadas, así como la necesidad de integrar la información económica en un entorno de asistencia sanitaria con recursos limitados.

2.4 Evaluación clínica de la tecnología médica

La evaluación de los aspectos clínicos consiste básicamente en la valoración crítica y la síntesis de los estudios relacionados con los aspectos de seguridad y efectividad de una tecnología o alternativa médica, cuando estas se emplean para una o varias finalidades en el entorno hospitalario. Para obtener este tipo de información, se utilizan las diferentes técnicas y métodos que se han mencionado en este capítulo, particularmente los estudios clínicos controlados y la revisión sistemática de evidencia científica. Sin embargo, estos estudios rara vez están disponibles o no siempre son factibles de realizar; por lo que se requiere de otros tipos de análisis que proporcione la información sobre aspectos: las pruebas de seguridad, pruebas de exactitud y el impacto en la aplicación del tratamiento, son los análisis más relevantes para estimarlos.

No obstante, diferentes autores han propuesto metodologías bien definidas para estimar los diversos aspectos clínicos como la efectividad y la seguridad que conllevan el uso de la tecnología en la práctica clínica. Guyatt et al.[51], argumentan que los estándares para la valoración clínica de una tecnología diagnóstica no han sido lo suficientemente rigurosos, por lo que se ha dado una subutilización de las técnicas diagnósticas actuales. En su trabajo se describen diferentes criterios que permiten determinar si una tecnología diagnóstica está preparada para su diseminación en el ámbito clínico. Los criterios considerados fueron: la capacidad tecnológica, el rango de posibles usos, la exactitud diagnóstica, el impacto en los proveedores de salud, el impacto terapéutico y los resultados sobre el paciente.

De igual manera, estos criterios fueron identificados por Fineberg et al.[52] para valorar la eficacia clínica en los equipos de tomografía computada en particular. En su estudio se resaltó la importancia de obtener los beneficios reales que implica el uso de este tipo de tecnología a través de un estudio controlado aleatorizado, en donde se compara los resultados clínicos obtenidos en un paciente cuando se suministra un nuevo tratamiento o tecnología alterna y los resultados derivados de un estudio de tomografía, con el fin de determinar si su aplicación mejora la salud del paciente.

2.5 Evaluación social, ética y organizacional

En el campo de la evaluación de tecnología médica, el aspecto organizacional del servicio clínico en el cual se encuentra inmersa la tecnología no se hace tan explícito como la valoración del aspecto clínico y tecnológico dentro de la institución de salud. La introducción de una nueva alternativa médica produce un cambio en el flujo de trabajo y en la estructura organizacional de la institución, que puede afectar de manera directa o indirecta la productividad y la calidad del servicio de salud prestado. Los factores organizacionales que se tienen en cuenta para realizar evaluación del aspecto social están enfocados a los procesos de gestión que se realizan en la institución, el personal de trabajo, el flujo de trabajo, la interacción y comunicación, barreras potenciales y cuellos de botella, los sistemas de control y evaluación y la manera como se difunde la tecnología en el sistema de salud [53].

Es por ello que es necesario aplicar diferentes metodologías que garanticen minimizar el impacto organizacional que genera la implementación y difusión de la tecnología en la institución; y mejore las relaciones de eficiencia, efectividad, eficacia y calidad en servicio prestado. La evaluación de los aspectos sociales, éticos y organizacionales, analiza la manera como la incorporación o el uso de una alternativa puede modificar, impactar e incluso afectar tanto a la institución como a la sociedad.

Por otra parte, el análisis del aspecto social, está enfocado en el estudio de los recursos (humanos, técnicos y financieros) que han sido organizados desde el punto de vista del paciente antes, durante y después del uso de la tecnología a fin de producir los resultados clínicos esperados que conlleven a la mejorar la calidad de vida del individuo. Así mismo, se analizan las experiencias, acciones y reacciones de los pacientes con respecto a la tecnología, así como los resultados y consecuencias que esta misma puede llegar a producir dentro de un sistema de salud, a nivel local o regional [54].

En la valoración de los efectos sociales en el nivel de los servicios de salud, se tienen en cuenta factores como la equidad en el acceso a la atención, los condicionantes de la toma de decisión colectiva sobre la inclusión de prestaciones o intervenciones en salud, la asignación de valores económicos a los resultados clínicos, las necesidades expresadas o percibidas en la comunidad, disposiciones sociales conflicto con convicciones religiosas, discriminación, derechos humanos, accesibilidad y contradicción de disposiciones legales.

En la evaluación de la tecnología médica, el análisis de los aspectos éticos no cuenta con un método estructurado que permita obtener los resultados de manera tangible como cuando se evalúan los otros aspectos como el tecnológico y el económico. Sin embargo, INAHTA ha identificado y definido algunas aproximaciones metodológicas que permiten incluir el análisis ético como un elemento importante en la evaluación de la tecnología médica, entre los cuales se mencionan la casuística, los análisis de coherencia, el principialismo y el equilibrio reflexivo.

De manera general, para valorar el aspecto ético se parte de la identificación del problema ético que se quiere abordar con la evaluación, se selecciona la metodología dependiendo del tipo de situación que se desee resolver y por último, se elabora un reporte en donde se integran los resultados obtenidos en el análisis y las recomendaciones, de manera que puedan ser utilizados en un último propósito: el asistir en la toma de decisión [55].

La importancia de la ética dentro los procesos de la valoración de la tecnología médica según Saarni et al. radica en dos razones fundamentales: “la primera, la implementación de la tecnología dentro del entorno hospitalario puede tener consecuencia morales, la cual justifica la incorporación de un análisis ético en la evaluación tradicional de costos y efectividad y la segunda, la incorporación de la tecnología puede traer consigo valores que pueden cuestionar los principios morales o reglas de la sociedad que deben estar contemplados en la valoración de tecnologías médicas [56].

En ésta sección se describieron brevemente los métodos comúnmente utilizados para evaluar la tecnología médica desde los aspectos clínicos, tecnológicos y económicos; así mismo se detallaron los pasos metodológicos que se emplean para aplicarlos en los diferentes tipos de análisis, se resaltaron sus ventajas y limitantes.

Los resultados finales que se obtienen de los métodos descritos proporcionan una valiosa información principalmente para el personal médico, clínico, gestores y tomadores de decisiones, quienes son los que evalúan los riesgos potenciales y los beneficios que implica adquirir, implementar y usar una tecnología médica en un sistema de salud.

La descripción de las aproximaciones metodológicas para abarcar la valoración de los aspectos sociales, éticos y organizacionales dentro del proceso de evaluación de la tecnología médica se encuentran más allá del alcance de este documento, por lo que se recomienda para una mayor profundización consultar los trabajos de Kristensen [\[53\]](#) y Caron [\[55\]](#).

CAPÍTULO III

Metodología

En este capítulo se presenta la descripción de la estructura metodológica utilizada para desarrollar el modelo, así como los factores, parámetros, elementos de valoración y los supuestos que se tuvieron en cuenta para su implementación y evaluación. De la misma manera, en esta sección se describe una estrategia para el análisis para el reemplazo de la tecnología diagnóstica.

La metodología utilizada para cumplir con los objetivos de este proyecto de investigación, se resume en cuatro fases. En la primera fase, se parte de la caracterización de un concepto propuesto del ciclo de vida de la tecnología diagnóstica y se identificaron los diferentes procesos que se realizan en los servicios radiológicos; como los procesos de adquisición e instalación, los actividades de mantenimiento, el personal responsable del uso y conservación de la tecnología, así como los recursos económicos invertidos y el impacto interno y externo de la tecnología sobre el servicio y su entorno. Posteriormente, se definieron los criterios para incluir o excluir los elementos que se van a considerar en el análisis. Teniendo en cuenta la caracterización de las fases de ciclo de vida de la tecnología, se determinaron cuatro parámetros que permiten analizar desde una perspectiva general, el factor clínico, económico y tecnológico en torno al comportamiento de la tecnología en el servicio. Los parámetros considerados fueron: el uso, la conservación, los costos y el impacto de la tecnología. Una vez definidos estos parámetros se establecieron los elementos de valoración, los cuales fueron obtenidos a partir de la evidencia encontrada en la recolección de información, la documentación reportada en la literatura y el análisis de la definición del ciclo de vida.

En la segunda fase, se procedió a la recolección de la información referente a los parámetros mencionados en las instituciones de salud seleccionadas. Para ello se diseñaron cuatro encuestas conformadas por los elementos de valoración y se aplicaron al personal médico, técnico, administrativo y profesional de los servicios de radiología dependiendo del factor que se quiere abordar en la entrevista.

En la tercera fase, se analiza la información obtenida en las encuestas realizadas, así mismo se determina el nivel de prioridad de los elementos de valoración en relación con los parámetros planteados, y el nivel de relevancia de los factores teniendo en cuenta la fase del ciclo de vida en que se encuentra la tecnología dentro del hospital.

Por último, en la cuarta fase se diseña la aproximación al modelo de evaluación, utilizando un método probabilístico, que permite obtener una estimación del estado funcional de los sistemas de rayos X y tomografía instalados en las instituciones, así como una proyección del tiempo de uso óptimo que puede alcanzar dentro del servicio clínico. Por último se validó y evaluó el modelo desarrollado. La figura 3 presenta un panorama general de la metodología propuesta. A continuación se explican en detalle las fases utilizadas implementadas.

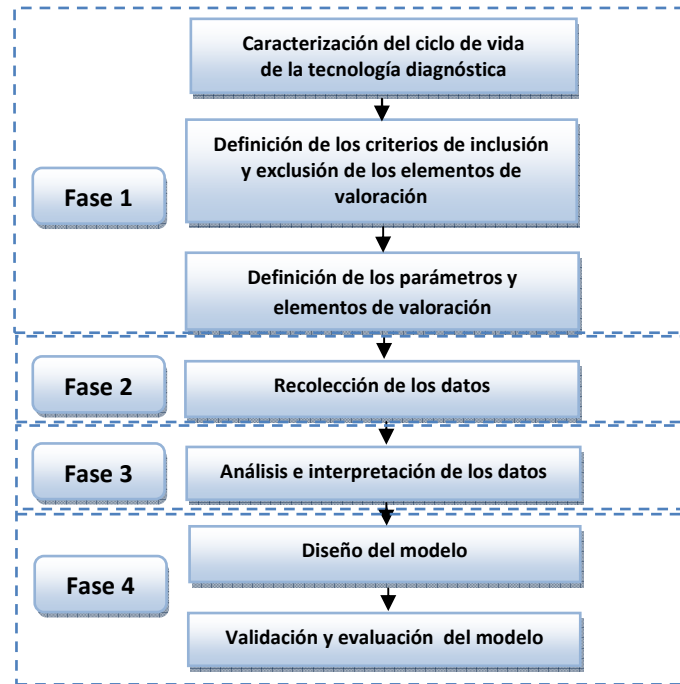


Figura 3. Diseño metodológico del trabajo de investigación.

3.1 Fase 1: Caracterización de las fases del ciclo de vida de la tecnología diagnóstica.

3.1.1 Definición del ciclo de vida de la tecnología

Se realizó un estudio retrospectivo de la definición de las fases del ciclo de vida de la tecnología médica adoptadas por diferentes organismos gubernamentales y no gubernamentales, y se analizaron los factores técnicos, económicos y clínicos que intervienen en cada fase. Una vez examinados estos factores, se definieron y se caracterizaron las fases que conforman el ciclo de vida de la tecnología desde el momento en que se incorpora al hospital hasta que se discontinúa su uso dentro del servicio clínico. Para cada una de las fases se consideró el grado de interacción de los diferentes parámetros como la intensidad de uso, los recursos económicos invertidos, los requerimientos del mantenimiento, el impacto social de la tecnología, así como el personal involucrado con el manejo de la misma. En el anexo A se describe en detalle el análisis que se realizó para definir el ciclo de vida de la tecnología.

Teniendo en cuenta la definición del ciclo de vida propuesto, la información proporcionada por las encuestas y la evidencia encontrada en los servicios de radiología de las instituciones de salud visitadas, se identificaron los procesos de la gestión realizada en torno a la tecnología diagnóstica

en el hospital. La representación de estos procesos permitió caracterizar las fases que conforman de ciclo de la tecnología dentro de una institución.

3.1.2 Elementos de valoración

De igual forma, se determinaron los elementos valoración que permiten describir el comportamiento de la tecnología diagnóstica en función de los parámetros de intensidad de uso, conservación, costos e impacto. Cabe mencionar que para cada factor se identificaron aquellos parámetros que describen de manera adecuada el comportamiento de la tecnología, así mismo se definieron los elementos que representan a estos parámetros en el análisis. Por ejemplo, en el contexto clínico, un elemento puede describir los riesgos o daños que puede producir el uso de la tecnología o el impacto que representa en la vida del paciente, mientras que en el contexto tecnológico, puede especificar la gestión del mantenimiento realizada por el servicio encargado del soporte técnico, así como en el ámbito económico puede proporcionar información sobre los costos asociados a la conservación de la tecnología en el servicio.

3.1.3 Criterios de inclusión y exclusión de los elementos de valoración

Como el número de elementos de valoración puede ser muy extenso, ésta aproximación se enfoca particularmente en que los elementos sean independientes de la naturaleza de la institución de salud, que la información que proporcionan estos elementos esté disponible en la institución o en el servicio clínico, o por lo menos pueda obtenerse por observación directa y que la información pueda ser transferible de un contexto a otro.

Por tanto, los criterios de inclusión y exclusión de los elementos de valoración utilizados para analizar el desempeño de la tecnología diagnóstica están definidos teniendo en cuenta una matriz de relación entre la transferibilidad e importancia de la información, tal como se muestra la tabla 3:

Matriz de relación		Importancia		
		Opcional	Importante	Crítico
Transferibilidad	Completa	Horizonte	Incluido	Incluido
	Parcial	No Incluido	Horizonte	Incluido
	Ninguna	No Incluido	No Incluido	Horizonte

Tabla 3. Matriz de Inclusión y exclusión de los elementos de valoración.

La “*importancia*” es considerada como aquella información que puede o no tener un grado de significancia y utilidad para el evaluador en el modelo de evaluación. Para este aspecto se tienen en cuenta tres categorías: opcional, importante y crítico y se le asignó una valoración de 1, 2 y 3 respectivamente. La “*transferibilidad*” se define como un estimado de la forma cómo los datos, información u otro tipo de conclusiones se pueden extraer de diferentes contextos (local, regional, nacional o de un sistema de salud) y transferir a una situación particular. En este

aspecto se consideraron tres categorías, completa, parcial y ninguna, las cuales tienen una valoración de 3, 2 y 1 respectivamente.

Las categorías de incluido y no incluido en esta tabla enfatizan aquellos elementos de valoración que se consideran o están excluidos del modelo. En general, la categoría horizonte se considera en este modelo para decidir los elementos de valoración que a juicio del evaluador o tomador de decisión deberían ser incluido o no en el modelo. En este caso los elementos que se encontraron en esta categoría fueron incluidos en el modelo.

Por ejemplo, si el elemento de valoración que se considera es el reporte de fallas de los equipos de rayos X, y el evaluador determina que éste es un componente relevante para analizar el desempeño de esta tecnología en el servicio clínico, por tanto podría clasificarlo en términos de importancia como “crítico”. Sin embargo, si no se cuenta con la información de este elemento y el evaluador considera que se puede transferir de otro equipo que presenta características similares dentro del servicio, se asigna dentro de la categoría “parcial”.

3.2 Fase 2: Recolección de información

Esta fase se enfoca principalmente en la recolección de información referente a los factores clínicos, económicos y tecnológicos de los sistemas de rayos X y tomografía instalados en las instituciones de salud seleccionadas. La información fue recolectada mediante una serie de entrevistas, que considerando la naturaleza de la información requerida, se aplicaban al personal técnico, profesional, asistencial o administrativo involucrado en el manejo y conservación de la tecnología diagnóstica dentro del hospital. Se utilizaron cuatro cuestionarios que contienen los diferentes elementos de valoración definidos en la fase anterior. Así mismo, se realizaron observaciones directas en los diferentes servicios radiológicos, con el fin de complementar la información obtenida de las encuestas.

La información complementaria, tales como las características técnicas de los equipos, manuales de operación y los reportes de las actividades preventivas y correctivas de los equipos fueron recolectados de los departamentos de radiología e ingeniería biomédica de estas instituciones, así como los reportes de evaluación presentados por agencias de valoración tecnología que fueron consultadas.

En el anexo B se presentan en detalle los cuestionarios utilizados para recabar la información técnica, clínica y económica de la tecnología diagnóstica en las diferentes instituciones de salud. Cabe resaltar que los elementos de valoración que son presentados en este anexo son aquellos que entraron en la categoría de incluidos.

En la tabla 4 se muestra el número de instituciones consideradas, su clasificación y el número de equipos instalados en los servicios radiológicos.

Tipo de institución		No. de instituciones (Colombia)	No. de instituciones (México)	No. de equipos de Rayos X	No. de equipos de Tomografía
Clasificación de la institución de salud	Nacional	0	2	6	2
	Privado	1	0	3	1
	Centro Radiológico	1	0	2	1
Número total de instituciones de salud encuestadas /Número total de equipos		2	2	11	4

Tabla 4. Número de instituciones consideradas para la recolección de datos.

3.3 Fase 3: Análisis

La tercera fase incluye el análisis de la información obtenida en las entrevistas realizadas a cada institución de salud.

3.3.1 Niveles de prioridad de los elementos de valoración

Una vez definidos los elementos de valoración que forman parte de ésta aproximación, éstos se clasificaron dentro de tres niveles de prioridad. El primer nivel lo conforman aquellos elementos que son indispensables para caracterizar cada una de las fases del ciclo de vida de la tecnología, el segundo y tercer nivel de prioridad lo conforman aquellos elementos que proporcionan una información significativa y adicional para el análisis.

En primera instancia, los elementos de valoración son clasificados en el primer, segundo y tercer nivel de prioridad con respecto a cada parámetro (uso, impacto, costos y conservación) que conforman el análisis. En segunda instancia, estos elementos de valoración se clasificaron en función con el grado de importancia que caracteriza cada fase de ciclo de vida de la tecnología. Por último, estas dos clasificaciones fueron contrastadas entre sí para observar aquellos elementos que tenían una incidencia común. Los elementos de valoración resultantes de esta comparación corresponden a los puntos claves que caracterizan cada fase del ciclo vida de la tecnología propuesto.

Por ejemplo, la información que puede proporcionar un elemento de valoración tal como el costo asociado a las actividades de mantenimiento o los costos de los insumos para utilizar la tecnología puede ser indispensable para el análisis, por lo que tiene un alto nivel de prioridad en relación a ese parámetro. Estos elementos pueden ser igual de indispensable para caracterizar la fase de utilización y conservación de ciclo de vida de la tecnología. Por tanto estos dos elementos tienen una incidencia en común y son incluidos en el primer nivel de prioridad del parámetro de costos en la fase de utilización y conservación del ciclo de vida del equipo analizado. En resultados se presentan la clasificación de los elementos de valoración en sus respectivos niveles de prioridad en relación con cada fase del ciclo de vida de la tecnología.

3.3.2 Determinación del nivel de relevancia de los factores

Con el fin de identificar la relevancia que tienen los diferentes factores (clínico, tecnológico y económico) en relación con cada fase de ciclo de vida de la tecnología diagnóstica, se hizo la comparación entre pares de factores determinando su grado de importancia con respecto a la fase que se está analizando. Para cuantificar el nivel de relevancia de estos factores se utilizó el método sistemático diseñado por Saaty¹. En primera instancia, se establecieron los criterios (corresponden a los factores descritos en el modelo) que se van a comparar en relación a un objetivo principal, en este caso los factores son el clínico, económico y tecnológico, y el objetivo central es el de identificar el grado de importancia de cada factor en las diferentes fases del ciclo de vida de la tecnología. Para encontrar los pesos de los factores, se compararon de dos en dos, es decir, el factor clínico-con económico, clínico – tecnológico, económico-tecnológico, etc., y se construyó una matriz de comparación por pares. Para interpretar los juicios lingüísticos y asignarle un valor a cada factor, se usó una escala de nueve puntos (1 al 9) tal como se muestra en la figura 4.

Escala Saaty	Escala Verbal	Interpretación
1	Igual de importancia de ambos elementos.	Los dos elementos contribuyen de igual forma al objetivo.
3	Moderada importancia de un elemento sobre otro.	La experiencia y el juicio favorecen levemente a un elemento sobre el otro.
5	Fuerte importancia de un elemento sobre el otro	Uno de los elementos es fuertemente favorecido.
7	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Uno de los elementos es fuertemente dominante.
9	Extrema importancia de un elemento sobre el otro.	La evidencia que favorece a uno de los elementos es del mayor orden de afirmación.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios.	Usados para juicios intermedios.

Figura 4. Escala de valoración

Para calcular los pesos relevantes para cada factor comparado en la matriz se utilizó el promedio geométrico y se verificó que los elementos que conforman esta matriz sean consistentes. El desarrollo matemático del método de análisis jerárquico analítico es descrito en el anexo C; para un mayor detalle del método se sugiere consultar Saaty [57].

3.4 Fase 4: Diseño del modelo propuesto

El comportamiento de la tecnología médica puede analizarse como una sucesión de eventos en sucesivos instantes de tiempo que abarca todo el ciclo de vida desde el momento en que es adquirida hasta que se retira de la institución. Esta secuencia de eventos tiene una cierta relación entre ellos y pueden tener una retroalimentación en un determinado momento. Predecir el estado que alcanzará la tecnología médica bajo determinadas condiciones iniciales constituye una importante fuente de información para analizar y comprender su desempeño en el hospital,

¹ Saaty, Thomas. How to make a decision: the analytic hierarchy process. University of Pittsburgh. 1994.

al igual que sirve como un elemento para la toma de decisiones en la gestión de servicios de salud.

Esta situación se puede abordar utilizando un análisis probabilístico, que permite predecir el estado en que se encontrará un proceso en el futuro a partir de la información disponible de su pasado, en lugar de hacerlo mediante estimaciones puntuales tal como se haría en un análisis determinístico. La complejidad de estas predicciones depende en gran medida del tipo de proceso; sin embargo, las características de algunos de ellos facilitan su análisis e interpretación.

De los modelos probabilísticos revisados en la literatura, el que más se adapta a este tipo de estudio son los modelos de Markov que permiten estudiar la evolución temporal de cualquier proceso cuyo estado futuro dependa solo del estado en que se encuentra en el presente, pero no de su historia pasada. Un modelo Markov es una herramienta cuantitativa dinámica que toma en consideración la probabilidad de que un proceso cambie de un estado a otro en un determinado período de tiempo, asumiendo que el proceso está siempre en uno de los estados discretos. En el anexo D se describen en detalle los conceptos teóricos y los componentes de un modelo de Markov, especialmente las cadenas de Markov en tiempo discreto.

3.4.1 Estados de la cadena de Markov

Una vez definidos los elementos que se van a valorar en cada parámetro y recolectada la información de la tecnología diagnóstica mediante la aplicación de las encuestas en las instituciones de salud, se procedió a determinar el estado funcional y la fase del ciclo de vida en que se encuentra la tecnología diagnóstica en el servicio clínico. Para esto se emplea un modelo de naturaleza probabilística conocido como cadenas de Markov en tiempo discreto, el cual proporciona las herramientas para analizar la dinámica del comportamiento de la tecnología y determinar el estado funcional en el que ésta se encuentra.

Para determinar los estados del sistema se estableció un *score* asociado a un nivel o clase, que para efectos del modelo está relacionado con el grado de cumplimiento de los objetivos del servicio de radiología. Para asignar los scores se tomaron en cuenta los cuatro parámetros descritos (conservación, impacto, costos e intensidad de uso de la tecnología diagnóstica). A cada parámetro se le asignó el score dentro de un rango. Este rango no es el mismo para cada uno de ellos, pues permite establecer diferencias relativas entre los distintos aspectos considerados. El score asignado en cada caso quedó determinado, a su vez, por diferentes criterios de valoración los cuales están descritos en los resultados.

A partir de la suma de los scores para cada factor en particular, se obtiene el score final (SF) que determina el estado funcional del equipo de acuerdo al criterio establecido como cumplimiento de los objetivos del servicio clínico.

3.4.2 Matriz de probabilidad de transición

La validez de ésta aproximación desarrollada depende del cumplimiento de las siguientes condiciones:

a) Se debe contar con la documentación básica de la tecnología en los procesos de evaluación y adquisición; estos deben haberse realizado a la entera satisfacción de la institución de salud, cumpliendo con los requerimientos determinados por las necesidades definidas inicialmente y tomando en cuenta los aspectos de servicio y financiamiento pactados.

b) Consideraciones Markoviana: 1) el sistema cuenta con un número finito de estados para describir el comportamiento dinámico de los equipos, 2) se supone conocida la distribución de probabilidades al inicio del proceso ($t=0$), 3) la transición de un estado actual a otro depende solamente del estado actual (propiedad markoviana) y 4) la probabilidad de esta transición es independiente del tiempo (propiedad estacionaria), es decir que las probabilidades de transición que conforman la matriz se supone constante en el tiempo.

A partir de la información obtenida en las entrevistas realizadas y la documentación referente a la adquisición, difusión, uso y mantenimiento de la tecnología diagnóstica, se puede describir su comportamiento desde el momento que llega al hospital hasta el instante en que se retira del servicio radiológico. La dinámica de este comportamiento se puede resumir a través de una secuencia de los eventos que ocurren en diferentes periodos de tiempo. La secuencia representa la trayectoria del estado en que se encuentra cada equipo a lo largo de su ciclo de vida en la institución en un determinado tiempo.

Por ejemplo, para un equipo de rayos X que tiene 3 años en el servicio, se puede encontrar que en los primeros 6 meses, el equipo tuvo un corto tiempo de difusión y fue ampliamente aceptado en la institución; durante los 6 meses siguientes fue utilizado eficientemente en el hospital, por lo que se alcanzaron los objetivos propuesto por el servicio en relación a la demanda de estudios y solo se realizaron las actividades de mantenimiento preventivo en ese periodo; en los 12 meses posteriores se observó que el equipo continuaba funcionando adecuadamente, pero se presentaron varias fallas, por lo que se le realizaron diferentes mantenimientos correctivos; en los 12 meses siguientes se tuvo una incidencia de fallas significativa que dan lugar a que el servicio se suspenda continuamente debido a las reparaciones que se realizan. Este comportamiento se puede resumir mediante una secuencia que representa los cambios de estado del equipo a lo largo del tiempo que éste permanece en el servicio. La trayectoria para este caso sería: amplia difusión – utilización – utilización deficiente en periodos de seis meses.

Estos cambios de estado a lo largo de un periodo de tiempo, se pueden representar en términos probabilísticos a través de las denominadas probabilidades de transición entre estados, que corresponden a la probabilidad de pasar de un estado a otro desde una etapa de tiempo t a la etapa siguiente en $t+1$.

Una vez definidas las secuencias para cada uno de los equipos que conforman el análisis en un periodo determinado, se calculan las probabilidades de transición entre estados. Según Howard [58], la probabilidad de transición p_{ij} es la probabilidad que un proceso que se encuentra en el estado inicial i ocupará el estado j en su próxima transición. La probabilidad p_{ij} debe cumplir con el siguiente requerimiento:

$$0 \leq p_{ij} \leq 1 \quad 1 \leq i, j \leq N \quad (1)$$

Donde p_{ij} , puede ser obtenida mediante el (ij) -ésimo elemento de una matriz de probabilidad P .

$$P = p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{N1} & \cdots & p_{NN} \end{bmatrix} \quad (2)$$

La probabilidad p_{ij} resulta de calcular el cociente entre la cantidad total de transiciones desde el estado i al estado j y el total de dichas transiciones que simplemente se inician en el estado i , considerando todas aquellas transiciones (en una etapa) que tengan lugar en cualquier etapa del conjunto de secuencias, es decir:

$$p_{ij} = \frac{\# \text{ Transiciones } ij}{\# \text{ Transiciones } i} \quad (3)$$

El procedimiento descrito anteriormente permite obtener los valores teóricos que conforman la matriz de probabilidad inicial ($n=0$) de la cadena de Markov. Sin embargo los valores de la matriz de probabilidad de transición que se consideraron en este modelo fueron asignados teniendo en cuenta una serie de supuestos que se presentan con mayor detalle en el capítulo de resultados.

3.5 Evaluación del modelo propuesto

Para evaluar el modelo propuesto se consideró la información recabada en cada una de las instituciones de salud visitadas y las entrevistas con el personal técnico, clínico e ingenieril encargado del uso y la conservación de la tecnología dentro del servicio radiológico. En primera instancia, se clasificó la tecnología en un estado del modelo tomando en cuenta su score final como resultado de analizar cada uno de los parámetros propuestos para tal efecto. Una vez conocido este score, se determina el estado en que se encuentra la tecnología en relación con su ciclo de vida, y es contrastado con la opinión o juicio del personal encargado del uso y conservación de la tecnología en la institución así como de su situación dentro del hospital.

3.6 Análisis de reemplazo de la tecnología

Una vez establecido los estados del modelo y calculado el score final para cada uno de los equipos de diagnósticos analizados, se determinó el estado funcional en que estos se encuentran. Algunos de estos estados pueden asociarse con situaciones de interés; en particular, la utilización deficiente y la disposición final del equipo médico pueden considerarse como estados críticos debido a que la decisión de continuar utilizándolo o no dentro del servicio podría

afectar diferentes parámetros como la productividad, la seguridad del paciente, operario y el entorno.

Para abordar este análisis se desarrolló una estrategia que priorice el reemplazo de los equipos de diagnóstico dentro de la institución. La metodología utilizó la identificación de los criterios de reemplazo; el cálculo de un número de reemplazo relativo que se determinó con base a un árbol de decisión cuya salida proveen de información al tomador de decisión para seguir utilizando el equipo, empezar el proceso de baja o darle de baja definitiva.

CAPÍTULO IV

Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la investigación considerando la metodología propuesta en la sección anterior. La descripción de las fases del ciclo de vida de tecnología diagnóstica dentro de la institución de salud, los elementos de valoración, su análisis e interpretación, el desarrollo, la implementación y la evaluación del modelo propuesto son presentados en esta sección.

4.1 Caracterización del ciclo de vida de la tecnología diagnóstica

La definición del ciclo de vida de la tecnología diagnóstica que se propone consta de tres fases: Difusión, Utilización y Conservación, y Disposición Final. A continuación se describen las características de cada una de ellas.

4.1.1 Fase de Difusión

En esta fase la tecnología diagnóstica se introduce al entorno hospitalario y comienza a ser utilizada en áreas o servicios clínicos específicos. Los operadores directos e indirectos de la tecnología, personal técnico, médico y asistencial, son los responsables de su utilización óptima dentro del servicio radiológico, por lo que deben estar familiarizados con las indicaciones, contraindicaciones y los procedimientos operativos recomendados por los fabricantes. El departamento administrativo en conjunto con el departamento de soporte técnico son los responsables de comprobar que las condiciones y el periodo de garantía sean los establecidos en el contrato, además de apoyar durante todo el proceso de adquisición, compra e instalación del equipamiento a los que requieran soporte administrativo y tecnológico.

De misma forma, el departamento de soporte técnico o ingeniería biomédica es el encargado de verificar la instalación, puesta en marcha y funcionamiento de la tecnología, al tiempo de asegurar un apropiado mantenimiento durante la fase presente y las posteriores a la difusión.

Una vez finalizado el proceso de evaluación y adquisición de la tecnología, la institución debe diseñar estrategias para instalarla de manera adecuada en el servicio radiológico con el objetivo de cumplir con los requerimientos establecidos por normatividad nacional vigente y garantizar el su correcto funcionamiento dentro del hospital; para ello, se atiende a la recomendaciones del fabricante, del proveedor y del personal idóneo que se encargará del uso y la conservación de la tecnología diagnóstica en el servicio.

Por otra parte, la verificación de las condiciones de seguridad del paciente y el entorno son aspectos de gran relevancia en esta fase. La identificación, valoración y priorización de los daños directos e indirectos que puede provocar el uso de la tecnología al paciente, operadores y visitantes, y de los factores de riesgo existentes, ayudan a planificar y ejecutar medidas eficientes de prevención y control para reducirlos de manera significativa. El desarrollo de guías clínicas y un manual de radio-protección, permite establecer normas generales y especiales de trabajo para reducir estos riesgos, así como políticas y procedimientos, y las medidas de seguridad en el área radiológica, contribuyendo al cumplimiento de la normatividad establecida con el manejo y conservación de este tipo de tecnología.

Al momento que el equipo arriba a la institución, el personal encargado de utilizar y mantener la tecnología conjuntamente con el proveedor, debe verificar las partes, los accesorios, los componentes, periféricos e insumos, así como los manuales de operación y de inspección y mantenimiento preventivo y la garantía, contemplados en el contrato de compra. Esta información debe permanecer en tres áreas claves de la institución; en el departamento administrativo, en el servicio radiológico, y en el departamento de soporte técnico. Así mismo, las características de cobertura y condiciones de garantía, y las frecuencias de mantenimiento del equipo deben ser previamente revisadas.

En relación con la intensidad del uso de la tecnología, ésta se considera baja, debido a que esta apenas comienza a incorporarse a la práctica médica general y aún no se ha convertido en un tratamiento estándar totalmente establecido en todos los servicios clínicos que la requieran.

En esta fase es importante comenzar a diseñar un programa de inspección y mantenimiento preventivo de la tecnología instalada y contar con un sistema de control de insumos y consumibles, con el fin de comenzar a documentar la información técnica, tecnológica y económica que se vaya generando en el servicio en relación con los equipos.

Por otra parte, los recursos económicos y las actividades de mantenimiento requeridas en esta fase son mínimas, ya que los costos de la tecnología, los consumibles, la instalación, los mantenimientos preventivos y correctivos son absorbidos por las consideraciones asociadas al proceso de adquisición y están incluidos dentro de la garantía del proveedor. Las condiciones y el periodo que cubre la garantía establecida deben estar acordes con los requisitos y las frecuencias de inspección y mantenimiento preventivos mínimas dadas por el fabricante y realizarse a entera satisfacción de la institución.

Una vez instalada y puesta en marcha la tecnología en el servicio clínico, el proveedor es el encargado de asegurar que el equipo médico cumpla con los requerimientos regulatorios y la normatividad exigida por la ley. De igual manera, debe contar un plan de capacitación para todo el personal que se encuentra relacionado con la tecnología dentro del servicio clínico, así como proporcionar las instrucciones para realizar las inspecciones, el mantenimiento preventivo y la calibración del equipamiento con el fin garantizar su funcionamiento continuo y seguro en la institución.

En la figura 5 se observa el diagrama de procesos que resume las actividades realizadas en la fase de difusión de la tecnología diagnóstica dentro de la institución. Donde I representa el inicio del proceso y termina con E2 que es el comienzo de la fase siguiente. En el diagrama se establece una secuencia de acciones encaminadas a determinar si el equipo ingresado está o no funcionando correctamente dentro del servicio radiológico.

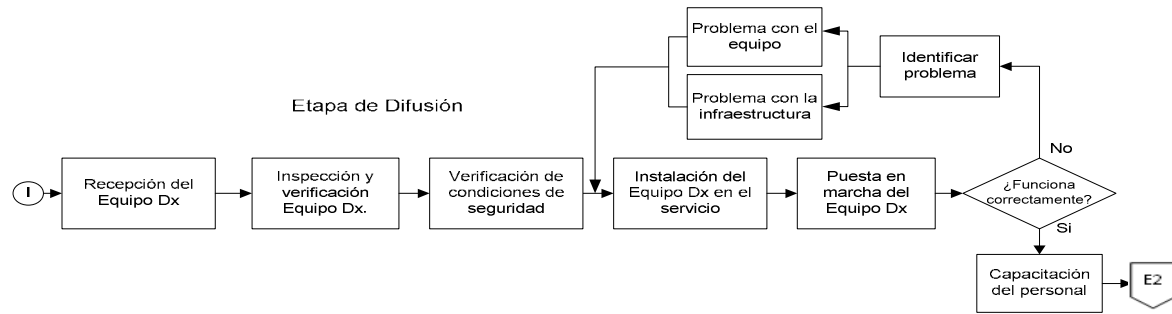


Figura 5. Mapa general de procesos de la fase de difusión de la tecnología diagnóstica.

Cabe resaltar que los mapas de procesos que se describen en documento son propuestos a partir en la caracterización del ciclo de vida de la diagnóstica que se realizó en la primera fase y no son definidos para una institución en particular. La definición de estos procesos permitió identificar de manera general aquellos puntos relevantes asociados con los parámetros y así mismo valorar los elementos que se deben considerar para definir el estado funcional de la tecnología.

4.1.2 Fase de utilización y conservación

En esta fase la tecnología diagnóstica se incorpora a la práctica clínica general, quedando ampliamente aceptada como parte de un procedimiento estándar dentro de la institución. El personal médico y técnico requerido se reduce con respecto a la primera fase, debido a que se tiene pleno conocimiento para operar la tecnología dentro de los parámetros especificados por el fabricante. El personal de ingeniería biomédica juega un papel fundamental en la conservación de la tecnología puesto que los períodos de garantía comienzan a expirar.

Las directivas de la institución definen al personal encargado para el soporte técnico de la tecnología durante su ciclo de vida, si es interno (personal técnico de la institución o departamento de ingeniería biomédica) o externo (empresas de mantenimiento, personal técnico independiente); asimismo determinan la asignación de las actividades, responsabilidades y funciones que deberán cumplir dentro del programa de inspección y mantenimiento de la institución.

Para lograr una mayor organización y sistematización de los procesos de gestión de mantenimiento de la tecnología diagnóstica es necesario implementar el programa de inspección y mantenimiento elaborado en la primera fase, donde se planifiquen y se controlen las actividades concernientes a la conservación del equipamiento, el personal a cargo, las piezas

reemplazadas, las herramientas utilizadas, el tiempo de ejecución, los costos directos e indirecto y el estado final del equipo.

De la misma manera, para garantizar el uso eficiente y continuo de la tecnología en el hospital, se debe supervisar constantemente el sistema de control de insumos y consumibles, con el objetivo de no interrumpir el funcionamiento del servicio, por no contar con un producto clave que impida llevar a cabo los estudios clínicos o no realizar un mantenimiento planificado por la falta de repuestos o herramientas.

En la figura 6 se presenta el diagrama de procesos donde se describe las actividades que se realizan en la fase de utilización y conservación. Donde E2 representa el inicio del proceso y termina con E3 que marca el comienzo de la última fase (Disposición final). Este diagrama está enfocado a describir las actividades de conservación de la tecnología diagnóstica instalada en hospital.

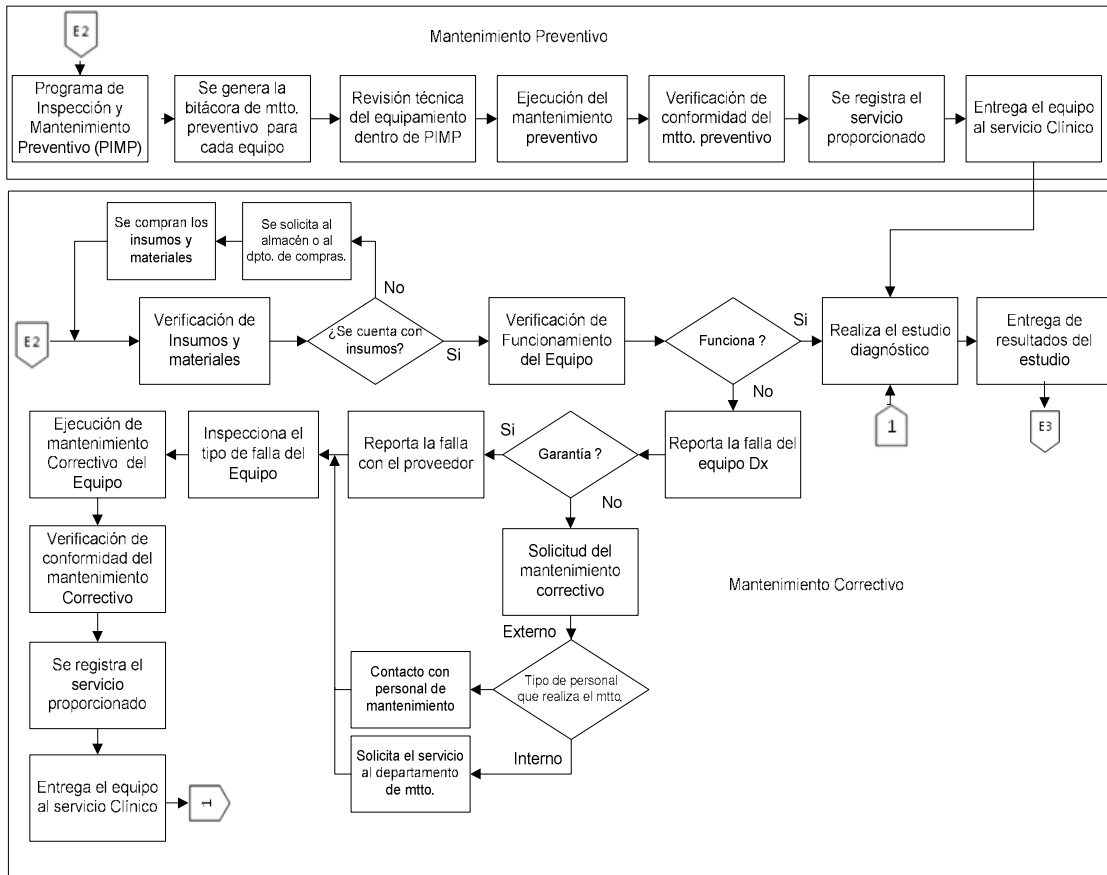


Figura 6. Mapa general de procesos de la fase de utilización y conservación de la tecnología diagnóstica.

Los gastos incurridos en esta fase comienzan a surgir como consecuencia de un aumento en las acciones preventivas y correctivas del equipamiento debido a que la garantía comienza a expirar o ya culminó. De la misma manera, se espera que en esta fase que se alcance una alta intensidad

de uso de la tecnología y que esto impacte positivamente en el servicio que presta a la población.

4.1.3 Fase de disposición final

En esta fase la tecnología diagnóstica actual ya no cumple con los objetivos y los requerimientos clínicos para lo cual fue adquirida y utilizada, o ya no resulta costeable, por lo que se discontinúa su utilización y se sustituye por una opción más adecuada. En esta fase la tecnología médica alcanza un punto de su vida útil donde la relación costo-beneficio comienza a ser negativa a causa de disminución de la fiabilidad, el aumento de tiempo de inactividad, alertas, incidentes y aspectos de seguridad, la atención de los pacientes comprometida, el aumento de los gastos de operación y mantenimiento, el cambio en la normatividad, o simplemente la obsolescencia. En ese punto, la sustitución debe ser considerada. El personal involucrado en la disposición final incluye a los operadores, la parte administrativa y la parte técnica, los cuales participan en el proceso de baja de la tecnología en desuso y la sustitución por una más actualizada.

La baja del equipo se realiza considerando la normatividad vigente sobre gestión de residuos hospitalarios. Así mismo, el departamento de ingeniería biomédica con el apoyo del departamento administrativo, debe contar con un plan de sustitución donde se establezcan procedimientos y políticas internas para determinar los mecanismos y estrategias que se llevarán a cabo una vez el equipo comience a dejar de funcionar en el servicio clínico o que falle constantemente.

Las decisiones para reemplazar la tecnología en el hospital generalmente son tomadas por gerencia y suelen ser fundamentadas bajo dos criterios, los cualitativos y cuantitativos. Los primeros están relacionados con innovación en la práctica médica, presiones comerciales o personales, y decisiones administrativas y políticas; en estos criterios no se tiene en cuenta los análisis económicos ni estudios de necesidades para la adquisición del equipo. En los criterios cuantitativos, los factores predominantes son los económicos y los tecnológicos tales como la edad de la tecnología, tipo de fallas, tiempos fuera de uso, costos asociados con el mantenimiento, recursos financieros, falta de insumos y materiales, problemas de seguridad y los riesgos asociados con el uso de la misma dentro del servicio clínico.

El responsable del servicio donde opera la tecnología conjuntamente con el departamento ingeniería biomédica realiza un informe en el cual se exponen los motivos y las razones por las cuales se da de baja el equipo. Se le comunica al personal administrativo la decisión, para que el equipo deje de ser un activo fijo de la institución y se llenan los documentos para dar la baja oficial en el servicio. Posteriormente la tecnología desechada es esterilizada, empaquetada y etiquetada para ser enviada al proveedor o el fabricante y se termine con el proceso de eliminación ya sea incinerándolo o enterrándolo de acuerdo con los requerimientos legales relacionados con el manejo de desechos hospitalarios.

En la figura 7 se observa el diagrama de procesos donde se describe las actividades y los procedimientos que se realizan en la fase de disposición final, donde E3 marca el comienzo de esta fase y E2 indica que el equipo sigue en la fase de utilización. El punto más importante del diagrama lo constituye la evaluación de todos los parámetros que determinan la viabilidad de continuar con el funcionamiento del equipo en el servicio clínico.

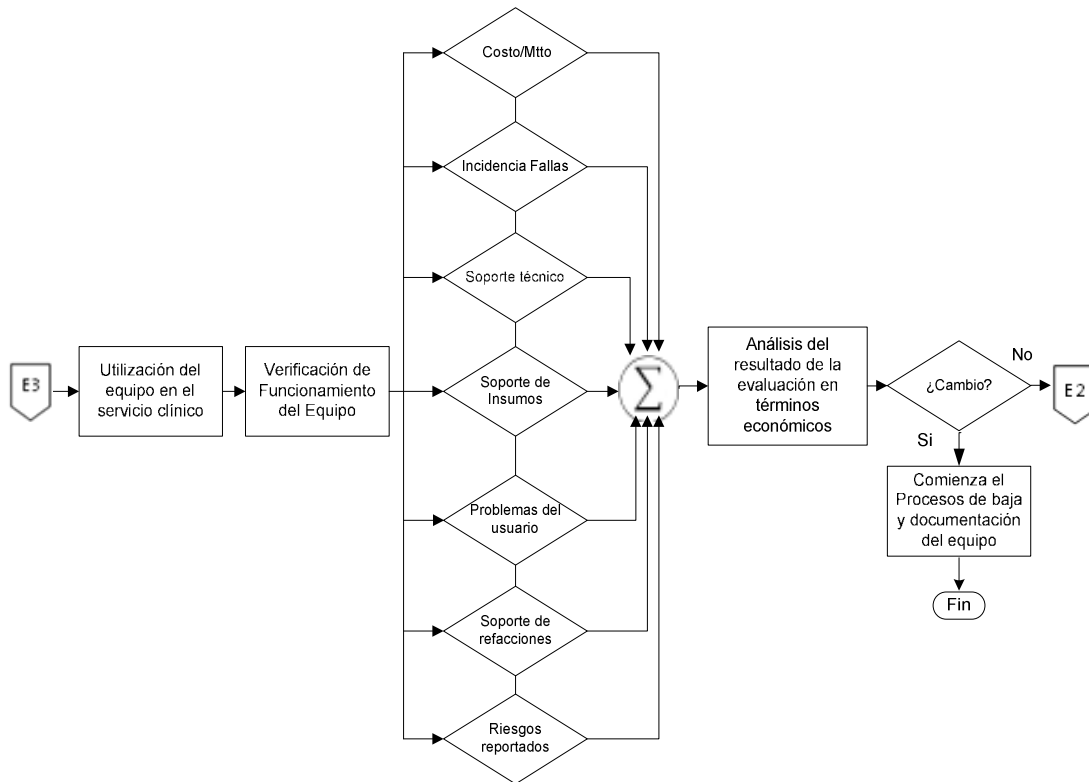


Figura 7. Mapa general de procesos de la fase de disposición final de la tecnología diagnóstica.

4.2 Elementos de valoración

Considerando los diagramas de procesos descritos anteriormente, los criterios de inclusión y exclusión, la información técnica, clínica y económica obtenida en las encuestas, la heurística del autor y colaboradores, y la evidencia reportada, se establecieron 67 elementos que permitieron valorar los factores de uso, costos, conservación e impacto de la tecnología diagnóstica dentro de la institución de salud. Estos elementos proporcionan información que permite describir las características clínicas, tecnológicas y económicas tales como: seguridad, efectividad clínica, aspectos organizacionales, éticos y sociales, costos, problemas y consecuencias o implicaciones del uso de la tecnología diagnóstica. En la tabla 5 se observa el número de elementos que se consideraron para evaluar estos factores. En el anexo B se presentan las encuestas realizadas en cada una de las instituciones de salud visitadas donde se detallan estos elementos.

Parámetros	Elementos
Intensidad de Uso	20
Impacto	21
Costos	11
Conservación	15
TOTAL	67

Tabla 5. Factores y elementos de valoración del modelo.

Así mismo, se determinaron los puntos claves para la caracterización de cada fase del ciclo de vida de la tecnología tal como se muestra en la tabla 6.

Fase de ciclo de vida	Puntos claves	Factor
Difusión	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones de la Garantía del proveedor 	Económico
	<ul style="list-style-type: none"> • Accesorios, componentes e instrumentos • Documentación del mantenimiento 	Tecnológico
	<ul style="list-style-type: none"> • Daños directos e indirectos al paciente • Riesgo clínico • Organización estructural del servicio radiológico • Personal profesional, técnico y asistencial • Riesgo asociados con la tecnología • Verificación de las condiciones de seguridad • Capacitación del personal 	Clínico
Utilización y conservación	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de insumos y materiales • Costos de conservación. 	Económico
	<ul style="list-style-type: none"> • Programa de inspección y mantenimiento de la tecnología • Requerimiento de mantenimiento • Control de reportes de mantenimiento de la tecnología • Tipo de fallas que presenta la tecnología 	Tecnológico
	<ul style="list-style-type: none"> • Grado de aceptación de la tecnología en el servicio. • Capacidad operativa (Volumen de estudios) 	Clínico
Disposición final	<ul style="list-style-type: none"> • Costos relacionados con la conservación • Costos relacionados con los insumos y materiales • Costos relacionados con el mantenimiento • Costos relacionados con los insumos y materiales • Costos relacionados con los exámenes realizados 	Económico
	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo fuera de servicio del equipo • Reportes de mantenimiento • Incidencia de fallas 	Tecnológico
	<ul style="list-style-type: none"> • Uso inadecuado del operador • Errores 	Clínico

Tabla 6. Puntos claves para la caracterización de cada fase.

4.3 Nivel de prioridad de los elementos de valoración

La tabla 7 presenta la clasificación general de los elementos de valoración en cada uno de los niveles de prioridad establecidos en relación con los parámetros de conservación, costos, impacto y uso de la tecnología diagnóstica a lo largo de su ciclo de vida en el servicio radiológico. En esta tabla, los números 1, 2, 3... representan el orden numérico de los elementos de valoración para cada parámetro definidos en las encuestas (ver anexo B).

Parámetros	Niveles de Prioridad		
	1 Nivel prioridad	2 Nivel de prioridad	3 Nivel de prioridad
Uso	9, 10,11	12,13,18,20	15
	1,2,3,5	4,13,18	7,8,15,20
	1,2,3,5,10,20	4,9,13,16	7,8,15,20
Impacto	5,6,7,12,13,16,19	2,4,16	10,11
	3,6,7,10	8	15,21
	5,7,8,10,16	9	15,21
Costos	1,4	9	7
	2,3,4	8	7
	2,3,4	5	10
Conservación	3,10,12,13,15	4,5,7	6
	10,11,12,13	1,5,7	9
	3,10,11,13,15	7	6,9

Tabla 7. Asignación de prioridades de los elementos de valoración.

Fase de difusión Fase de Utilización y conservación Fase de disposición final

4.4 Nivel de relevancia de los factores

Aplicando el método sistemático de Saaty conocido como el proceso analítico jerárquico (AHP), se determinó el nivel de relevancia de cada factor con relación a cada fase del ciclo de vida de la tecnología diagnóstica propuesta. Asimismo se comprobó que los índices que conforman la matriz fueran numéricamente consistentes y por último se calcularon los pesos respectivos para cada factor mediante el promedio geométrico (PG). Las tablas 8, 9 y 10 muestran los resultados obtenidos de estas consideraciones. En el anexo C, se presentan los conceptos teóricos y metodológicos para la aplicación del proceso analítico jerárquico en la toma de decisiones.

La información presentada en las tablas 8, 9 y 10, permite determinar la relevancia de cada factor en relación con el ciclo de vida de la tecnología diagnóstica considerando todos los elementos de valoración propuestos. Esta clasificación proporcionará las pautas necesarias para desarrollar un plan de acción con respecto a la tecnología una vez que se identifique el estado en que se encuentra dentro de su ciclo de vida.

Factores	Fase de Difusión				
	Clínicos	Tecnológico	Económico	PG	Pesos
Clínicos	1	5	9	0.75	75%
Tecnológico	1/5	1	3	0.18	18%
Económico	1/7	1/3	1	0.07	7%

Tabla 8. Matriz de relevancia en relación con la fase de difusión.

Factores	Fase de Utilización y Conservación				
	Clínicos	Tecnológico	Económico	PG	Pesos
Clínicos	1	1/3	5	0.26	26%
Tecnológico	3	1	9	0.67	67%
Económico	1/5	1/9	1	0.07	7%

Tabla 9. Matriz de relevancia en relación con la fase de utilización y conservación.

Factores	Fase de Disposición Final				
	Clínicos	Tecnológico	Económico	PG	Pesos
Clínicos	1	1/5	1/7	0.08	8%
Tecnológico	5	1	1/3	0.28	28%
Económico	7	3	1	0.64	64%

Tabla 10. Matriz de relevancia en relación con la fase de disposición final.

PG: Promedio Geométrico de la matriz normalizada.

4.5 Modelo de evaluación propuesto

Una vez analizada la información clínica, tecnológica y económica concerniente a la tecnología diagnóstica, se desarrolló e implementó el modelo de evaluación. El comportamiento de la tecnología diagnóstica se analizó considerando los estados en que se puede encontrar en diferentes periodos de tiempos a lo largo de su vida útil dentro del servicio radiológico. Para modelar esta situación se utilizaron las cadenas de Markov de tiempo discreto; este proceso estocástico permitió estudiar la dinámica del comportamiento de la tecnología y predecir de manera aproximada el estado futuro en que se encontrará teniendo en cuenta solo la información disponible de su estado actual.

4.5.1 Estados de la cadena de Markov propuestos

Los estados del sistema son definidos mediante la asignación de un score asociado a una clase, que para efectos del modelo está relacionado ya sea con el grado de cumplimiento de los objetivos planteados por el servicio de radiología o la detección oportuna de puntos de riesgo. Para ello se consideraron 23 parámetros relacionados con la conservación, impacto, costos y la intensidad de uso de la tecnología diagnóstica con sus respectivos rangos de valores, cuya sumatoria permite obtener un *score final*, que define el estado en que se encuentra a lo largo de su ciclo de vida dentro del hospital. En las tablas 11, 12, 13 y 14 se muestran los parámetros, los criterios y los rangos de valoración propuestos para factor.

Criterios	Descripción	Rangos
Productividad	<ul style="list-style-type: none"> Productividad óptima Productividad deficiente Productividad baja 	5 3 1
Obsolescencia	<ul style="list-style-type: none"> %Vida útil del equipo $\geq 125\%$ %Vida útil del equipo $\leq 100\%$ 	10 0
Condición física del equipo	<ul style="list-style-type: none"> Equipo en mal estado Estado Aceptable Estado óptimo 	15 5 0
Problemas reportados	<ul style="list-style-type: none"> Problemas asociados con equipo No Presenta ningún problema 	10 0
Regulación	<ul style="list-style-type: none"> Cambio de la regulación o normativa referente al uso clínico del equipo. 	10
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de los criterios para determinar la calidad de una imagen diagnóstica. Cumplimiento de los requisitos mínimos para la validez de la adquisición de una imagen. Cumplimiento de la normatividad nacional e internacional. ¿La institución cuenta con Programa de Mejora Continua de la Calidad? Cumplimiento de un Programa de mejora continua de la calidad en el servicio de imágenes. Cumplimiento de Indicadores de satisfacción de los clientes propuestos por el servicio. 	Si cumple= 3 No cumple= 1 No cuenta= 0 Si cumple= 3 No cumple= 1 No cuenta = 0 Nac. e Inter= 3 Nacional = 1 Si cuenta = 5 No cuenta = 0 Si cumple = 3 No cumple = 1 No tiene = 0 Si cumple = 3 No cumple= 1 No cuenta= 0

Tabla 11. Criterios para valorar el uso de la tecnología diagnóstica en el servicio radiológico.

Crterios	Descripción	Rangos
Costos acumulativos	Costo acumulativo de todas las reparaciones (C.A.R) más las pérdidas (Perd.) por no tener el equipo funcionando en el servicio es mayor al 70% del valor del nuevo equipo.	C.A.R + Perd >70% = 0 C.A.R + Perd <70% = 15
Costos de operación	Relación Costo Operación del Equipo(COE _o)/ Costo de Operación del nuevo Equipo.(COE _N)	COE _o / COE _N ≥ 1 = 0 COE _o / COE _N ≤ 1 = 15
Costos de reparaciones	Los costos de todas reparaciones (C.R) son mayores que el 50% de valor del nuevo equipo.	C.R > 50% = 0 C.R < 50% = 15

Tabla 12. Criterios para valorar los costos de la tecnología diagnóstica en el servicio radiológico.

Crterios	Descripción	Rangos
Tiempo de inactividad	<ul style="list-style-type: none"> Días de actividad perdidos por averías y fallas del equipo. 	No inactividad = 5 %DP < Xc = 3 No tiene Inf. = 1 % DP > Xc = 0
Frecuencia de incidencias de fallas	<ul style="list-style-type: none"> Índice de acciones correctivas que se realizan al equipo en un periodo de un año. 	0 - 1 acciones = 1 2 - 3 acciones = 2 4 - 5 acciones = 5 6 > acciones = 10
PIMP	<ul style="list-style-type: none"> ¿La Institución cuenta con un Programa de Inspección y Mantenimiento Preventivo de la tecnología (PIMP)? 	Cuenta = 5 En desarrollo = 3 No cuenta = 0
Cumplimiento del PIMP	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de las actividades de PIMP en la institución. 	Satisfactorio = 5 Aceptable = 3 Deficiente = 1 No cuenta = 0
Fallas	<ul style="list-style-type: none"> Fallas no resueltas 	No resueltas en 48h = 5 Fallas no resueltas = 10
Garantía	<ul style="list-style-type: none"> Garantía de la tecnología (en la adquisición) 	Si cuenta = 5 No cuenta = 0
Soporte de consumible	<ul style="list-style-type: none"> Número de años con soporte de consumibles (SC) (Posgarantía). 	SC > 1 año = 5 SC < 1 año = 3 No tiene = 0
Soporte técnico	<ul style="list-style-type: none"> Soporte técnico disponible (SP) (Posgarantía). 	Cuenta = 5 No cuenta = 0
Protección Radiológica	<ul style="list-style-type: none"> Programa de protección radiológica del paciente y el operario (Posgarantía). 	Alto = 5 Aceptable = 3 Mínimo = 1
Soporte de refacciones	<ul style="list-style-type: none"> Número de años con soporte de refacciones (SR) (Posgarantía). 	SR ≥ 1 año = 5 SR ≤ 1 año = 3 No tiene = 0

Tabla 13. Criterios para valorar la conservación de la tecnología diagnóstica en el servicio radiológico.

Xc es un valor fijo determinado por el evaluador, DP son los días perdidos debido a las fallas.

Criterios	Descripción	Rangos
Riesgo Clínico	<ul style="list-style-type: none"> • Muerte al paciente. • Daños irreversibles al paciente o al operador. • Diagnóstico erróneo o tratamiento erróneo. • Interrupción del servicio clínico. • Riesgo mínimo. • No existe riesgo. 	1 2 2 3 4 5
Organización del servicio	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento óptimo • Rendimiento mínimo • Rendimiento deficiente 	5 3 1
Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> • Satisfactorio • Suficiente • Deficiente • Nulo 	5 3 1 0
Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Aspectos de seguridad no resueltos 	10

Tabla 14. Criterios para valorar el impacto de la tecnología diagnóstica en el servicio radiológico.

Los estados propuestos en esta aproximación están ampliamente relacionados con el ciclo de vida de la tecnología y se resumen en, **A**: Ingreso al Hospital, **B**: Difusión **C**: Difusión (amplia aceptación), **D**: Utilización, **E**: Utilización Deficiente, **F**: Disposición Final, y **G**: Baja Definitiva. El rango de puntuación para el Estado A: $1 \leq score \leq 20$, Estado B: $21 \leq score \leq 37$, Estado C: $38 \leq score \leq 60$, Estado D: $61 \leq score \leq 90$, Estado E: $91 \leq score \leq 120$, Estado F: $score \geq 121$. Adicionalmente, a los estados anteriores se agrega un Estado **G**, que es un estado absorbente para indicar que el equipo sale del servicio radiológico en alguna etapa de tiempo.

Para el caso particular de este modelo, el comportamiento entre los estados A, B, C, D, E, F y G a lo largo del tiempo puede ser representado gráficamente a través de un diagrama de transiciones, donde se muestran las secuencias o trayectorias válidas que se pueden tomar entre cada estado con sus respectivas probabilidades (p_{ij}), tal como se observa en la figura 8.

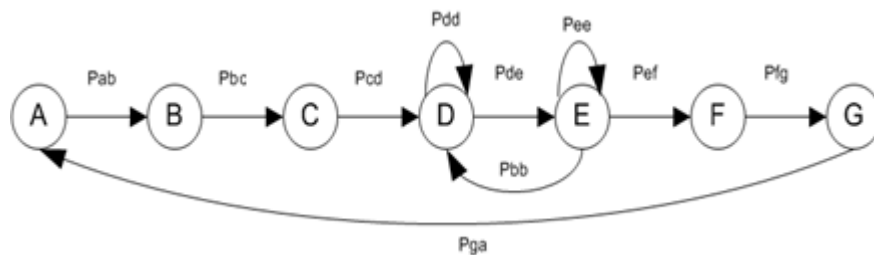


Figura 8. Diagrama de transición del modelo propuesto.

Cabe notar que la cadena de Markov propuesta tiene tres clases de estados: una clase de estados transitorios formado por los estados A, B, C, D, E, F, una clase de estados recurrentes D y E, y una clase de estado absorbente G.

4.5.2 Matriz de probabilidad de transición propuesta

De acuerdo al diagrama de transición del modelo, se propone una matriz de probabilidad de transición donde se muestran los valores de las distribuciones de probabilidades de un estado a otro, tal como se muestra en la figura 9. Dadas las trayectorias propuestas en el diagrama, a aquellas transiciones que son válidas se le asigna un valor de probabilidad determinado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: si la tecnología es nueva, si es una tecnología de reemplazo, si presenta problemas en la difusión como una baja frecuencia de utilización con respecto a la proyectada, la ocurrencia de las primeras reparaciones y la certeza absoluta de la secuencia de acciones; a aquellas transiciones que no son válidas se le asignaron un valor de cero.

Teniendo en cuenta las condiciones iniciales, los supuestos y el planteamiento del modelo descritos en la sección 3.4 de la metodología, se propusieron las matrices de probabilidad de transición para diferentes periodos de tiempo, n= 4 meses, n= 6 meses y n= 12 meses, cuyos elementos corresponden a la probabilidad de que la tecnología pase de un estado inicial a un estado final al cabo de un periodo de n meses. Los elementos de la matriz P deben satisfacer los requerimientos establecidos en la ecuación (1) de la metodología, por tanto no pueden caer fuera del rango (0, 1). En las figuras 10, 11 y 12 se presentan las matrices de probabilidades de transición inicial propuesta(n=0), para analizar la distribución de las transiciones en cada periodo de tiempo establecido.

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{A} & \text{B} & \text{C} & \text{D} & \text{E} & \text{F} & \text{G} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \text{D} \\ \text{E} \\ \text{F} \\ \text{G} \end{matrix} & \begin{vmatrix} 0.00 & 0.50 & 0.00 & 0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.20 & 0.80 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.70 & 0.30 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.20 & 0.30 & 0.50 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.90 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.10 \end{vmatrix} \end{matrix} \tag{4}$$

Figura 9. Matriz de transición de probabilidades propuesta para un T= 4 meses.

$$p = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{A} & \text{B} & \text{C} & \text{D} & \text{E} & \text{F} & \text{G} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \text{D} \\ \text{E} \\ \text{F} \\ \text{G} \end{matrix} & \begin{vmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.30 & 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.80 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.60 & 0.10 & 0.30 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.90 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.10 \end{vmatrix} \end{matrix} \tag{5}$$

Figura 10. Matriz de transición de probabilidades propuesta para un T= 6 meses.

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{A} & \text{B} & \text{C} & \text{D} & \text{E} & \text{F} & \text{G} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \text{D} \\ \text{E} \\ \text{F} \\ \text{G} \end{matrix} & \begin{vmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.30 & 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.90 & 0.10 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.60 & 0.30 & 0.10 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.90 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.10 \end{vmatrix} \end{matrix} \quad (6)$$

Figura 11. Matriz de transición de probabilidades propuesta para un T= 12 meses.

Como se mencionó anteriormente, los valores de las matrices de transición de probabilidades de las figuras 9, 10 y 11 se definieron con base en la heurística del autor y colaboradores, la información obtenida en las encuestas y las consideraciones descritas inicialmente. Para interpretar estos valores, considérese por ejemplo el caso particular de la matriz de transición de la figura 9; se tiene que la probabilidad de que una tecnología de diagnóstico que ingrese al hospital y comience a ser utilizada paulatinamente en el servicio radiológico en un periodo de 4 meses es del 50% ($P_{AB} = 0.5$), teniendo en cuenta la caracterización de las fases del ciclo de vida de la tecnología realizada previamente, de igual forma, existe un 50% de probabilidad ($P_{AD} = 0.5$) de que esa misma tecnología pase del estado de ingreso al hospital al estado de utilización en el mismo periodo de tiempo, es decir que sea ampliamente aceptada y utilizada dentro del servicio clínico.

De mismo modo, si se considera que el equipo se encuentra recientemente instalado (difusión temprana) en el hospital, de acuerdo con el modelo, existe el 20 % de probabilidad ($P_{BB} = 0.2$) que se mantenga en ese mismo estado en el periodo de 4 meses; mientras que hay un 80 % de que pase al estado de amplia difusión ($P_{BC} = 0.2$) en el mismo lapso de tiempo. Ahora, si el modelo determina que la tecnología analizada cae en el estado de utilización deficiente, existe un 30% de probabilidad de que continúe en ese estado ($P_{EE} = 0.3$), un 20% de que pase al estado anterior (utilización) ($P_{ED} = 0.2$), mientras que habrá un 50% de probabilidad ($P_{ED} = 0.5$) de que la tecnología pase al estado de disposición final. Para el estado final de la cadena (baja del equipo), se le asignó una probabilidad mínima del 10% para mantenerse en ese mismo estado y 90% de probabilidad de que una vez que el equipo salga del servicio, se iniciará un nuevo proceso de evaluación y adquisición de diferentes alternativas para reemplazarlo. Este mismo análisis puede ser realizado para las matrices de probabilidad de transición propuestas para los periodos de 6 y 12 meses.

Por otra parte, para conocer las probabilidades de que una tecnología diagnóstica que actualmente se encuentra en un estado esté en otro en un determinado tiempo después de n transiciones, se utiliza las probabilidades de transición de n pasos, denotada con $\varphi_{ij}(n)$, que en general no es más que un producto sucesivo de la matriz inicial en el tiempo $n=0$, e indica la probabilidad que el equipo ocupará el estado j en un tiempo n dado que ocupó el estado i en el tiempo 0. Para el desarrollo matemático de la matriz de transición de probabilidades de n pasos

se recomienda ver el anexo D ó consultar el texto de Howard [58]. Las probabilidades de transición de n pasos se pueden representar en una matriz $N \times N$ llamada matriz de probabilidad de transición de n pasos, $\Phi(n)$,

$$\Phi(n) = \varphi_{ij}(n) = \begin{bmatrix} \varphi_{11}(n) & \varphi_{12}(n) & \varphi_{1N}(n) \\ \varphi_{21}(n) & \varphi_{22}(n) & \varphi_{2N}(n) \\ \varphi_{N1}(n) & \varphi_{N2}(n) & \varphi_{NN}(n) \end{bmatrix} \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

Esta matriz puede ser obtenida al elevar la matriz de probabilidad de transición inicial a la potencia *enésima*, es decir,

$$\Phi(n) = P^n \quad n = 0, 1, 2, 3 \quad (8)$$

Las filas de $\Phi(n)$ especifican la distribución de probabilidad que existiría sobre todos los estados de la cadena después de n transiciones para cada posible estado inicial.

Teniendo en cuenta cada una de las matrices de probabilidad iniciales propuestas, se determina la distribución de las probabilidades de todos los estados después de n transiciones en un tiempo específico. Aplicando la ecuación (8) a la matriz de probabilidad de transición inicial (4), las matrices de probabilidades de transición resultantes para un periodo de tiempo de 4 meses se muestran en la figura 12:

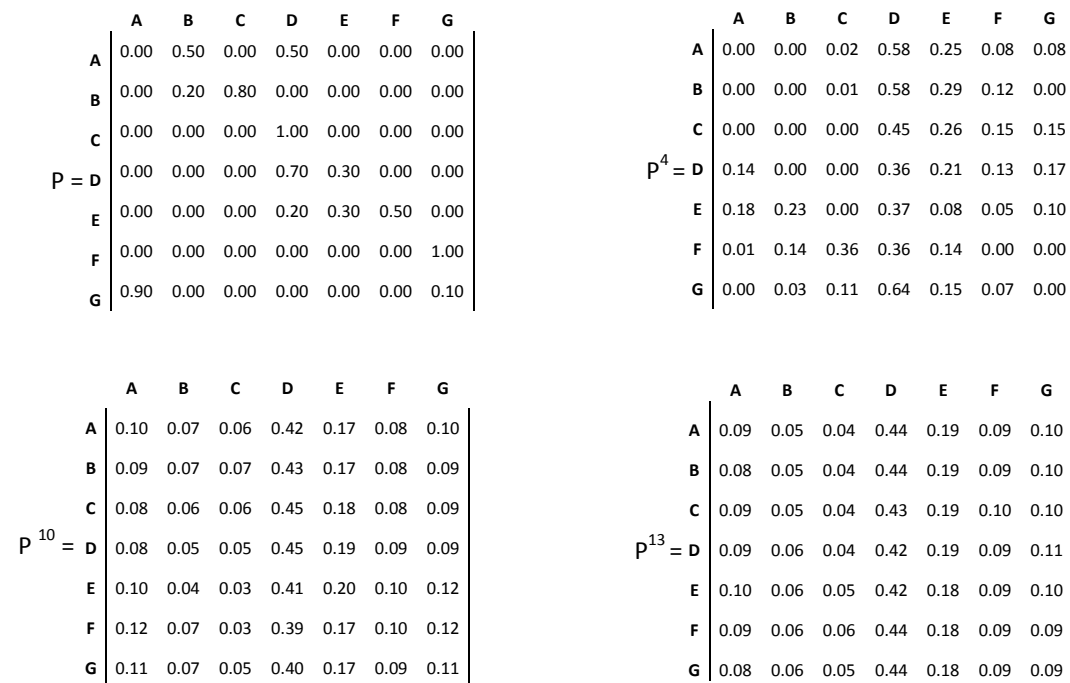


Figura 12. Matrices de probabilidades de transición de n pasos para un periodo de 4 meses.

De la misma manera se aplica la ecuación (8) a las matrices de probabilidad de transición (5) y (6) para calcular su distribución después de n transiciones en $T = 12$ meses y $T = 6$ meses (ver anexo

E). Los estados que proporcionan una mayor información sobre el uso y conservación de la tecnología son los estados de utilización, utilización deficiente y disposición final, debido a que son aquellos en los cuales el equipo permanece una mayor parte del tiempo de su ciclo de vida en el hospital. Por esto, su comportamiento y análisis permite determinar si se debe comenzar a planear el reemplazo de la tecnología, si se debe dar de baja o puede proporcionar una aproximación del tiempo de vida útil que le queda en la institución, con el fin de servir como herramienta de apoyo a la toma de decisión en los casos que se requiera. En la figura 13 se muestran las tendencias de las probabilidades de transición entre los estados de utilización y utilización deficiente (P_{DD} , P_{DE} , P_{DF} , P_{EE} , P_{ED} y P_{EF}) después de n transiciones para un periodo $T=4$ meses.

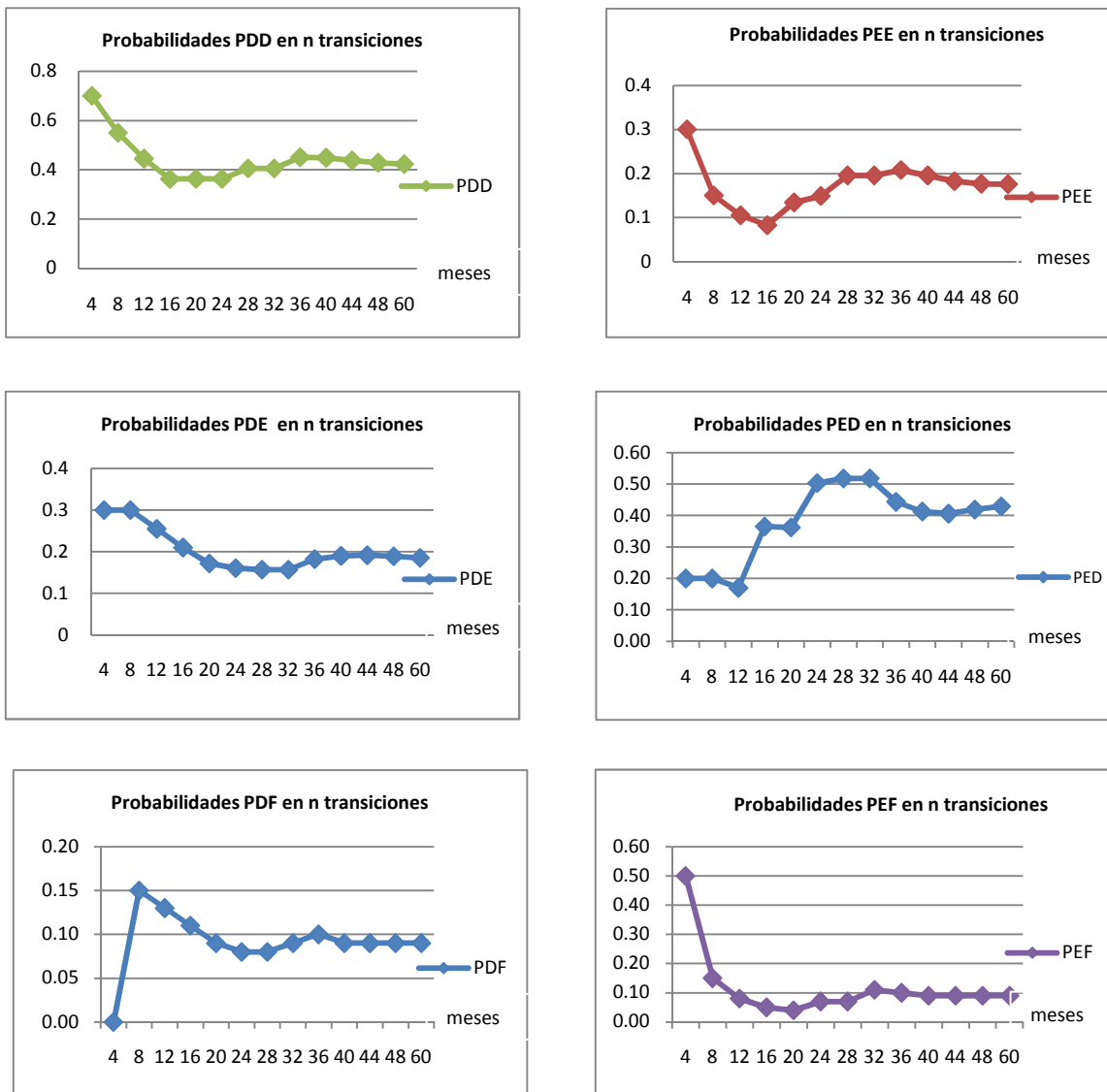


Figura 13. Probabilidades de los estados D, E y F en n transiciones para un periodo de $T=4$ meses.

Así mismo, las probabilidades de transición entre los estados de utilización y utilización deficiente y disposición final (P_{DD} , P_{DE} , P_{DF} , P_{EE} , P_{ED} y P_{EF}) después de n transiciones para los periodos de 6 y 12 meses se presentan en el anexo F.

Con base en el comportamiento mostrado en las figuras, se pueden considerar dos aspectos principales: cuando el valor de la distribución de probabilidades comienza a converger o a ser constante a lo largo del tiempo, el modelo considera la opción de que el equipo pase a un estado anterior o al estado subsecuente en función de los elementos característicos del estado en que se encuentra. Teniendo en cuenta esta información, el tomador de decisión puede establecer el tiempo aproximado en que el equipo pueda cambiar de un estado a otro, por ejemplo del estado de utilización al estado de utilización deficiente o al de disposición final para tomar acciones pertinentes para mantener o empezar con el proceso de baja del equipo en un periodo determinado.

4.6 Evaluación del modelo propuesto

Para la evaluación del modelo se analizaron los sistemas de rayos X convencional y tomografía, considerando 10 y 3 unidades respectivamente. El modelo se validó teniendo en cuenta dos casos de estudio, un equipo de rayos X convencional y un equipo de tomografía computada diferentes a los evaluados. En la tabla 15 se presenta los resultados de los casos de estudios para validar el modelo propuesto.

La información referente al uso, conservación, costos e impacto de la tecnología diagnóstica se obtuvo a partir de las encuestas aplicadas a las cuatro instituciones de salud pertenecientes a los sistemas de salud de México y Colombia respectivamente. A continuación se presenta un resumen de los perfiles de las instituciones que se entrevistaron.

Hospital No 1.

Es una clínica privada de tercer nivel de complejidad ubicada en la ciudad de Barranquilla (Colombia), perteneciente al Sistema de Salud Colombiano, la cual cuenta con una capacidad hospitalaria de 160 camas y 360 equipos médicos distribuidos en 14 áreas. Dentro de los servicios médico asistenciales ofrecidos se encuentran consulta general y especializada, laboratorio clínico, urgencias, procedimientos terapéuticos invasivos y no invasivos, imágenes diagnósticas, unidades de cuidados intensivos neonatal, coronaria y adultos, y procedimientos quirúrgicos básicos y complejos.

Esta institución tiene un área de radiología, que cuenta con un total de 5 equipos de rayos X (tres convencionales fijos y dos móviles) y 1 tomógrafo, con los cuales cubre la demanda de pacientes que requieren diferentes tipo de estudios, un promedio de 5750 estudios radiológicos y 525 estudios de tomografía anuales (2008).

En este caso, los sistemas de radiología del departamento tienen alrededor de 15 años y el sistema de tomografía tiene 7 años de ser adquiridos en el Hospital. Los equipos funcionan marginalmente en el servicio debido a que no tienen un soporte técnico con el proveedor a la falta de refacciones, ni un programa de mantenimiento establecido, por lo que solo se realizan actividades correctivas, presentando un alto índice de fallas y un tiempo de inactividad del servicio prolongado en la mayoría de las ocasiones. El tomógrafo instalado en el servicio de imágenes, se está reemplazando por una opción más actualizada, debido al alto índice de fallas que se presentaba en el servicio. Así mismo, la información concerniente a estas fallas, los procedimientos de mantenimiento y reportes no se encuentran disponible en su totalidad

Centro Radiológico No 1

Es un centro especializado en radiología e intervencionismo diagnóstico y terapéutico privado de tercer nivel de complejidad perteneciente al Sistema de Salud Colombiano. Dentro de los servicios clínicos que presta se encuentra radiología general (2), especializada e intervencionista, tomografía computarizada (1), ultrasonografía diagnóstica (1), mastografía (1) y Resonancia Nuclear Magnética (1). Todos sus equipos fueron recientemente adquiridos (10 meses), cuenta con la garantía del proveedor (soporte técnico y refacciones básicas), en la actualidad, no cuenta con un departamento de mantenimiento, pero tiene un programa de inspección y mantenimiento preventivo dado por el fabricante.

El control de reporte de mantenimiento es llevado a cabo por los técnicos radiólogos. La información referente al uso clínico (manuales de operación, manual de Radioprotección, etc.) se encuentra centralizada en el servicio radiológico. El centro está por finalizar el proceso de certificación y acreditación en salud ISO 9001, por lo que sus procesos y organización de los servicios se encuentran muy bien documentados. El promedio de estudios totales de radiología general y especializada es de 3690 y para el caso de tomografía computada es de 320 estudios en el período de enero a septiembre de 2009.

Hospital No. 2

Es un instituto nacional de especialidades que pertenece a Sistema de Salud Mexicano. Cuenta con una capacidad hospitalaria de 430 camas y realiza en promedio 90.886 estudios de radiología general, 252 estudios especializados y 4.674 estudios de tomografía en el 2009. El instituto tiene un departamento de ingeniería biomédica, donde se coordinan todas las actividades de mantenimiento de la tecnología de baja complejidad y de infraestructura hospitalaria, los equipos de mediana y alta complejidad son reparados en la mayoría de casos por personal externo (“outsourcing”) a la institución.

El control de reportes de mantenimiento y fallas y programas de mantenimiento de los equipos están supervisados por este mismo departamento. Sin embargo, la información técnica, clínica y administrativa (documentación sobre la adquisición de los equipos) no se encuentra disponible. En relación con los equipos de radiología (4) y tomografía (1) se observan que son obsoletos, debido al tiempo de vida útil que llevan en el instituto, que es alrededor de 25 años para los de

rayos X y 5 años para la tomografía computada. En la actualidad, se está llevando a cabo el proceso de adquisición de un nuevo tomógrafo en el servicio de radiología, debido a las fallas persistentes del actual.

Hospital No. 3

Es un instituto nacional de especialidades perteneciente al Sistema Nacional de Salud Mexicano, el cual cuenta con un servicio de radiología que realiza en promedio 54750 estudios radiológicos entre generales y especializados, y 2999 estudios de tomografía en el 2009. El instituto tiene un departamento de ingeniería biomédica, donde se coordinan todas las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo del equipamiento médico instalado. Los equipos de alta complejidad, especialmente los de rayos X y consumibles, están dentro de un programa de servicio integral, en que se realizan las actividades de revisión, calibración y mantenimiento y los consumibles que requieren para su uso óptimo dentro del servicio.

El control de reportes de mantenimiento y fallas, y la información técnica y económica de los equipos (documentación sobre la adquisición de los equipos) se encuentra centralizada y supervisada por este mismo departamento. En relación con los equipos de radiología (7) (tres fijos convencionales, tres móviles y uno digital) y el equipo de tomografía (1) se observan que a pesar de que su tiempo de vida útil es alrededor de 12 años, se conservan en buenas condiciones y con un grado de aceptación entre los técnicos que operan este tipo de tecnología. En la actualidad, se están realizando análisis económicos para cambiar los equipos de rayos X convencionales por equipos digitales, así como la implementación de un PACS dentro de la institución.

En la tabla 15 se presentan los casos y resultados obtenidos para validar la aproximación.

Sistema	Modelo	Impacto				Conservación								Uso				Costos	SF	Estados			
		Riesgo clínico	Organización	Resultados	Seguridad	Inactividad	Fr. Incidencias de fallas	PIMP	Cumplimiento PIMP	Fallas no Resueltas	Garantía	Soportes	Protección Radiológica	Productividad	Obsolescencia	Condición Física	Problemas Reportados	Regulación	Calidad	Costos	Score final	Estado modelo	Estado actual
Rayos X	Shimadzu	3	3	3	0	3	10	5	3	0	0	13	3	3	10	5	10	0	16	10	100	E	E
Tomógrafo	G. Electric	2	1	0	10	1	10	5	1	10	0	0	3	0	10	15	10	0	3	45	127	F	F

Tabla 15. Casos de estudios para validar la aproximación propuesta.

SF: Score Final, Fr: Frecuencia

Para el primer caso, un equipo de rayos X con un score final igual a 100, indica que se encuentra en el estado E, es decir que el equipo se encuentra utilizado deficientemente en el servicio. Los parámetros que predominaron en el análisis, están relacionados con el alto índice de fallas que ha presentado el equipo, la productividad deficiente en relación con el volumen de estudios anuales propuestos por el servicio, la edad del equipo y un porcentaje significativo de días

perdidos por las fallas o problemas presentados y las actividades de mantenimiento correctivo que se han realizado para solventarlos.

Para el segundo caso, el sistema de tomografía computada tiene un score final de 127, es decir que se encuentra en el estado disposición final, en este estado se comienza con el proceso de baja de la tecnología en el servicio, por lo que se ha considerado que ya no es económicamente rentable y se decide discontinuar su utilización.

Los parámetros que influyen en este análisis están relacionados con alto índice de fallas que ha presentado el equipo, la productividad nula en relación con el volumen de estudios anuales propuestos por el servicio, debido a fallas no resueltas, los problemas de seguridad presentados, la deficiente organización del servicio, y el impacto negativo de los costos asociados a la conservación del mismo, así como otros condicionantes como la edad del equipo y un porcentaje significativo de días perdidos por las fallas y la cantidad de mantenimiento correctivo que se han realizado para solventarlos. Por todo esto, el servicio de radiología de esta institución decidió retirar el equipo del servicio y comenzar con el proceso de adquisición de uno nuevo.

Considerado la matriz de transición de probabilidad propuesta para un periodo $T=4$ meses (7), el modelo define que el equipo analizado tiene el 50 % de probabilidad de pasar del estado E (utilización deficiente) al estado F (disposición final), así mismo, tiene un 30% de probabilidad de mantenerse en el mismo estado (E) y un 20% probabilidad de que pase al estado de utilización. Con esta situación, el modelo permite identificar elementos de valoración para sugerir estrategias que mejoren las condiciones de operación del equipo.

En particular, se puede sugerir que se vigilen los elementos que pertenecen al primer nivel de prioridad de los parámetros de impacto, conservación, costos y uso de la tecnología en la fase de utilización y conservación, a fin de mantener al equipo en una fase de utilización hasta por un período de 28 meses dado en figura 13 (Probabilidades PDD y PDE). Por otro lado, debido a la alta probabilidad (50%) que se tiene de cambiar de un estado de utilización deficiente a disposición final en un periodo de 4 meses, el modelo refleja la conveniencia de que se evalúe la prioridad de reemplazo de esta tecnología, y comience a implementarse estrategias para llevar a cabo el proceso de baja del equipo en el hospital.

La información que suministró esta aproximación fue contrastada con el estado funcional actual del equipo en el servicio, y se encontró una alta correlación entre los resultados obtenidos. En la tabla 16 se muestran los resultados de los estados de los equipos de rayos x y tomografía proporcionados por el modelo contrastado con su estado real dentro de los servicios de radiología consultados.

Sistema	Marca	Impacto				Conservación								Uso					Costos	SF	Estados		
		Riesgo clínico	Organización	Resultados	Seguridad	Inactividad	Fr. Incidencias de fallas	PIMP	Cumplimiento PIMP	Fallas no Resueltas	Garantía	Soportes	Protección Radiológica	Productividad	Obsolescencia	Condición Física	Problemas Reportados	Regulación	Calidad	Costos	Score final	Estado modelo	Estado actual
Rayos X	Toshiba	5	3	3	0	5	1	3	3	0	5	NA	5	3	0	0	0	0	18	NA	54	C	C
Rayos X	Toshiba	5	3	3	0	5	1	3	3	0	5	NA	5	3	0	0	0	0	18	NA	54	C	C
Rayos X	General Electric	3	5	5	0	1	10	5	3	0	0	13	3	5	10	0	0	0	16	NA	79	D	D
Rayos X	Eagle X-Ray	3	5	3	0	1	10	5	3	5	0	13	3	3	10	5	10	0	12	10	101	E	E
Rayos X	Shimadzu	3	3	3	0	3	5	5	3	0	0	15	5	3	10	5	10	0	12	NA	106	E	E
Rayos X	Shimadzu	3	3	3	0	3	5	5	3	0	0	15	5	5	10	5	0	0	12	NA	77	D	D
Rayos X	Shimadzu	3	3	3	0	1	10	5	3	3	0	13	3	1	10	5	10	0	12	NA	85	D	D
Rayos X	Siemens	3	3	3	0	1	5	5	3	5	0	13	3	3	10	5	0	0	12	NA	76	D	D
Rayos X	Siemens	3	3	3	0	3	10	5	3	0	0	15	5	5	10	5	0	0	12	NA	82	D	D
Rayos X	Shimadzu	3	3	3	0	1	10	5	3	5	0	13	3	3	10	5	10	0	12	NA	91	E	E
Tomógrafo	General Electric	5	5	5	0	5	2	5	5	0	0	15	5	5	0	0	10	0	12	NA	67	D	D
Tomógrafo	Siemens	2	1	10	10	0	10	0	0	15	0	0	1	1	0	5	10	0	11	45	111	E	E
Tomógrafo	Toshiba	5	3	3	0	5	1	3	3	0	5	NA	5	5	0	0	0	0	18	NA	54	C	C

Tabla 16. Casos de estudios analizados para evaluar la aproximación propuesta.

NA: No aplica (No se encontró información relevante de este parámetro); SF: Score final.

4.7 Análisis de reemplazo de la tecnología diagnóstica

Se realizó una primera aproximación al análisis de reemplazo a partir de la consideración de los factores mostrados en la tabla 17. Estos se obtuvieron de los elementos de la primera prioridad mostrados en la tabla 7, los cuales fueron clasificados en relación con los factores de conservación, costos, impacto y uso de la tecnología diagnóstica a lo largo de su ciclo de vida en el servicio radiológico. El primer nivel de prioridad lo conforman aquellos elementos que son indispensables para caracterizar cada una de las fases del ciclo de vida de la tecnología y por lo tanto aportan información trascendente que da las pautas para identificar las causas que dan origen al reemplazo.

No fue posible obtener un árbol de decisión a partir de los datos obtenidos porque no constituían un número suficiente como para obtener un resultado consistente. Sin embargo, esta información proporciona los atributos y su valoración para conformar una base de datos de tamaño adecuado que permita formar un sistema de decisión.

Atributos	Valoración	Importancia
Obsolescencia	Edad \leq 2 años = 0 Edad = Entre 3 – 5 años = 0.5 Edad = Entre 6 y 7 años = 0.7 Edad = Entre 8 y 9 años = 0.9 Edad \geq 10 años = 1	Bajo
Decremento de la disponibilidad	La disponibilidad del equipo disminuye un 30% considerando la diferencia entre el volumen total de estudios realizados en 2 años. Si = $1 - (VE1 - VE2) * 100 / VE(\text{mayor}) = 30\%$ No = 0	Medio
Decremento del tiempo de no operación	% del tiempo que el tomador de la decisión considera que afecta el funcionamiento del servicio radiológico.	Medio
Seguridad	Aspectos de seguridad sin resolver: 1 No presenta = 0	Medio
Cambio en las regulaciones	No se cumple con la normatividad actual=1 Cumple con las regulaciones actuales = 0	Alto
Fallas del equipo	Fallas no resueltas en 48 horas/Total de fallas =1	Medio
Soporte Técnico	Solo se realiza actividades correctivas: 1	Medio
Soporte de consumibles	Disponibilidad de consumibles: 0 Consumibles no disponibles: 1	Medio
Soporte de refacciones	Proveedor no cuenta con refacciones = 1 Proveedor cuenta con refacciones= 0	Medio
Costos: Refacciones, manos de obra, contratos de mtto.	CM \geq 25% Costo de compra del Equipo = 1 CM \geq 25% Costo de compra del Equipo = 0	Medio
Reportes de Problemas (usuario)	Problemas asociados con equipo =1 No presenta ningún problema = 0	Medio
Alertas, incidentes y aspecto relacionado con la tecnovigilancia	Existen reporte de alertas de seguridad = 1 No existen reportes de alertas = 0	Alto
Función del equipo	Equipos de apoyo a la vida= 1 Equipo de cirugía y UCI = 0.9 Equipo de tratamiento y terapia = 0.6 Equipo de monitoreo y diagnóstico = 0.5 Equipos no relacionados con el paciente= 0	Medio
Riesgo clínico	Equipo de alto riesgo = 1 Equipo de mediano riesgo = 0.5 Equipo de bajo riesgo = 0	Medio

Tabla 17. Atributos para el análisis de reemplazo de equipos de diagnóstico.

CAPÍTULO V

Discusión

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos en este estudio, así como las limitaciones encontradas y los trabajos futuros que surgen a partir de la implementación del modelo propuesto.

Ciclo de vida de la tecnología

A fin de tener una visión clara de la situación de los servicios de salud con respecto a sus recursos tecnológicos, es demandante contar con información de su desempeño bajo diferentes perspectivas una vez que éstos se encuentran operando de manera regular en el hospital. El concepto de ciclo de vida permite organizar dicha información en los tiempos asociados a las fases que establece. La definición de las tres fases en el concepto de ciclo de vida propuesto incorpora la información técnica y económica, y la integra junto con la información clínica para dar una idea más apegada a la realidad de cómo se encuentra el funcionamiento de las tecnologías, otorgando una fuente adicional de apoyo para los análisis económicos que se realizan con fines de evaluación.

Uno de los requerimientos que se deben tomar en cuenta para que tanto el ciclo de vida de la tecnología dentro del hospital como el modelo sean válidos, se relaciona con los procesos de evaluación y adquisición. Ambos deben haberse realizado a la entera satisfacción de la institución de salud, cumpliendo con los requerimientos determinados por las necesidades definidas inicialmente, y tomando en cuenta los aspectos de servicio y financiamiento pactados. De esta forma se podrá contar con una base preliminar de información relacionada al rendimiento de la tecnología, la cual formará parte de las condiciones iniciales con las que cada factor, económico, técnico y clínico, partirá para realizar los análisis que se vayan requiriendo.

La caracterización de los parámetros definidos en cada fase del ciclo de vida son útiles como indicadores para apreciar el rendimiento de la tecnología dentro del hospital, identificar oportunamente las dificultades que se puedan presentar con respecto al uso y conservación de las tecnologías, y proporcionar información de valor que soporte las decisiones relacionadas con el cambio de las mismas.

Caracterización del ciclo de vida de la tecnología diagnóstica

La caracterización de las fases del ciclo de vida de la tecnología diagnóstica, a través de la definición de los procesos que se llevan a cabo dentro de los servicios de radiología, permite identificar los parámetros relevantes que se deben tener en cuenta para monitorear y controlar

de una forma más eficiente la tecnología con relación a su uso, conservación, costos e impacto dentro del servicio.

El valor de contar con estos procesos bien definidos y documentados a través del uso herramientas de modelado, como el BPMN (Business Process Modeling Notation) o RUP (Rational Unified Process), se refleja en la identificación de manera objetiva y oportuna de los problemas o situaciones emergentes (“cuellos de botella”) y de las condiciones de riesgo potencial que se presentan dentro del servicio clínico, relacionado no solo con la tecnología sino también con la gestión en torno a ésta, lo cual permite llevar a cabo diferentes acciones para solventar de manera eficiente los inconvenientes que se puedan presentar.

La asignación numérica propuesta de los rangos para obtener el score final es una primera aproximación que permitió definir los estados del modelo. Tanto los rangos como los criterios de valoración pueden modificarse a medida que se recabe la información concerniente al uso, impacto y conservación de la tecnología en el servicio.

Aproximación del modelo propuesto

La aproximación al modelo desarrollado es generalizable para analizar diferentes tipos de tecnología médica utilizada en el hospital, debido a que tanto los elementos de valoración que permitieron describir las características clínicas, técnicas y económicas de la tecnología diagnóstica en el servicio y el diseño de la cadena de Markov utilizada para determinar el estado actual en que se encuentran como los criterios definidos para realizar el análisis de reemplazo de la tecnología fueron considerados a partir del concepto de ciclo de vida de tecnología médica propuesto.

Sin embargo, la matriz de probabilidades de transición propuesta para $n=0$ (Figuras 10, 11 y 12) en el modelo de Markov se define para el caso particular de los equipos de radiología y tomografía, por lo tanto los valores que conforman esta matriz se tendrán que modificar a partir de los datos, la información y la gestión en torno a la tecnología que se requiera analizar. La evidencia puede ser generada considerando los elementos de valoración que se presentan en las encuestas diseñadas, los cuales describen las características clínicas, tecnológicas y económicas de la tecnología médica bajo estudio.

Los resultados obtenidos por el modelo (tabla 16) revelan una fuerte correlación con la situación real de los equipos instalados en los servicios radiológicos entrevistados. Sin embargo, existen parámetros que requieren de un análisis más detallado para obtener su valoración, por ejemplo los costos asociados al uso, conservación, operación de la tecnología en el servicio y el tiempo de inactividad por averías y fallas del equipo; estos parámetros no se pueden obtener de manera directa y presentan cierta dificultad para ser evaluados debido a la naturaleza de los procesos financieros de las instituciones privadas o públicas y a la gestión tecnológica en particular que se realizan en sus servicios clínicos. Contar con este tipo de información permite realizar análisis tecnológicos y económicos más apegados a la situación real de cada hospital.

Las matrices de probabilidad de transición de n pasos de la cadena de Markov presentadas en el anexo E sirven para predecir el tiempo aproximado y la probabilidad de que una tecnología pase de un estado a otro en un período de tiempo específico. Las probabilidades definidas en las matrices de transición propuestas en $n=0$ (Figuras 10, 11 y 12) se determinaron con base en la heurística del autor y los colaboradores, la información obtenida de las encuestas y las entrevistas al personal responsable del uso y la conservación de la tecnología en la institución; esta información no tiene un grado de certeza absoluto, debido a que el servicio clínico podría no contar con el tipo de documentación requerida. Aun cuando no se pudo comprobar que la información obtenida es completamente cierta, se obtuvieron resultados que van acorde con la teoría descrita.

Por otra parte, la inclusión de otros criterios de valoración relacionados con los factores propuestos permite caracterizar de una manera más detallada los diferentes estados que puede ocupar la tecnología diagnóstica a lo largo de su vida útil dentro del hospital. Considerando que los valores propuestos para cuantificar estos criterios son una primera aproximación, éstos se pueden modificar teniendo en cuenta los objetivos que se quieran alcanzar con la evaluación o el análisis.

Por último, la implementación de esta aproximación requiere de una gran cantidad de datos a manejar, por lo que ésta se puede considerar como un área de oportunidad para el desarrollo de sistemas y herramientas estadísticas que permitan adquirir, procesar y administrar este tipo de información.

Análisis de reemplazo

Con los datos obtenidos se evaluó la pertinencia de implementar un sistema de clasificación basado en reglas de inferencia que permitieran identificar la tecnología que necesita ser reemplazada. Considerando los parámetros definidos para el análisis de reemplazo, se procedió a realizar el análisis a partir de un árbol de decisión; sin embargo, con la cantidad de información disponible no fue posible obtener una estructura satisfactoria que expusiera el orden en que se deberían atender los puntos clave para decidir sobre el reemplazo. En la medida que se colecte la información requerida, será posible evaluar estas técnicas para generar una propuesta más consistente.

5.1 Limitaciones

La principal limitación encontrada durante este estudio es la disponibilidad de datos de campo reportados sobre los aspectos clínicos, económicos y tecnológicos relacionados al uso de los equipos de imágenes diagnósticas, especialmente los sistemas de radiología y tomografía computada, a lo largo de su vida útil en las instituciones de salud. Para hacer frente a esta limitación fue necesario diseñar y aplicar diferentes encuestas dirigidas dependiendo de la naturaleza de la información que se estaba solicitando, al personal clínico, técnico, profesional y administrativo responsables de la gestión, uso y conservación de la tecnología en servicio clínico, y la opinión de expertos. La información suministrada por estas fuentes podría generar un sesgo

en el análisis de los datos que fundamenta el modelo, debido a que se puede dar el caso en que existan contradicciones entre los puntos de vista del entrevistado respecto a la situación particular en que se encuentre un equipo o el servicio.

Además, no fue posible llevar a cabo un análisis de costos riguroso o discutir las consecuencias financieras relacionadas con el enfoque sistemático debido a la naturaleza de servicio público de las instituciones visitadas, la falta de información confiable y la variabilidad de costos que se maneja en cada institución, en especial las de carácter público, debido a que un análisis económico no reflejaría la situación real de la institución en este aspecto.

5.2 Trabajos futuros

Los aspectos mencionados en la discusión y los conocimientos proporcionados por este estudio pueden ser utilizados como base para proponer los siguientes futuros trabajos:

- **Desarrollo del modelo complementario que aborde la adquisición.** El modelo propuesto requiere contar con la información previa de los procesos de evaluación y adquisición de la tecnología diagnóstica en el instante en que ésta ingresa al hospital, la cual permita definir cuáles son los objetivos y los factores que se consideraron para adquirirla e instalarla en un servicio específico. Para ello, se puede desarrollar una metodología que defina los elementos claves para llevar a cabo este proceso de acuerdo con las necesidades reales del hospital y definir estrategias específicas que permitan evaluar las diferentes alternativas desde diversas perspectivas de análisis.
- **Análisis de la matriz de transición.** Aunque los resultados del modelo reflejan de manera idónea el estado funcional de los equipos comparado con la situación real en el hospital y estima aproximadamente el tiempo que se requiere para cambiar de un estado a otro, se propone modificar la matriz de transición de probabilidad a partir de la evidencia que resulte de aplicar este método a un número significativo de casos de estudios, que permita obtener información clínica, económica y tecnológica referente al uso, los costos, la conservación y el impacto de la tecnología dentro de una institución de salud. y asimismo obtener una comparativa para identificar los puntos en común que permitan mejorar y depurar el modelo desarrollado.
- **Desarrollo de metodologías para el análisis de reemplazo.** El modelo define los parámetros que se deben considerar cuando se determina que una tecnología diagnóstica debe ser reemplazada por una opción más adecuada. En relación con estos elementos se sugiere desarrollar estrategias y metodologías para el análisis de reemplazo más rigurosas con base en el método desarrollado. Los métodos que se proponen para abordar este tipo análisis incluyen técnicas de aprendizaje maquina como las redes neuronales.
- **Desarrollo de modelos explorando alternativas a las propuestas en este proyecto.** Una extensión del modelo propuesto comprende la aplicación de métodos más complejos como

aquellos basados en aprendizaje, como son los modelos ocultos de Markov o las cadenas continuas de Markov, con el fin de comparar los resultados obtenidos en este análisis y tener un marco de referencia para determinar los puntos débiles que permitan mejorar el modelo desarrollado.

CAPITULO VI

Conclusiones

- Se desarrolló una aproximación a un modelo para evaluar el desempeño de la tecnología diagnóstica dentro del servicio radiológico a partir del análisis de los factores clínicos, técnicos y económicos obtenidos del concepto de ciclo de vida de la tecnología dentro de la institución de salud.
- El uso de técnicas de modelado probabilístico como las cadenas de Markov de tiempo discreto permiten evaluar de manera cuantitativa diferentes parámetros que en los procesos actuales de evaluación tecnológica se abordan de manera cualitativa.
- Se desarrolló una metodología que permite establecer el estado funcional de la tecnología diagnóstica considerando la integración de la información referente a su uso, conservación, costos e impacto dentro de la institución de salud.
- Se obtuvo una aproximación del tiempo de vida útil de los equipos de diagnóstico instalados dentro del servicio de radiología con base en su información clínica, económica y tecnológica.
- Se identificaron los elementos claves que se recomienda atender para mantener el rendimiento óptimo de la tecnología en el servicio clínico o para sustentar la decisión de un reemplazo cuando ésta ya no cumple con los objetivos para lo cual fue adquirida
- La caracterización del ciclo de la vida de la tecnología, elementos y criterios de valoración y la implementación del modelo propuesto forman parte de un sistema de apoyo a la toma de decisiones.

Contribuciones

Las contribuciones de este proyecto al campo de la evaluación de tecnología médica incluyen:

- La propuesta de una definición del concepto de ciclo de vida de la tecnología médica dentro de una institución de salud desde una perspectiva integral, teniendo en cuenta los factores relacionados con la intensidad de uso, su conservación, el personal involucrado en su utilización, el impacto social y los recursos económicos invertidos.

- La capacidad de obtener información de apoyo para la toma de decisiones en los procesos relacionados con gestión tecnológica y el análisis de reemplazo de los equipos de diagnóstico en la institución.
- Una base para el desarrollo de sistemas de control más apegados a las situaciones reales.
- Una visión amplia sobre el desempeño operativo y funcional de la tecnología diagnóstica a lo largo de su vida útil dentro del hospital, a partir de la implementación de este modelo

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Petherick E, Villanueva E, Dumville J, Bryan E, Dharmage S. An Evaluation of Methods Used in Health Technology Assessments. Medical Services Advisory Committee. eMJA. 2007;187(5): pp. 289-92
- [2] Kristensen FB, Sigmund H (Ed.). Health Technology Assessment Handbook. 2nd edition. Copenhagen: Danish Centre for Health Technology Assessment. National Board of Health; 2007 [Cited 2009 Oct 30]. Available from: <http://www.sst.dk/>
- [3] Ceballos R, Calvo L, Prieto A. Evaluación de Tecnologías para la Salud: Documento Metodológico. Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. México DF; 2009. Citado: Octubre, 2009. Disponible en: www.cenetec.salud.gob.mx
- [4] Drummond MF, Stoddart GL, Torrence GW. Methods for the Economic Evaluation of Health Care Programmes. Third Edition. United Kingdom. Oxford: Oxford University Press; 2005.
- [5] Sacchini D, Viridis A, Refolo P, Pennacchini M, Carrasco I. Health Care Technology Assessment: Ethical Aspect. Med Health Care and Philos. 2009; 12(4): pp. 1-11.
- [6] Perry S, Gardner E, Thamer M. The Status of Health Technology Assessment Worldwide: Results of an International Survey. Int J Techno Assess Health Care. 1997; 13(1): pp. 81–98.
- [7] Infante A. Extractado de “La acción de la OPS en apoyo a la evaluación de las tecnologías en salud en América Latina y el Caribe”. Rev Panam Salud Pública/Pan Am J Public Health. 1997; 2(5): pp. 363-71.
- [8] Olasagasti J. Evaluación de Tecnologías Médicas Basada en la Evidencia. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias. Instituto de Salud Carlos III. Ministerio de Sanidad y Consumo. Madrid; 1998.
- [9] Iglesias I, González J, Alcaide J. Guía para la Elaboración de Informes de Evaluación de Tecnologías Sanitarias. Agencia de Evaluación de Tecnología Sanitaria, Instituto de Salud Carlos III. Informe de ETS No 19. Madrid; 1999.
- [10] Granados A, Sampietro L, Asua J, Conde J, Vazquez R. Health Technology Assessment in Spain. Inter Journal of Technology Assessment in Health Care. Cambridge University Press. U.S.A. 2000: pp. 532–59.
- [11] Iglesias I, Drummond M, and Rovira L. Health care Decision Making Process in Latin American: Problems and Prospects for the Use of Economic Evaluation. International Journal of Technology Assessment in Health Care, Cambridge University Press, 2005; 21: pp. 1-14.

- [12] Organización Panamericana de la Salud (PAHO). El Desarrollo de la evaluación de las tecnologías en salud en América Latina y el Caribe. 4ª Edición. Washington: División de Desarrollo de Sistemas y Servicios de Salud; 1996 [Citado 2009 Sept. 30]. Disponible en: <http://www.paho.org>.
- [13] Office of Technology Assessment (OTA). Assessing the Efficacy and Safety of Medical Technologies. Washington: Publication No: OTA-75. Government Printing Office; 1978 [Cited 2009 Jun 30]. Available from: www.fas.org/ota/reports/7805.pdf
- [14] Cheng M. Medical Device Regulation: Global Overview and Guiding Principles. Genève: World Health Organization (WHO); 2003 [Cited 2009 Nov 30]. Available from: www.who.int/medical_devices/publications/.
- [15] Geisler E, Heller O. Management of Medical Technology: An Emerging Intellectual Space, Management of Medical Technology: Theory, Practice and Cases. Boston. Ed. Kluwer Academic Publisher; 1998. pp. 23-27.
- [16] Pichon R. Evaluación de la Tecnología Sanitaria y Políticas de Salud. Presentado en el 2º Foro Nacional de Tecnología para la Salud. México; 2006 [Citado 2009 Jun. 25]. Disponible en: www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/.
- [17] C. Jiménez. Revisión Sistemática y Efectividad Clínica. Presentado en el 3º Foro Nacional de Tecnología para la Salud. México; 2007 [Citado 2009 Jun. 25]. Disponible en: www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/.
- [18] Villanueva J, Martínez F. Ciclo de Vida de la Tecnología Médica: Una Aproximación Integral. Presentado en XXXI Congreso de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica. México; 2009.
- [19] Office of Technology Assessment (OTA). Development of Medical Technology Opportunities for Assessment. Washington: Publication No: OTA-76. Government Printing Office; 1976. pp. 45-9.
- [20] Valencia J, Manrique R. Evaluación de la Tecnologías en Salud. Rev. Ces Medicina. 2004; Vol.18 (2): pp. 82-6.
- [21] Jovell A, Navarro-Rubio M. Evaluación de la Evidencia Científica. Med Clin. Barcelona. 1995; 105(1): pp. 740-3.
- [22] Battista RN. Innovation and Diffusion on Health Related Technologies. Int J Technol Assess Health Care. 1989; 5(1): pp. 227-48.
- [23] Matuszewski K, Technology Assessment. M. Oleske. Kluwer Academic, editors. Epidemiology and the Delivery of Health Care Services: Methods and Applications. New York. Second Edition. 2001. pp. 236-59.
- [24] Wanke M, Juzwishin D, Thornley R, Chan L. An Exploratory Review of Evaluations of Health Technology Assessment Agencies. HTA Initiative (16). 2006 [Cited 2009 Jun 30]. Available from: www.inahta.org/

- [25] International Network of Agencies for Health Technology Assessment (INAHTA). Canada; 2005 [Cited 2009 Jun 30]. Available from: <http://www.inahta.org/INAHTA/>.
- [26] Iglesias C, Drummond M, Rovira J. Thematic Network On The Economic Evaluation Health Programmes And Its Applications To Decision Making In Latin American Countries. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*. 2005; 21(1): pp. 1-15.
- [27] Rubinstein A, Pichon-Riviere A, Augustovski F. Development and implementation of health technology assessment in Argentina: Two Steps Forward and One Step Back. *Intl. Journal of HTA*. 2009; Vol. 25: pp. 260-69.
- [28] Banta D, Almeida R. The Development of Health Technology Assessment in Brazil. *Intl. Journal of HTA*. 2009; Vol.25 (Supplement 1): pp. 255–59.
- [29] Unidad de Evaluación de Tecnologías de Salud. Departamento de Calidad en la Red dependiente de la División de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Salud. Chile; 2007 [Citado 2009 Oct 30]. Disponible en: www.redsalud.gov.cl
- [30] Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). Ministerio de Protección Social. Colombia; 2007 [Citado 2009 Sept. 30]. Disponible en: <http://web.invima.gov.co/Invima/index.jsp>.
- [31] Centro de Control Estatal de Equipos. Sistema Nacional de Salud Cubano. Cuba; 2006 [Citado 2009 Sept. 25]. Disponible en: www.eqmed.sld.cu/docreg.htm.
- [32] Gomez O, Frenk J. Health Technology Assessment in Mexico. *Intl. Journal of HTA*. 2009; Vol.25 (Supplement 1): pp. 270-75.
- [33] Clarke M, Oman AD (Ed). Manual de Revisores Cochrane 4.1.6. The Cochrane Collaboration Handbook. Oxford: Cochrane Collaboration; 2006 [Citado 2009 nov 30]. Disponible en: <http://www.cochrane.dk/cochrane/handbook/handbook.htm>.
- [34] Oxman AD (ed). Section VI: Preparing and Maintaining Systematic Reviews: The Cochrane Collaboration Handbook. Oxford: Cochrane Collaboration; 2006 [Citado 2009 nov 30]. Disponible en: <http://www.cochrane.org/resources/handbook/>.
- [35] Ortiz Z. Meta-análisis como Método Básico de la Investigación Científica y en la Práctica Diaria. Presentado en la sesión pública ordinaria de Academia Nacional de Medicina. *Bol. A.N de Medicina*. Argentina. 1997; (75): pp. 471-75.
- [36] Sandoya E. Meta-análisis: Fortalezas y Debilidades. *Rev Urug Cardiol*. 2008; (23):pp. 263-75.
- [37] Rubio-Terrés C, Sacristán JA, Badia X, Cobo E, García AF. Métodos Utilizados para Realizar Evaluaciones Económicas de Intervenciones Sanitarias. *Med Clin Barc*. 2004; 122: pp. 578-83.

- [38] Valladares A, González J, Sacristán JA. Evaluación Económica en Medicina (II): Métodos de evaluación económica y manejo de la incertidumbre asociada. *Evid Pedia*. 2009; 5: pp. 88 -100
- [39] Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health. Guideline for the Economic Evaluation. 3rd edition. Canadá; 2006 [Citado 2009 Oct. 30]. Disponible en : http://www.cadth.ca/media/pdf/186_EconomicGuidelines_e.pdf
- [40] López Bastida J, Oliva J, et al. Propuesta de Guía para la Evaluación Económica Aplicada a las Tecnologías Sanitarias. *Gac Sanit*. 2009; (10): pp. 1 -17.
- [41] Sun X, Faunae T. Decision Analytical Modeling in Health-Care Economic Evaluations. *Eur J Health Econ*. 2008; (9): pp. 313-23.
- [42] Daba J. La Utilización de Métodos Probabilísticos para la Evaluación Económica de Tecnologías Sanitarias. *Gac Sanit*. 2006; 20: pp. 74-9.
- [43] Chambers, M.G., Koch, P., Hutton, J.: Development of a Decision-Analytic Model of Stroke Care in the United States and Europe. *Value Health*. 2002; 5:pp. 82-97.
- [44] Karnon J, Brown J. Selecting a Decision Model for Economic Evaluation: A Case Study and Review. *Health Care Management Science*. 1998; (1): pp. 133-40.
- [45] Sonnenberg FA, Roberts MS, Tsevat J, Wong JB, Barry M, Kent DL. Toward a Peer Review Process for Medical Decision Analysis Models. *Medical Care*. 1994; 32: pp. 52-64.
- [46] Kassier JP. The principles of Clinical Decision Making: An Introduction to Decision Analysis. *Yale Journal of Biology and Medicine*. 1976; 49(2):pp. 149-64.
- [47] Sonnenberg F, Beck R. Markov Models in Medical Decision Making: a Practical Guide. *Med Decis Making*. 1993; 13: pp. 322-39.
- [48] Albornoz V, Hinrichsen M, Miranda P, Peña P. Uso de las Cadenas de Markov para Predicción de la Dinámica del Comportamiento de Pacientes en una Unidad de Cuidado Intensivo Cardiológica. *Rev Chilena de Ing*. 2006; 14(2):pp. 153-58.
- [49] Collart D, Haurie A. On the Control of Care Supply and Demand in a Urology Department. *European Journal of Operational Research*. 1980. 4(3): pp. 160-72.
- [50] Launois R, Giroud M, Mégnigbêto A, Lay K, Présenté G, MahagneM.H, Durand I, Gaudin A.F. Estimating the Cost-Effectiveness of Stroke Units in France Compared with Conventional Care. *Stroke*. 2004; 35: pp. 770-75.
- [51] Guyatt G, Tugwell P, Feeny D, Haynes E, Drummond M. Framework for Clinical Evaluation of Diagnostic Technologies. *Canmed Assoc Journ*. 1986; 134: pp. 587-94.
- [52] Fineberg HV. Evaluation of Computed Tomography: Achievement and Challenge. *AJR Am J Roentgenol*. 1978; 131 (1): pp 1-4.

-
- [53] Pulop N, Allen P, Clarke A, Black N. From Health Technology Assessment to Research on the Organization and Delivery of Health Services: Addressing the Balance. *Health Policy*. 2003; 63(2): pp.155-65
- [54] Hansen HP. The Patient. In: Kristensen F, Sigmund H, (Ed). 2nd edition. Copenhagen: Danish Centre for Health Technology Assessment. National Board of Health; 2007 [Cited 2009 Oct 30]. Available from: <http://www.sst.dk/>
- [55] Caron L.A Method for Integrating Ethics into HTA. In: INAHTA Ethical Working Group Seminar; Stockholm; 2006 [Cited 2009 Jul 30]. Available from: <http://www.aetmis.gouv.gc.ca/>.
- [56] Saarni S, Hofmann B, Lampe K, Lühmann D, Mäkelä M, Velasco-Garrido M, Autti-Rämö. Ethical Analysis to Improve Decision-Making on Health Technologies. *Bulletin of the World Health Organization*. 2008; 86(8): pp. 617–23.
- [57] Saaty T. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*. 1977; 15(3): pp. 345-55.
- [58] Howard R. Dynamics Probabilistic Systems: Markov Model. Vol. I. New York. Ed. John Wiley & Sons; 1971. pp. 2- 19.

ANEXOS

Ciclo de Vida de la Tecnología Médica: Una Aproximación Integral.

J.A. Villanueva-Padilla^{1,2}, F. M. Martínez-Licona³

¹Postgrado en Ingeniería Biomédica, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México D.F., México.

²Centro de Bioingeniería Cebi-UAC, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia.

³Centro Nacional de Investigación en Instrumentación e Imagenología Médica CI3M, Universidad Autónoma Metropolitana. México D.F., México.

Presentado en el XXXII Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica, 2009

Resumen— En el presente trabajo se propone la definición del concepto de ciclo de vida de la tecnología médica dentro de una institución de salud desde una perspectiva integral, teniendo en cuenta los factores relacionados con la intensidad de uso, su conservación, el personal involucrado en la utilización, el impacto social y los recursos económicos invertidos, así como la interrelación de dichos factores. Se definen y caracterizan las fases de difusión, utilización y conservación, y disposición final de la tecnología médica al tiempo de que se determinan las condiciones bajo las cuales la definición propuesta puede funcionar.

Palabras clave— Tecnología médica, ciclo de vida, gestión tecnológica.

I. INTRODUCCIÓN

El término de “tecnología médica” está asociado a los dispositivos, equipamiento, aparatos, sistemas, programas y suministros que junto con los medicamentos y otro tipo de aditamentos hospitalarios resultan imprescindibles en el ámbito clínico para prevención, diagnóstico, monitoreo y tratamiento de una enfermedad [1]. La extinta Oficina de Valoración de Tecnología de los Estados Unidos (OTA, 1987) ofrece una definición más amplia de la tecnología médica como: “*el conjunto de medicamentos, dispositivos y procedimientos médicos o quirúrgicos usados en la atención sanitaria, así como los sistemas organizativos y de soporte dentro de los cuales se proporciona dicha atención*” [2]. Asimismo para la Organización Mundial de la Salud (OMS) el concepto de “tecnología médica” está relacionado con cualquier instrumento, dispositivo médico, aparato, herramienta, suministro, reactivos y sistemas, usados con el propósito de prevenir, diagnosticar, monitorear y tratar o aliviar una enfermedad e incluso reemplazar una función fisiológica del cuerpo humano [3].

Sin embargo, la definición de la tecnología médica se puede definir a partir de la integración de diferentes perspectivas: una parte física que incluye dispositivos, equipos, sistemas, medicamentos y suministros médicos; una parte de conocimiento que involucra los procedimientos clínicos y quirúrgicos, así como la gestión administrativa referente a los procesos y estrategias propios del sistema de salud; una parte de información que implica la recopilación,

almacenamiento, clasificación, análisis y recuperación de la información médica y su procesamiento; una parte de procesos que incluye los modelos organizacionales, sistemas de calidad y otras medidas de desempeño, y por último una parte que ve a la tecnología como un agente de cambio que influye en los procesos, la estructura del sistema, los flujos de trabajo en los servicios clínicos y la cultura del personal. Desde este punto de vista, la tecnología médica se puede definir como “*cualquier recurso que facilite o haga posible la función de un profesional de salud y le ayude a alcanzar las metas de la profesión*” [4].

Uno de los aspectos relacionados con el concepto de tecnología médica tiene que ver con el comportamiento de ésta a lo largo del tiempo. En la actualidad, existen diversas interpretaciones que se han adoptado por diversos países y organizaciones sobre el concepto del ciclo de vida de la tecnología médica:

- La Organización Mundial de la Salud (OMS), propone una amplia definición del ciclo de vida que abarca fases que van desde la concepción y desarrollo de una idea, la fabricación, empaquetado y etiquetado del producto final, la publicidad para su comercialización, su utilización en el ámbito hospitalario y su posterior eliminación [3].
- En México, las fases del ciclo de vida de la tecnología adoptada por el CENETEC se dividen en cinco: innovación, el desarrollo, la aplicación, la difusión y el abandono, siendo las tres últimas las que se evalúan dentro del entorno hospitalario [5].
- En Colombia, la definición del ciclo de vida adoptada por el Ministerio de Protección Social, incorpora dos etapas generales: la de pre-comercialización y la de pos-comercialización. La primera incluye la concepción y el desarrollo, la fabricación, importación y el registro de la tecnología médica. La segunda abarca la planeación, selección, adquisición, instalación, uso clínico, mantenimiento y disposición final de la tecnología médica [6].
- El Instituto Efectividad Clínica y Sanitaria de Argentina, propone un modelo de ciclo de vida similar a los anteriores, en donde las fases iniciales son la investigación y la promoción, mientras que las etapas que se toman en cuenta dentro del hospital son la de aceptación, la utilización y la obsolescencia [7].

Como puede observarse, las fases de investigación, y experimentación son las más predominantes en todas las definiciones, y se refieren en primera instancia al desarrollo

y aplicación de una idea a un problema específico, y a satisfacer una necesidad preexistente en el sector de la salud.

En estas fases se evalúan las tecnologías antes de que éstas ingresen al ámbito hospitalario, e intervienen investigadores, desarrolladores y fabricantes a fin de garantizar la seguridad y el desempeño óptimo de las mismas. El producto final en esta primera parte es el prototipo validado, mismo que deberá ser evaluado en diversos entornos para que pueda ser aceptado como posible alternativa tecnológica para atender a las necesidades de la institución de salud. Las etapas restantes, en lo general, implementación, aceptación, utilización y disposición final, se desarrollan en el entorno clínico y su evaluación correspondería a su actuación dentro del hospital; esto implica que las etapas anteriores fueron exitosamente aprobadas.

A pesar que las definiciones propuestas han establecido las fases que conforman el ciclo de vida de la tecnología, así como el tipo de evaluaciones que se pueden realizar, su control y uso dentro del hospital se sigue enfocando en los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo, y en el abastecimiento de consumibles, así como en los análisis económicos y técnicos realizados para adquirir una nueva tecnología e introducirla de manera eficiente a la institución, obviando otros aspectos relevantes como la capacidad productiva, la funcionalidad, la seguridad, el riesgo y el impacto clínico y social que conlleva el uso de la tecnología a lo largo del tiempo; estos factores permiten analizar el comportamiento real del equipamiento dentro del ámbito hospitalario.

Uno de los cuestionamientos que surgen al llevar el control de la tecnología se relaciona con la fase en la cual ésta se encuentra dentro de su ciclo de vida: ¿existe la suficiente evidencia como para determinar en qué momento es conveniente o incluso necesario pensar en un reemplazo tecnológico?, ¿por cuánto tiempo se podrá contar con un uso adecuado de esa tecnología? y ¿se está haciendo uso óptimo del recurso tecnológico conforme a las necesidades de salud que plantea el hospital? Este tipo de preguntas requieren de un análisis de información de diversas naturalezas, que debe obtenerse a partir de la experiencia en la utilización de la tecnología en medio hospitalario, es decir, generar la evidencia a partir de la experiencia.

El objetivo de este trabajo es presentar, a partir del análisis de los componentes tecnológicos, económicos y clínicos que tienen las diversas definiciones del ciclo de vida, un concepto de ciclo de vida enfocado en el rendimiento de la tecnología una vez que esta se introduce en el medio hospitalario

II. METODOLOGÍA

Se realizó un estudio retrospectivo de la definición y de la descripción de las fases del ciclo de vida de la tecnología médica adoptadas por diferentes organismos gubernamentales y no gubernamentales, y se analizaron los factores técnicos, económicos y clínicos que intervienen en cada fase.

A fin de definir y caracterizar las etapas del ciclo de vida de la tecnología una vez que ésta se incorpora en el hospital, se determinaron que los siguientes factores formarían parte del análisis:

- La intensidad de uso de la tecnología.
- El personal involucrado con el uso de la tecnología.
- Los recursos económicos invertidos en la tecnología.
- El requerimiento del mantenimiento de la tecnología.
- El impacto social de la tecnología.

Para cada etapa del ciclo de vida se procedió a analizar el grado de interacción de cada uno de los factores enunciados, tanto de manera individual como por pares.

III. RESULTADOS

Con base en el estudio de los conceptos de ciclo de vida mencionados se propone una definición que se orienta a determinar el comportamiento de la tecnología médica una vez que ésta se encuentra dentro de la institución de salud. Considerando que una tecnología se incorpora en el hospital de manera paulatina, que esta llega a un “máximo” óptimo de utilización dentro del hospital, y que en un momento dado se descontinúa su uso para dar paso a la tecnología de sustitución, la definición propuesta consta de tres fases: Difusión, Utilización y Conservación, y Disposición final. La Fig. 1 presenta las fases del ciclo de vida de la tecnología médica en función de la intensidad de su utilización dentro del hospital.

Para el análisis de los factores de intensidad de uso, mantenimiento, costos e impacto social en cada fase del ciclo de vida propuesto, se elaboraron sendas matrices relacionales. La Tabla 1 muestra las interrelaciones entre los factores para la etapa de difusión, mientras que la Tabla 2 presenta los resultados para la etapa de utilización y conservación, y la Tabla 3 los de la etapa de disposición final.

Fig. 1. Fases del ciclo de vida de la tecnología médica dentro del hospital en función de la intensidad de su uso.

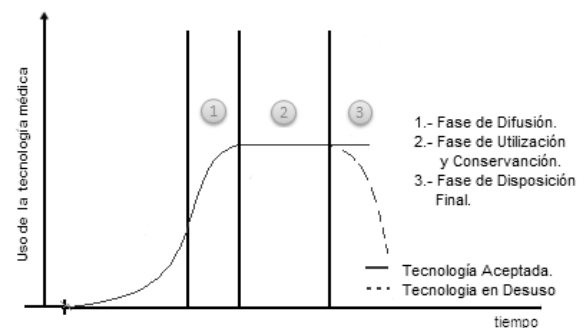


TABLA I
MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE FACTORES DE
VALORACIÓN PARA LA ETAPA DE DIFUSIÓN

Factores	Etapa de difusión			
	Intensidad	Mtto.	Costos	Impacto
Intensidad		1	0	1
Mtto.	1		1	0
Costos	0	1		0
Impacto	1	0	0	

TABLA II
MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE FACTORES DE
VALORACIÓN PARA LA ETAPA DE UTILIZACIÓN Y
CONSERVACIÓN.

Factores	Fase de utilización y conservación.			
	Intensidad	Mtto.	Costos	Impacto
Intensidad		3	2	3
Mtto.	3		3	2
Costos	2	3		2
Impacto	3	2	2	

TABLA III
MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE FACTORES DE
VALORACIÓN PARA LA ETAPA DE DISPOSICIÓN FINAL.

Factores	Etapa de disposición final			
	Intensidad	Mtto.	Costos	Impacto
Intensidad		3	3	3
Mtto.	2		2	2
Costos	2	3		2
Impacto	3	2	3	

Para aquellos factores que guardaban una nula relación se les asignó un valor mínimo (0); el 1 corresponde a una relación de baja intensidad, mientras que el 2 se asignó a aquellos factores que guardan una relación medianamente importante y el 3 representa una completa interrelación entre los factores considerados.

A continuación se describen las etapas del concepto de ciclo de vida propuesto:

1) *Fase de difusión*: En esta fase la tecnología médica se introduce al entorno hospitalario y comienza a ser utilizada en áreas o servicios clínicos específicos. Los aspectos como la efectividad, la utilidad y las consecuencias clínicas que sobre la organización tiene la tecnología son tomados en cuenta para la evaluación de su aceptación en el entorno hospitalario; de esta manera se determinan las condiciones, los mecanismos y las estrategias con las cuales se difundirá la tecnología médica.

El personal involucrado en esta fase incluye al proveedor, los operadores, la parte administrativa y la de conservación o ingeniería biomédica. El proveedor es el encargado de asegurar que el dispositivo médico cumpla con los requerimientos regulatorios exigidos por cada país, proporcionar el soporte o entrenamiento adecuado al usuario sobre el uso y la conservación del equipo y colabora con la instalación de la tecnología en el servicio que la va a utilizar.

Los operadores, directos e indirectos, tanto técnicos como médicos de la tecnología, son los responsables de la utilización de la misma, por lo que deben estar familiarizados con las indicaciones, contraindicaciones y los procedimientos operativos recomendados por los fabricantes. El departamento administrativo es el responsable de comprobar que las condiciones y el periodo de garantía sean los establecidos en el contrato, además de apoyar durante todo el proceso de adquisición, compra e instalación del equipamiento a los que requieran soporte administrativo. Por último, el departamento de conservación o ingeniería biomédica, es el encargado de verificar la instalación, puesta en marcha y funcionamiento de la tecnología, al tiempo de asegurar un apropiado mantenimiento durante la fase presente y las posteriores a la difusión.

La intensidad del uso de la tecnología es baja, debido a que esta apenas comienza a incorporarse a la práctica médica general y aún no se ha convertido en un tratamiento estándar totalmente establecido en todos los servicios clínicos que la requieran. Asimismo, los recursos económicos y las actividades de mantenimiento requeridas en esta fase son mínimas ya que los costos de la tecnología, los consumibles, la instalación, los mantenimientos preventivos y correctivos son absorbidos por las consideraciones asociadas a la etapa previa a la adquisición y están incluidos dentro de la garantía del proveedor.

2) *Fase de utilización y conservación*: En esta fase la tecnología médica se incorpora a la práctica clínica general, quedando ampliamente aceptada como parte de un procedimiento estándar dentro de la institución.

El personal médico y técnico requerido se reduce con respecto a la primera fase, debido a que se tiene pleno conocimiento para operar la tecnología dentro de los parámetros especificados por el fabricante. El personal de ingeniería biomédica juega un papel fundamental en la conservación de la tecnología puesto que los periodos de garantía comienzan a expirar.

Los gastos incurridos en esta fase comienzan a surgir debido a un aumento en las acciones preventivas y correctivas del equipamiento. Un buen análisis previo ofrece una visión general de los recursos económicos que se requieren, así como del servicio para garantizar su correcta funcionalidad y un óptimo desempeño dentro de la institución.

El impacto social que proporciona el uso de la tecnología está definido, como el beneficio a la sociedad en

términos de la población atendida; en esta fase se espera que se tenga un nivel constante y alto de la intensidad de uso de la tecnología y que esto impacte positivamente en el servicio que presta a la población. Dado que dentro de este entorno no se puede separar el componente económico, éste se evalúa a través de los análisis de costo/beneficio, costo/efectividad y costo utilidad.

3) *Fase de disposición final*: En esta fase la tecnología médica actual o sus aplicaciones ya no cumple con los objetivos y los requerimientos clínicos para lo cual fue adquirida y utilizada, por lo que se discontinúa su uso y se sustituye por una opción más adecuada. El personal involucrado en la disposición final incluye a los operadores, la parte administrativa y la parte técnica; todos ellos toman parte en el proceso de baja de la tecnología en desuso y la sustitución por una más actualizada. Con respecto al impacto social que brinda la tecnología, ésta queda reducida de manera significativa en proporción a la disminución de su uso hasta llegar a su completo reemplazo.

IV. DISCUSIÓN

A fin de tener una visión clara de la situación de los servicios de salud con respecto a sus recursos tecnológicos, es demandante contar con información de su desempeño bajo diferentes perspectivas una vez que ésta se encuentra operando de manera regular en el hospital. El concepto de ciclo de vida permite organizar dicha información en los tiempos asociados a las fases que establece. La definición de las tres fases en el concepto de ciclo de vida propuesto incorpora la información técnica y económica, y la integra junto con la información clínica para dar una idea más apegada a la realidad de cómo se encuentra el funcionamiento de las tecnologías, otorgando una fuente adicional de apoyo para los análisis costo-efectividad que se realizan con fines de evaluación.

Uno de los requerimientos que se deben tomar en cuenta para que el ciclo de vida de la tecnología dentro del hospital sea válido se relaciona con los procesos de evaluación y adquisición. Ambos deben haberse realizado a la entera satisfacción del cliente, en este caso la institución de salud, cumpliendo con los requerimientos determinados por las necesidades definidas inicialmente y tomando en cuenta los aspectos de servicio y financiamiento pactados. De esta forma se contaría con una base preliminar de información relacionada al rendimiento de la tecnología, la cual formaría parte de las condiciones iniciales con las que cada factor, económico, técnico y clínico, partiría para realizar los análisis que se vayan requiriendo.

La propuesta de ciclo de vida dentro del entorno hospitalario surge como una respuesta a la necesidad de analizar los aspectos relevantes de la tecnología en periodos específicos y con la finalidad de planear las sustituciones de mejor manera optimizando el recurso.

V. CONCLUSIÓN

El concepto de ciclo de vida permite analizar el comportamiento de la tecnología médica generando información de apoyo a la toma de decisiones. Dentro del hospital, el concepto de ciclo de vida revelará las tendencias en el comportamiento de las tecnologías y generarán las bases para el desarrollo de sistemas de control más apegados a las situaciones reales. La definición propuesta integra las diferentes perspectivas que permiten darle un mejor tratamiento a los problemas relacionados con la tecnología médica.

La caracterización de los parámetros definidos en cada etapa del ciclo de vida se pueden utilizar como indicadores para apreciar el rendimiento de la tecnología dentro del hospital, identificar oportunamente las dificultades que se pueden presentar con respecto al uso y conservación de las tecnologías, y proporcionar información de valor que soporte decisiones relacionadas con el cambio de tecnologías. Actualmente, se está trabajando en el desarrollo de un sistema de gestión tecnológica que integre el concepto de ciclo de vida propuesto.

RECONOCIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento y agradecimiento al Centro Nacional de Investigación en Instrumentación e Imagenología Médica de la Universidad Autónoma Metropolitana UAM-I, en México D.F., a la Universidad Autónoma del Caribe, en Barranquilla - Colombia y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT, por su colaboración y apoyo en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Y. David, T. M. Judd., "Management and Assessment of Medical Technology," en *The Biomedical Engineering Handbook*, J. Bronzino, Ed. CRC Press, 2000, pp.168-1.
- [2] U.S. Congress, Office of Technology Assessment, "Assessing the efficacy and safety of medical technologies," Washington, Report No: OTA-H-75, 1978, pp.14.
- [3] M. Cheng, "Medical Device Regulation: Global overview and guiding principles," World Health Organization, Geneve, 2003, pp.8-9.
- [4] E. Geisler and O. Heller, "Management of Medical Technology: An emerging intellectual space," en *Management of medical Technology: Theory, practice and cases*, Ed. Kluwer Academic Publisher, 1998.
- [5] C. Jiménez. "Revisión Sistemática y Efectividad Clínica," presentado en el 3er Foro Nacional de Tecnología para la Salud, México, 2007.
- [6] M. Otalvaro, "Gestión y evaluación de tecnología en salud y avances en cada una de ellas," presentado en Mesa de trabajo: Así vamos en salud, Colombia, 2007. Disponible en: <http://www.asivamosensalud.org>.

Encuesta No. 1. Elementos para la valoración de la conservación de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3)

Parámetro	Elementos	Valoración
Conservación	<p>1. Indique el departamento o servicio responsable de actividades de mantenimiento de la tecnología dentro de la Institución. C: Responsable de asignación de actividades y toma de decisiones referente al mantenimiento de la tecnología diagnóstica dentro de la Institución.</p>	<p>Si Cuenta <input checked="" type="checkbox"/> No cuenta <input type="checkbox"/> *Ns <input type="checkbox"/> Especifique Departamento: <u>Ingeniería Biomédica</u> Servicio _____ Otro ¿Cuál? _____ Comentario: El departamento de Ing. Biomédica realiza el mantenimiento de la mayoría de equipos del instituto. En los equipos de gama alta (sistema de rayos X y Tomografía) el mantenimiento preventivo y correctivo es realizado por General Electric. La garantía ofrecida es por concepto de mano de obra y por refacciones que se requieran en los mantenimientos. Tiene varias exclusiones: no hay garantía por tubos de rayos X, cabezal de inyección de contraste, etc. *Ns. No sabe</p>
	<p>2. ¿Tipo de personal encargado de la gestión de mantenimiento de la tecnología dentro de la Institución? C: La Institución cuenta con un personal profesional o técnico que realice el mantenimiento preventivo y/o correctivo de los equipos de diagnóstico o el soporte lo realiza personal externo.</p>	<p>Tipo de personal Interno <input type="checkbox"/> Externo <input type="checkbox"/> Ambos <input checked="" type="checkbox"/> Cantidad No técnicos: <u>4</u> No Ingenieros: <u>6</u> Comentario: El mantenimiento del tomógrafo es realizado por General Electric, el cual tiene 4 ingenieros de soporte para el equipo. El departamento se encarga de reportar y verificar los mantenimientos preventivos y correctivos. Cuenta con 6 ingenieros para el soporte de los equipos médicos instalados en el instituto</p>
	<p>3. ¿Existe programa de actividades de inspección y mantenimiento preventivo de la tecnología diagnóstica dentro de la Institución? C: Se tienen un cronograma de actividades de inspección y mantenimiento preventivo de la tecnología programada o registradas.</p>	<p>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Ns. <input type="checkbox"/> Comentarios: Para el tomógrafo el programa de actividades de inspección y mantenimiento preventivo (PIMP) es propuesto por el proveedor de soporte técnico (GE) en conjunto con el departamento de Ingeniería Biomédica de la institución. Asimismo para los sistemas de rayos X, el proveedor de soporte propone el PIMP.</p>
	<p>4. ¿Los procedimientos de mantenimiento están incluidos en el programa de aseguramiento de calidad de la institución? C: ¿Los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo de la tecnología diagnóstica se describen en un programa de aseguramiento de calidad de la institución?</p>	<p>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Ns. <input type="checkbox"/> Comentario El instituto cuenta con certificación de ISO 9000 vigente.</p>

Encuesta No. 1. Elementos para la valoración de la conservación de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3)

5. Mencione las actividades que frecuentemente se realizan en el mantenimiento preventivo y correctivo de la tecnología dentro de la institución y la frecuencia con que se realizan.

C: Realice una breve descripción general del trabajo o actividades realizadas, las piezas que fueron reemplazadas, los insumos y los ajustes que generalmente se le realizan a la tecnología. Si la tecnología cuenta con garantía indique las fechas o frecuencias en la cuales se realizan los mantenimientos preventivos

Descripción general del trabajo realizado:

1. Mantenimiento preventivo de Rayos X. Frecuencia de MP : 3 veces al año

Indique las actividades realizadas en un mantenimiento preventivo

Rayos X

- Limpieza Externa.
- Pruebas de verificación de los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos.
- Pruebas con los rayos X, CBA, CDA.

2. Mantenimiento preventivo de Tomografía Frecuencia de MP : 2 veces al año

Tomografía

- Limpieza de consola, CPU y reconstructores.
- Verificación de funcionamiento de software y aplicaciones.
- Verificación del funcionamiento de Gantry y la mesa del paciente.
- Pruebas con phantom de agua para la calibración.
- Actualizaciones del software.

<u>Equipo de Diagnóstico</u>	<u>Modelo</u>	<u>Frecuencia de Mitto</u>
Rayos x	Shimadzu RS 110	2 veces al año
Rayos x	Shimadzu RS 110	2 veces al año
Rayos x	Shimadzu RS 110	2 veces al año
Tomografía	General Electric	3 veces al año

6. ¿Indique cuales son las fallas más comunes o recurrentes de los equipos de imágenes diagnósticas?

Sistema de exploración por tomografía Computarizada:

Problemas con la transferencia de imágenes.

Problemas con el software.

Sistemas de rayos X

Circuito de fuentes de alimentación

Calibración de los kilovoltajes

Calibra tubo 2

Sustitución de foco

Se revisa sistema electrónico

pruebas de funcionamiento

7. ¿Cómo se solicita un servicio técnico al departamento de mantenimiento cuando la tecnología falla?

C: ¿Cómo es la Gestión de un servicio clínico cuando requiere un servicio de mantenimiento?

Indique la Gestión del servicio clínico cuando requiere el servicio de mantenimiento.

Equipos de Tomografía y Rayos X

1. El técnico radiólogo reporta el daño o la falla al dpto. de Ingeniería biomédica.
2. El dpto. de Ingeniería biomédica toma los datos del solicitante, reporta de la falla y se asigna a un folio.

Encuesta No. 1. Elementos para la valoración de la conservación de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3)

- 3. El dpto. de Ingeniería biomédica (DIB) se encarga de contactar al proveedor del equipo
- 4. El proveedor del soporte técnico realiza el mantenimiento del equipo.
- 5. El DIB verifica el trabajo realizado y genera el reporte de mantenimiento.

Intensidad del mantenimiento:

Mantenimiento Preventivo	(1) Tomógrafo	(5) Rayos x
Intensivo		
Medio		X
Mínimo	X	
Mantenimiento Correctivo		
Mayor		
Mediano		X
Menor	X	

8. Requerimientos de mantenimiento.
 C: Profundidad en la inspección y en el mantenimiento preventivo y correctivo de la tecnología
 Frecuencia de inspección y mantenimiento de la tecnología recomendada por el fabricante en comparación con el que realiza por el personal encargado de esta actividad en el hospital.

Comentarios:

Mantenimiento Extensivo
 Limpieza permanente por contacto con fluidos corporales
Mantenimiento Medio
 Calibraciones de rutina o chequeos funcionales
 Reemplazo y actualización de componentes
 Lubricación periódica
Mantenimiento Mínimo
 Verificación y limpieza general (externa o interna)
 Revisión de modos de operación
 Chequeo de continuidad a tierra

- **Mayor**
 Es aquel que se demora un tiempo más allá del razonable y repercute en altos costos.
- **Mediano**
 Es aquel que se demora un tiempo dentro los niveles razonables esperados.
- **Menor**
 Es aquel que se demora un tiempo por debajo de los niveles esperados

Comentarios:

El tiempo promedio para realizar el mantenimiento preventivo son de 9 horas. En la garantía se estable que el tiempo de respuesta para el mantenimiento preventivo y correctivo es de 24 horas.

9. Describa el organigrama interno del departamento de mantenimiento y su interrelación con otros servicios

Indique el diagrama interno del departamento o servicio encargado de realizar las actividades de mantenimiento.

Personal externo

- (1) Jefe de Mantenimiento
- (4) Técnicos de servicio (6) Ingenieros de servicio .

Encuesta No. 1. Elementos para la valoración de la conservación de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3)

	<p>10. ¿Existe un control de reportes de mantenimiento de la tecnología diagnóstica? C: Bitácora de mantenimiento, reporte de las actividades de Mtto preventivo o correctivos de la tecnología en el servicio clínico.</p>	<p>Si : X No <input type="checkbox"/> Ns <input type="checkbox"/></p> <p>Responsable del control y verificación de las actividades de mantenimiento de la institución: Dpto. de Ingeniería Biomédica Comentarios: No se pudo acceder a la información de las bitácoras de mantenimiento. Personal encargado estaba ocupado. Solo se accedió a la información del 2007.</p>																		
	<p>11. Porcentaje de tiempo fuera de servicio por falla o mal uso durante un año. Tiempo promedio de reparación cuando el equipo presenta una falla en un periodo de año meses. Tiempo promedio en que el equipo permanece fuera de servicio cuando se realiza el mantenimiento preventivo (MP). En una acción correctiva (MC) frecuente indique el tiempo promedio.</p>	<p>Tomografía</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo promedio de una reparación mínima para MP: 8 Horas. • Tiempo promedio de una reparación mínima para MC.: 4 Horas. • Tiempo promedio fuera de servicio por falla o mal uso durante un año: No se tienen datos • Tiempo de respuesta del proveedor para insumos y piezas y repuesto. 24 Horas. 																		
	<p>12. ¿La tecnología cuenta con la garantía del fabricante? Tiempo de garantía dada por el fabricante del equipo.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de Garantía</th> <th>Rayos X</th> <th>Tomografía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Solo soporte técnico.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Refacciones</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ambos</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otro tipo cuál?</td> <td>NA</td> <td>NA</td> </tr> <tr> <td>Periodo de garantía:</td> <td>NA</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>No cuenta. Cuenta con un servicio integral para las reveladoras de placa e insumos.</p>	Tipo de Garantía	Rayos X	Tomografía	Solo soporte técnico.			Refacciones			Ambos			Otro tipo cuál?	NA	NA	Periodo de garantía:	NA	
Tipo de Garantía	Rayos X	Tomografía																		
Solo soporte técnico.																				
Refacciones																				
Ambos																				
Otro tipo cuál?	NA	NA																		
Periodo de garantía:	NA																			
	<p>13. Documentación de incidentes o número de fallas que presenta la tecnología en el servicio radiológico.</p>	<p>Número de eventos correctivos que se dan durante una ventana de observación:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Equipo</th> <th>Periodo</th> <th>No de eventos correctivos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shimadzu (1 sala)</td> <td>2007</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Shimadzu (4 sala)</td> <td>2007</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>Shimadzu (3 sala)</td> <td>2007</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>Tomografía</td> <td>2009</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Equipo	Periodo	No de eventos correctivos	Shimadzu (1 sala)	2007	12	Shimadzu (4 sala)	2007	14	Shimadzu (3 sala)	2007	16	Tomografía	2009	2			
Equipo	Periodo	No de eventos correctivos																		
Shimadzu (1 sala)	2007	12																		
Shimadzu (4 sala)	2007	14																		
Shimadzu (3 sala)	2007	16																		
Tomografía	2009	2																		
	<p>14. Tipo de pruebas técnicas más utilizadas en la conservación (calibración, inspección y verificación del funcionamiento) de la tecnología diagnóstica en cuestión.</p>	<p>Enumere pruebas técnicas más empleadas en el mantenimiento del equipo</p> <p>Comentarios</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Calibración 2. Mantenimiento correctivo 3. Revisión periódica 																		

Encuesta No. 1. Elementos para la valoración de la conservación de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3)**15. Riesgo clínicos**

Considera los resultados que la falla o interrupción en la operación del equipo puede provocar en el operario o el paciente.

Especifique el tipo de riesgo del equipo:

- Equipo de Alto Riesgo
 Equipo de Mediano Riesgo
 Equipos de bajo Riesgo

Clasificación:**Equipos de bajo Riesgo**

Riesgos insignificantes

Equipos de Mediano Riesgo

Impacto significativo al paciente o al operador

Tratamiento inapropiado o diagnóstico erróneo

Equipos de Alto Riesgo

Muerte al paciente u operador

Heridas al paciente u operador

Comentarios:

Ningún reporte de incidentes reportado.

ENCUESTA 2. Elementos para la valoración de los costos de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3).

Parámetro	Elementos	Descripción												
	<p>1. Costos de exámenes para estudios simples y especiales.</p>	<p>Indicar el costo promedio de lo examen radiológico:</p> <p>Comentarios: Sistemas de Rayos X Estudios simples* : \$9.00 a \$453 pesos mxn Estudios especiales*: \$19.00 a \$1422 pesos mxn Tomografía Computada Estudio simples*: \$ 100 a \$2.500 mxn Estudios contrastado*: \$110 a \$2.800 mxn</p> <p>Comentario: Los costos de los diferentes estudios varían dependiendo del nivel socioeconómico en el que se encuentre en relación con su salario laboral. Una vez que se estima este rango se le indica al paciente la cuota que debe pagar.</p>												
<p>Costos</p>	<p>2. Costos relacionados con el mantenimiento de la tecnología diagnóstica.</p>	<p>Costo promedio relacionado con el mantenimiento preventivo de la tecnología :</p> <table border="1" data-bbox="732 142 841 1024"> <thead> <tr> <th>EQUIPO</th> <th>MODELO</th> <th>MARCA</th> <th>MITO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(3) Rayos x</td> <td>RS110</td> <td>Shimadzu</td> <td>\$325,397.mxn</td> </tr> <tr> <td>Tomografía</td> <td>Light Speed 64</td> <td>General Electric</td> <td>No se encontró</td> </tr> </tbody> </table>	EQUIPO	MODELO	MARCA	MITO	(3) Rayos x	RS110	Shimadzu	\$325,397.mxn	Tomografía	Light Speed 64	General Electric	No se encontró
	EQUIPO	MODELO	MARCA	MITO										
(3) Rayos x	RS110	Shimadzu	\$325,397.mxn											
Tomografía	Light Speed 64	General Electric	No se encontró											
	<p>3. Costos de materiales y partes reemplazadas utilizadas en la conservación de la tecnología diagnóstica.</p>	<p>Costos de Dispositivos, instrumentos, insumos, accesorios repuestos, partes, etc. Utilizados en el mantenimiento de la tecnología en estudio.</p> <p>Comentarios: Los costos de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo son asumidos por el proveedor de soporte técnico, así como las refacciones y repuestos necesarios. Los costos de las reparaciones no se manejan en el departamento de Ing. Biomédica ni en el servicio. Son enviados al departamento administrativo. Además, no se cuenta con un control de reporte estricto indique las partes reemplazadas y los materiales utilizados.</p>												
	<p>4. Costos en insumos necesarios para utilizar la tecnología.</p>	<p>Costo promedio en insumos de la tecnología que se requieren comprar para utilizar la tecnología.</p> <p>Comentarios: El costo por las placas térmicas y las impresoras son asumidos por un servicio integral contratado por la institución. El costo promedio por radiografía es de \$79 mxn (Incluye todo).*</p>												

ENCUESTA 2. Elementos para la valoración de los costos de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3).

	<p>5. Costos relativos al personal que opera esta tecnología.</p>	<p>Costo por mensual del personal que opera este tipo de tecnología. Comentarios :</p> <table border="1" data-bbox="315 142 467 1024"> <thead> <tr> <th>Personal</th> <th>\$ Salario (Rayos X) MXN</th> <th>\$ Salario (Tomografía) MXN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Técnico Radiólogo</td> <td>\$10.077</td> <td>\$ 9.000</td> </tr> <tr> <td>Médico Radiólogo</td> <td>\$25,509.00</td> <td>\$ 20.000</td> </tr> <tr> <td>Enfermera</td> <td>\$ 9.500</td> <td>\$ 9.500</td> </tr> </tbody> </table>	Personal	\$ Salario (Rayos X) MXN	\$ Salario (Tomografía) MXN	Técnico Radiólogo	\$10.077	\$ 9.000	Médico Radiólogo	\$25,509.00	\$ 20.000	Enfermera	\$ 9.500	\$ 9.500
Personal	\$ Salario (Rayos X) MXN	\$ Salario (Tomografía) MXN												
Técnico Radiólogo	\$10.077	\$ 9.000												
Médico Radiólogo	\$25,509.00	\$ 20.000												
Enfermera	\$ 9.500	\$ 9.500												
<p>6. Costos relativos al personal que realiza el mantenimiento preventivo y correctivo de la tecnología.</p>		<p>Costo por hora del ingeniero /técnico encargado de mantenimiento de la tecnología. \$77.28*</p> <p>Comentarios: Salario del Ingeniero encargado del mantenimiento: \$ NA mensualidad. Técnico de mantenimiento: \$ NA mensualidad.</p>												
<p>7. Costos de otro tipo de personal (técnico o profesional) que interviene en el servicio de radiología. C: Gastos de personal de apoyo necesarios para el correcto funcionamiento de la tecnología dentro del hospital.</p>		<p>Personal de apoyo involucrado con el servicio:</p> <table border="1" data-bbox="717 411 782 1024"> <thead> <tr> <th>Personal</th> <th>Salario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Auxiliar de administración</td> <td>\$ 7.291</td> </tr> </tbody> </table>	Personal	Salario	Auxiliar de administración	\$ 7.291								
Personal	Salario													
Auxiliar de administración	\$ 7.291													
<p>8. Costos relativos que conllevarían un fallo o daño de la tecnología en el servicio radiológico. C: De que manera afectarían económicamente un fallo o daño del equipo en el servicio clínico.</p>		<p>Describir los costos relativos debido a una falla evento Comentarios Cuenta con un servicio integral. No se puede hacer el análisis debido a que no se cuenta con los datos financieros en el departamento. La información no se encuentra centralizada.</p>												
<p>9. Describir los indicadores de productividad utilizados en el servicio de radiología y cuales serían afectados por una falla o un paro eventual de la tecnología</p>		<p>Describir de manera general los indicadores de productividad manejados en la Institución de Salud</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudios realizados por técnico radiólogo • Pacientes atendidos por técnico radiólogo • Estudios realizados por área. • Estudios realizados por servicio 												

ENCUESTA 2. Elementos para la valoración de los costos de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3).

	<p>10. Impacto de la tecnología en los costos indirectos del servicio radiológicos. C: Costos indirectos incluidos asociados a la pérdida de producción. Ausencia temporal del paciente al trabajo debido a la enfermedad, Reducción capacidad de trabajo debido a la enfermedad, etc.</p>	<p>Indicar tipos de costos indirectos involucrados con el servicio de radiología.</p> <p>Comentario: Impacto directo en el diagnóstico y el tratamiento paciente por no realizarse el estudio. Largo tiempo de espera en asignarle una nueva cita al paciente. Es complicado realizar un análisis general en el sector público debido a la variabilidad de los precios y costos que se manejan.</p>															
	<p>11. Costo de adquisición del equipo de diagnóstico.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Equipo</th> <th>Modelo</th> <th>Precio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rayos X</td> <td>RS110 Shimadzu</td> <td>\$ 2.121.610 pesos mxn</td> </tr> <tr> <td>Rayos X</td> <td>RS110 Shimadzu</td> <td>\$ 2.121.610 pesos mxn</td> </tr> <tr> <td>Rayos X</td> <td>RS110 Shimadzu</td> <td>\$ 2.121.610 pesos mxn</td> </tr> <tr> <td>Tomografía</td> <td>VTC General Electric</td> <td>\$ 5.590.000 pesos mxn</td> </tr> </tbody> </table>	Equipo	Modelo	Precio	Rayos X	RS110 Shimadzu	\$ 2.121.610 pesos mxn	Rayos X	RS110 Shimadzu	\$ 2.121.610 pesos mxn	Rayos X	RS110 Shimadzu	\$ 2.121.610 pesos mxn	Tomografía	VTC General Electric	\$ 5.590.000 pesos mxn
Equipo	Modelo	Precio															
Rayos X	RS110 Shimadzu	\$ 2.121.610 pesos mxn															
Rayos X	RS110 Shimadzu	\$ 2.121.610 pesos mxn															
Rayos X	RS110 Shimadzu	\$ 2.121.610 pesos mxn															
Tomografía	VTC General Electric	\$ 5.590.000 pesos mxn															

ENCUESTA 3. Elementos para la valoración del impacto de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3).

Parámetro	Elementos	Descripción
Impacto	<p>1. Tipo de población (pacientes) que se le puede aplicar este tipo de tecnología. C: Población de pacientes que se le aplica la tecnología, e indicar los padecimientos o enfermedades más comunes en los cuales se usa en la institución de salud.</p>	<p>Tipo de población: Rayos X: La pacientes que necesiten realizarse estudios anatómico. En general todas las personas se pueden someter a estos estudios. Tomografía Computarizada: Aplicación de estudio funcional, este tipo de estudio depende de la patología del paciente. En general todas las personas se pueden someter a estos estudios Comentarios: Para estudios que estudios de tomografía y radiográficos se recomienda no realizarse en mujeres embarazadas debido a las radiaciones emitidas directamente al feto.</p>
	<p>2. ¿Requieren los pacientes de algún tipo de protección especial contra radiación cuando se realiza un estudio específico?</p>	<p>No requiere Si requiere X Cuál: <u>Mujeres embarazadas mampara plomada o un mandil.</u> Comentarios: La protección al paciente se puede realizar colimando el área específica que se quiere radiar y sometiendo al paciente al mínimo de tiempo a la radiación ionizante. El operador requiere ni chaleco plomado algunas veces guantes de protección debido al tipo de estudios que se realizan en la institución. .</p>
	<p>3. ¿Cuál es la mortalidad relacionada con el uso de la tecnología diagnóstica? C: Efectos adversos (muerte) que puede causar la tecnología diagnóstica cuando interactúa con el paciente.</p>	<p>No presenta X Si presenta <input type="checkbox"/> Indique No de incidentes: <u>Ninguno reportado</u> Comentarios Hasta la fecha no se ha presentado ninguna muerte o eventos adversos en los pacientes que utilizan este tipo de tecnología, ni en el personal médico y asistencial.</p>
	<p>4. Tipo de estudios que son más comunes de realizar con la tecnología analizada</p>	<p>Mencione los tipos de estudios: Tomografía Computada Estudios de oídos Extremidades superiores e inferior Tórax Pelvis Rayos X Columna vertebral Radiografía de torax Radiografía de extremidades Radiografica de abdomen Radiografica de Pelvis</p>

ENCUESTA 3. Elementos para la valoración del impacto de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3).

5. Indicar las consecuencias clínicas de tener un resultado falso positivo o un falso negativo.
 C: ¿Qué tipo de consecuencias provocaría la tecnología en la calidad de vida del paciente un resultado falso positivo o un falso negativo?

Indique consecuencias si se tiene un :

Para estudios con equipos de **Tomografía y Rayos X**

Falso negativo:

- Se repite el estudio al paciente, por lo tanto se radia nuevamente al paciente.
- Se realizan estudios alternos, como RMN o Ultrasonido.

Falso positivo:

- Se repite el estudio al paciente, por lo tanto se radia nuevamente al paciente.
- Se realizan estudios alternos, como RMN o Ultrasonidos.

6. Daños directos e indirectos que puede provocar la tecnología al paciente, al operador y los visitantes.

Tipo de daño	RX	TC
No produce daño	X	X
Produce daño		

A largo plazo produce diversas enfermedades por exposición a las radiación continua: anquilosis, anemia, gangrena. Para el caso de tomografía puede desarrollar un potencial cancer

Seleccione algunos:

- Mortalidad o morbilidad causada por fallos o el uso inadecuado de tecnología RX TC
- Incapacidad debido a la radiación. X X
- Toxicidad por medios de contraste X X
- Lesiones debido a la invasividad de la tecnología.
- Daños causados al individuo debido al manejo
- Inadecuado de la tecnología.
- OtroCuál ? Anemia, gangrena de las extremidades, Cancer, anquilosis

Comentarios:

No existe daños a corto plazo por efectos de la radiación, los equipos actuales de rayos x cuentan con diseños muy eficiente para brindar protección y seguridad radiológica a pacientes y usuarios.

7. Severidad del daño que puede causar la tecnología diagnóstica si se presenta una falla o un manejo inadecuado de la misma.
 C: Daños reportados por el personal tecnico, ingeniero, médico que opera la tecnología.
 Daños reportados por el personal que le realiza el mantenimiento de la tecnología.

Indique:

Severidad	RX	TC
Alta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Media	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Baja	X	X

ENCUESTA 3. Elementos para la valoración del impacto de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3).

<p>8. ¿Existe una evidencia de riesgos ambientales debido al uso de la tecnología diagnóstica?</p>	<p>Riesgos ambientales que implicaría si ocurriera un daño o un fallo en la tecnología.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para el control ambiental solo se utilizan los dosímetros ambientales. • Dosímetros personales. • Blindaje con baritado en las salas <p>Comentarios: No existen daños ambientales reportados por el uso de tecnología diagnóstica, ya que se cuenta con un cálculo de blindaje muy efectivo para protección de usuarios y pacientes</p>
<p>9. Consecuencias negativas reportadas más allá del retraso en el tratamiento de los pacientes, de tener un resultado falso negativo y falso positivo.</p>	<p>Indicar consecuencias: Tomografía y Rayos X</p> <ul style="list-style-type: none"> • El paciente no tiene el diagnóstico a tiempo. • El paciente tiene que costear nuevamente su transporte • En ciertas ocasiones el paciente paga por el estudio en otra institución. • Se debe reprogramar la cita (aumenta el tiempo para practicar el estudio).
<p>10. ¿Los resultados que proporciona la tecnología podría modificar la necesidad de hospitalizar al paciente?</p>	<p>RX TC Si X X No <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Comentario:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El diagnóstico oportuno puede permitir o no que el paciente sea remitido a hospitalización. • Los resultados pueden servir para programar una cirugía u otro tipo de intervención quirúrgica.
<p>11. ¿Los resultados que proporciona la tecnología podría modificar un procedimiento o intervenciones subsiguientes aplicadas al paciente?</p>	<p>Los resultados obtenidos afectan o ayudan</p> <p>RX TC Si X X No <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Comentarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los resultados pueden servir para programar una cirugía u otro tipo de intervención quirúrgica. • Los resultados para el caso particular sirven para ortopedia y otorrino.
<p>12. Identificar el flujo de trabajo del servicio clínico, el flujo de paciente y los procesos llevados a cabo por los mismos.</p>	<p>Indique el flujoograma de actividades del servicio o departamento. Flujoograma de actividades de Rayos X Jefe de servicio Medicos radiologos Coordinador de tecnicos radiologos Tecnicos radiologos Enfermera</p>

ENCUESTA 3. Elementos para la valoración del impacto de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3).

	<p>Recepcionista Flujograma de actividades de Tomografía Director general Director medico Subdirector de auxiliar de diagnóstico. Jefe de division de imagenes diagnóstica Medico radiólogo Tecnico radiólogo Enfermera Recepcionista</p>															
	<p>Mencione tipo de personal con que cuenta el personal: Para Rayos X y Tomografía</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Personal</th> <th style="width: 40%;">Radiología</th> <th style="width: 30%;">Tomografía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Médicos</td> <td>(4) Médicos 1 jefe de radiología y 3 médicos adscritos</td> <td>4 Médicos</td> </tr> <tr> <td>Técnicos</td> <td>(30) Técnicos Técnicos radiólogos de turno matutino, vespertino, jornada acumulada y nocturno</td> <td>4 Técnicos</td> </tr> <tr> <td>Administrativo</td> <td>(2) administrativo para turno matutino y vespertino</td> <td>2 administrativo</td> </tr> <tr> <td>Otros</td> <td>1 enfermera especialista para apoyo en estudios especiales</td> <td>2 enfermeras</td> </tr> </tbody> </table>	Personal	Radiología	Tomografía	Médicos	(4) Médicos 1 jefe de radiología y 3 médicos adscritos	4 Médicos	Técnicos	(30) Técnicos Técnicos radiólogos de turno matutino, vespertino, jornada acumulada y nocturno	4 Técnicos	Administrativo	(2) administrativo para turno matutino y vespertino	2 administrativo	Otros	1 enfermera especialista para apoyo en estudios especiales	2 enfermeras
Personal	Radiología	Tomografía														
Médicos	(4) Médicos 1 jefe de radiología y 3 médicos adscritos	4 Médicos														
Técnicos	(30) Técnicos Técnicos radiólogos de turno matutino, vespertino, jornada acumulada y nocturno	4 Técnicos														
Administrativo	(2) administrativo para turno matutino y vespertino	2 administrativo														
Otros	1 enfermera especialista para apoyo en estudios especiales	2 enfermeras														
<p>13. Identificar el tipo de personal, la capacitación o el entrenamiento y otros factores humanos que son requeridos para prestar el servicio clínico. C: Indicar el tipo de capacitación o perfil del personal asistencial, técnico y médico que cuenta el servicio de radiología en la institución.</p>																
<p>14. Tipo de herramientas informáticas con que cuenta la institución para realizar la gestión del servicio de radiología. C: Software, programas, herramientas para procesar, visualizar y modificar las imágenes obtenidas en el caso de Rayos X Computado o Digital y Tomografía.</p>	<p>Mencione las herramientas utilizadas:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Software</th> <th style="width: 70%;">Función</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RIS</td> <td>Realizar citas a pacientes de consulta externa</td> </tr> <tr> <td>Office xp</td> <td>Realizar estadística de estudios realizados y reportes de interpretación de estudios especiales</td> </tr> <tr> <td>NX-AGFA</td> <td>Visualización de imágenes</td> </tr> </tbody> </table>	Software	Función	RIS	Realizar citas a pacientes de consulta externa	Office xp	Realizar estadística de estudios realizados y reportes de interpretación de estudios especiales	NX-AGFA	Visualización de imágenes							
Software	Función															
RIS	Realizar citas a pacientes de consulta externa															
Office xp	Realizar estadística de estudios realizados y reportes de interpretación de estudios especiales															
NX-AGFA	Visualización de imágenes															
<p>15. Grado de aceptación de la tecnología en el servicio clínico y el hospital. (Tanto por el personal médico, técnico, asistencial y el paciente) C: Aceptación desde el punto de vista del: usuario, paciente, Hospital (organización).</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Conformidad</th> <th style="width: 30%;">Rayos X</th> <th style="width: 40%;">Tomografía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>No aceptada por el personal médico.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No Aceptada por el paciente</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aceptada con algunas observaciones.</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Plenamente aceptada</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> </tbody> </table>	Conformidad	Rayos X	Tomografía	No aceptada por el personal médico.			No Aceptada por el paciente			Aceptada con algunas observaciones.	X		Plenamente aceptada		X
Conformidad	Rayos X	Tomografía														
No aceptada por el personal médico.																
No Aceptada por el paciente																
Aceptada con algunas observaciones.	X															
Plenamente aceptada		X														

ENCUESTA 3. Elementos para la valoración del impacto de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3).

	<p>16. ¿Quién decide si a un paciente se le realiza un tratamiento o no y cuáles son sus criterios? C: Departamento o personal que toma las decisiones referentes a los tratamientos o procedimientos que se llevan a cabo en el servicio radiológico.</p> <p>17. Problemas más relevantes de gestión y organización que generalmente se presentan en el servicio clínico. ■ Por ejemplo: Gestión de recursos económicos y Coordinación en las actividades del servicio.</p> <p>18. Consecuencias y efectos que provoca si la tecnología falla o está fuera de servicio. C: Una falla temporal del servicio o de un equipo de diagnóstico que consecuencia traería a la institución.</p> <p>19. Tipos de servicio clínicos que utilizan esta tecnología diagnóstica.</p>	<p>Comentarios: Rayos X:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fallas del equipo (fabricante). • Errores en la imagen tomadas (artefactos en la imagen) <p>Comentarios: Rayos X y Tomografía El médico tratante decide qué tipo de tratamiento se le realiza al paciente, el médico o técnico radiólogo sólo realiza lo que la solicitud del paciente indica</p> <p>Mencione diferentes inconvenientes que se presentan en el servicio clínico (Organizacionales, tecnológicos, infraestructura y de personal). Comentario: Rayos X</p> <ul style="list-style-type: none"> • El mayor inconveniente es el ausentismo del personal, ya que concentra la carga de trabajo en el servicio de radiología. • El paciente confunde la fecha de la cita. Colocar la cita en un lugar visible. • El tiempo de respuesta para realizar un servicio mantenimiento de los equipos. • Insumos insuficientes para realizar los estudios. <p>Tomografía</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faltas de recursos o materiales a tiempo para realizar los estudios. <p>Consecuencias: Retraso en los estudios que están planificados ese día. X Repercusiones financieras (disminución de ingresos a la institución). <input type="checkbox"/> Otros. ¿Cuál? _____</p> <p>Mencione los servicios: Comentarios: Todos los servicios clínicos del instituto. Servicios Ortopedia Medicina de rehabilitación Comunicación Humana Otorrino y oftalmología Consulta externa Urgencia Hospitalización</p>
--	--	---

ENCUESTA 3. Elementos para la valoración del impacto de la tecnología diagnóstica (Hospital No. 3).

	<p>20. Tipo de restricciones para utilizar la tecnología diagnóstica C: Mencione algunas restricciones que impedirían realizar un estudio radiológico a un paciente. (Recursos tecnológicos y de infraestructura padecimiento del paciente, estadios de la enfermedad, etc.)</p>	<table border="1" data-bbox="228 758 350 1129"> <tr> <td></td> <td>Rayos X</td> <td>Tomografía</td> </tr> <tr> <td>Existe</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No existe</td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>NS/NR</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Comentarios Restricciones en Rayos X</p> <ul style="list-style-type: none"> • Que el paciente tenga signos vitales alterados cuando se le vaya a realizar un estudio especial. • El equipo de rayos x no funcione. <p>Si cuenta X No cuenta <input type="checkbox"/> NS/NR <input type="checkbox"/></p> <p>Comentarios: Certificación ISO 9000</p>		Rayos X	Tomografía	Existe	X		No existe		X	NS/NR		
	Rayos X	Tomografía												
Existe	X													
No existe		X												
NS/NR														
<p>21. La institución cuenta con un Sistema de calidad en salud (ISO 9000) o de mejoramiento continuo.</p>														

Parámetro	Elementos	Descripción												
	<p>1. Volumen de exámenes radiológicos en el servicio.</p>	<table border="1" data-bbox="293 373 444 999"> <thead> <tr> <th data-bbox="293 373 350 999">Volúmenes de exámenes</th> <th data-bbox="350 373 386 999">Rayos X</th> <th data-bbox="386 373 444 999">Tomografía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="350 373 386 453">No exámenes (2008)</td> <td data-bbox="350 453 386 520">90886</td> <td data-bbox="350 520 386 575">4674</td> </tr> <tr> <td data-bbox="386 373 415 999">No de exámenes especiales (2008)</td> <td data-bbox="386 453 415 520">252</td> <td data-bbox="386 520 415 575">--</td> </tr> <tr> <td data-bbox="415 373 444 999">Total</td> <td data-bbox="415 453 444 520">91.138</td> <td data-bbox="415 520 444 575">4674</td> </tr> </tbody> </table>	Volúmenes de exámenes	Rayos X	Tomografía	No exámenes (2008)	90886	4674	No de exámenes especiales (2008)	252	--	Total	91.138	4674
Volúmenes de exámenes	Rayos X	Tomografía												
No exámenes (2008)	90886	4674												
No de exámenes especiales (2008)	252	--												
Total	91.138	4674												
	<p>2. Volumen de exámenes por modalidad. C: Indicar el número de estudios radiológicos realizados con Rayos X y Tomografía en la institución en un período específico.</p>	<p>Rayos X</p> <p>No se tiene registro de los exámenes por equipo ni por sala. Se realiza una programación diaria con base a la demanda de los estudios y a la disponibilidad de los equipos y al personal radiológico.</p> <p>Tomografía</p> <p>Volumen por modalidad: 4674 estudios</p>												
Uso	<p>3. Volumen de exámenes por equipo.</p>	<p>Rayos X</p> <p>No se tiene registro de los exámenes por equipo ni por sala. Se realiza una programación diaria con base a la demanda de los estudios y a la disponibilidad de los equipos y al personal radiológico.</p> <p>Tomografía</p> <p>Volumen por modalidad: 4674 estudios (2008)</p>												
	<p>4. Tiempo promedio de exploración por modalidad. Tiempo promedio en el que se realiza un estudio radiológico común en la Institución con el sistema de Rayos X y el Tomógrafo.</p>	<table border="1" data-bbox="995 352 1118 999"> <thead> <tr> <th data-bbox="995 352 1031 999">Equipo de Diagnóstico</th> <th data-bbox="1031 352 1055 999">Modelo</th> <th data-bbox="1055 352 1118 999">Tiempo de exploración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1031 352 1055 604">Rayos x</td> <td data-bbox="1031 604 1055 743">Simples</td> <td data-bbox="1031 743 1055 798">1 min – 20 min</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1055 352 1084 999" rowspan="2">Tomografía</td> <td data-bbox="1055 604 1084 743">Especialista</td> <td data-bbox="1055 743 1084 798">13 min – 46 min</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1084 604 1118 743">Simple</td> <td data-bbox="1084 743 1118 798">15 min – 20 min</td> </tr> </tbody> </table> <p>Comentarios: El tiempo de exploración depende del tipo estudio que se realice. Tanto en tomografía como en los radiología convencional.</p>	Equipo de Diagnóstico	Modelo	Tiempo de exploración	Rayos x	Simples	1 min – 20 min	Tomografía	Especialista	13 min – 46 min	Simple	15 min – 20 min	
Equipo de Diagnóstico	Modelo	Tiempo de exploración												
Rayos x	Simples	1 min – 20 min												
Tomografía	Especialista	13 min – 46 min												
	Simple	15 min – 20 min												

ENCUESTA 4. Elementos para valorar la intensidad de uso de la tecnología diagnóstica. (Hospital No. 3).

5. Volumen promedio de diagnósticos normales o anormales en una serie de casos en un periodo de seis meses.

Diagnóstico	Rayos X	Tomografía
Diagnósticos normales:	No aplica	No aplica
Diagnósticos anormales:	No aplica	No aplica
Periodo de evaluación	No aplica	No aplica

Comentarios: No se maneja ningún tipo de estadística al respecto de esta pregunta.

6. Fase del ciclo de vida que se encuentra la tecnología dentro de la Institución de salud.

Fase de difusión
 Fase de Utilización y Conservación X
 Fase de Disposición Final

Equipo de Diagnóstico	Modelo	Fecha de compra
Rayos x	Shimadzu RS 110	1999
Rayos x	Shimadzu RS 110	1999
Rayos x	Shimadzu RS 110	1999
Tomografía	General Electric	1999

Comentarios: Ninguno

7. Tipos de usuarios que operan este tipo de tecnología diagnóstica.

C: Tipo de personal que maneja la tecnología (técnico, profesional o médico).

Personal entrenado para el manejo de la tecnología:

No Médicos Radiológicos: 4 No Técnicos: 30 No Ingenieros: 3

A cargo por parte de Ing. Biomédica y 2 por parte del proveedor

Otros : _____

8. Tipos de usuarios que se le aplican la tecnología.

C: Población o grupo de pacientes a los cuales se les puede aplicar la tecnología.

Población o grupo de pacientes a los cuales se les NO puede aplicar la tecnología ya sea por inexactitud, certeza resultados inconclusos, seguridad etc.

Rayos X

Tipos de usuarios:

Cualquier persona que así lo solicite, y que sea atendido por los médicos de consulta externa

Contraindicaciones:

Mujeres embarazadas.

Tomografía

Todos los usuarios del servicio

9. Accesorios, componentes, instrumentos e insumos necesarios para utilizar la tecnología.

C: Dispositivos, maquinaria, programas informáticos que requiere para su funcionamiento. Insumos de la tecnología que se requieren comprar para utilizar esta tecnología. llegará a fallar.

1. Sistema de Rayos X

Accesorios: chasis, mandiles y placas radiográficas térmicas

Collarín

Guantes plomados

2. Tomografía Computarizada

Accesorios: chasis, mandiles y placas radiográficas térmicas.

<p>10. Insumos o materiales requeridos para usar la tecnología diagnóstica. C: Mencionar los suministros o insumos utilizados para el correcto funcionamiento de la tecnología: Medicamentos, jeringas, reactivos, etc.</p>	<p>Mencione los insumos más utilizados en el servicio:</p> <table border="1" data-bbox="284 130 755 997"> <thead> <tr> <th>Rayos X</th> <th>Tomografía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ol style="list-style-type: none"> 1. Medio de contraste 2. Placas térmicas 3. Jeringas 4. Algodón 5. Antiséptico 6. Soluciones fisiológicas 7. Chasis de fosforo. </td> <td> <ol style="list-style-type: none"> 1. Soluciones fisiológicas 2. Medio de contraste 3. Placas térmicas 4. Jeringas 5. Algodón 6. Antiséptico 7. Venoclis 8. Punzo cat 9. Algodón 10. Antiséptico 11. Anestesia 12. Monitor de Signos Vitales 13. Calentador de contraste 14. Medicamentos 15. Impresora </td> </tr> </tbody> </table>	Rayos X	Tomografía	<ol style="list-style-type: none"> 1. Medio de contraste 2. Placas térmicas 3. Jeringas 4. Algodón 5. Antiséptico 6. Soluciones fisiológicas 7. Chasis de fosforo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Soluciones fisiológicas 2. Medio de contraste 3. Placas térmicas 4. Jeringas 5. Algodón 6. Antiséptico 7. Venoclis 8. Punzo cat 9. Algodón 10. Antiséptico 11. Anestesia 12. Monitor de Signos Vitales 13. Calentador de contraste 14. Medicamentos 15. Impresora
Rayos X	Tomografía				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Medio de contraste 2. Placas térmicas 3. Jeringas 4. Algodón 5. Antiséptico 6. Soluciones fisiológicas 7. Chasis de fosforo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Soluciones fisiológicas 2. Medio de contraste 3. Placas térmicas 4. Jeringas 5. Algodón 6. Antiséptico 7. Venoclis 8. Punzo cat 9. Algodón 10. Antiséptico 11. Anestesia 12. Monitor de Signos Vitales 13. Calentador de contraste 14. Medicamentos 15. Impresora 				
<p>11. ¿Existen parámetros para control de la seguridad del operador y/o del medio circundante? C: Por ejemplo con cuantos dosímetros cuenta el servicio, ¿Cómo controlan los niveles de radiación en el medio circundante? , Manuales de Radio protección, etc.</p>	<p>No tiene en cuenta. <input type="checkbox"/> Si cuentan: <input checked="" type="checkbox"/> N/S N/R <input type="checkbox"/></p> <p>Comentarios: Se cumple con los parámetros NOM. Dosímetros ambientales Dosímetros personales La revisión de los niveles de radiación es cada mes por una empresa externa.</p>				
<p>12. Tipos de estudios que puede realizar la tecnología diagnóstica en el servicio radiológico.</p>	<p>Mencione los estudios médicos más comunes realizados en la Institución:</p> <p>Tomografía:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tomografía computada de cráneo con contraste 2. Tomografía computada de maxilares 3. Tomografía computada de senos paranasales o cara 4. Tomografía computada de tórax 5. Tomografía computada de miembros inferiores. 6. Tomografía computada con modalidad dinámica. 7. Tomografía computada de orbitas (cortes axiales y coronales) 8. Tomografía computada de oído, peñasco y conductos auditivos internos (cortes axiales y coronales) 9. Tomografía computada de cuello (tejidos blandos) 10. Tomografía computada de abdomen superior 11. Tomografía computada de abdomen y pelvis (abdomen total) 				

ENCUESTA 4. Elementos para valorar la intensidad de uso de la tecnología diagnóstica. (Hospital No. 3).

	<p>12. Tomografía computada de miembros superiores y articulaciones</p> <p>13. Tomografía axial computada como guía para procedimientos intervencionistas o quirúrgicos</p> <p>Rayos X</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Radiografía de extremidades inferiores 2. Radiografía de abdomen simple 3. Radiografía de extremidades superiores 4. Radiografía de abdomen simple 5. Radiografía de vías digestivas altas con doble contraste 6. Radiografía de pierna AP y lateral 7. Radiografía de pelvis 8. Radiografía de columna cervical 9. Radiografía de senos paranasales 10. Radiografía panorámica de columna (goniometría) 11. Radiografía de colon por enema doble contraste 	<p>Comentarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el instituto no se tienen en cuenta los criterios de calidad mencionados. • El criterio del médico radiólogo y el técnico radiólogo es lo único que se tiene en cuenta para determinar la calidad de la imagen.
<p>13. Definir los criterios para determinar la calidad de la imagen de diagnóstica utilizados en la Institución.</p> <p>C: Se puede tener en cuentan los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Control de calidad de los equipos de imágenes de rayos x y tomografía. ▪ Posición del paciente ▪ Limitación del haz de rayos X 		
<p>14. En la institución de salud utiliza los Análisis de sensibilidad y especificidad clínica para evaluar una situación clínica específica.</p>		<p>No Utiliza: X Si Utiliza: <input type="checkbox"/> NS/NR: <input type="checkbox"/></p> <p>Comentarios: Ninguno</p>
<p>15. ¿Existen algunas técnicas o pruebas diagnósticas que pueden ser utilizadas en la práctica médica en lugar de o adicional a la tecnología en cuestión?</p> <p>C: Tipos de tecnología o procedimientos que puedan sustituir la tecnología actual utilizada.</p>		<p>Identificar procedimientos alternativos en la práctica médica para diagnosticar una enfermedad.</p> <p>Si: X No: <input type="checkbox"/> NS/NR: <input type="checkbox"/></p> <p>Mencione algunas técnicas alternativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resonancia magnética • Ultrasonido
<p>16. ¿Cómo se compara la tecnología actual en relación con otra alternativa diagnóstica en términos de exactitud?</p> <p>¿La tecnología diagnóstica actual es más exacta que otra alternativa o procedimiento médico existente en la institución de salud?</p>	<p>Rayos X y Tomografía</p> <p>Mejor X</p> <p>Buena <input type="checkbox"/></p> <p>Igual <input type="checkbox"/></p> <p>Regular <input type="checkbox"/></p> <p>Mala <input type="checkbox"/></p>	<p>Comentarios:</p>

	<p>17. ¿Cuáles son los requerimientos para medir la validez de resultados obtenidos (imágenes) por la tecnología?</p> <p>18. Requerimientos para medir la exactitud en el contexto en que la tecnología será utilizada. C: Que tipo de indicadores, requerimientos se utiliza en la institución para medir la exactitud de la tecnología en un estudio médico radiológico</p> <p>19. Definir ¿Cuáles son los criterios para llevar a cabo el control de calidad del servicio donde opera la tecnología? C: Criterios para el control de calidad del servicio prestado, por ejemplo, encuesta de satisfacción de clientes, encuestas satisfacción de las empresas subscriptas, etc.</p> <p>20. Indique la normatividad nacional vigente por la cual la institución o el servicio se rige. C: Decretos, regulaciones, normatividad relacionada con la seguridad del paciente al momento de someterse a un estudio radiológico. Normatividad relacionada con el manejo de residuos y material radiológico dentro y fuera de la institución. ¿Cómo se manejan esas normas dentro de la institución?</p>	<p>Comentarios: Sistemas de RX y Tomografía.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los requerimientos son dados por la experiencia del técnico radiólogo y por el tipo de estudio. • La validez la determina el médico tratante. <p>Comentarios: No se tiene ninguna clase de requerimientos para medir la exactitud.</p> <p>Enumere los criterios o parámetros mas relevantes que utilicen en el departamento relacionados con el control de calidad del servicio entregado: Comentarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solo se cuenta con guía clínicas para realizar los estudios tanto como en tomografía como en rayos X. • El personal medico y radiologo de la institucion señala si el resultado (placa radiografica) está bien o mal, dependiendo de su requerimiento. • Mayor especificidad en el estudio (en el haz central o foco) por parte del personal médico. <p>Comentarios: Normas mexicanas de protección radiológica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Norma Oficial Mexicana (NOM-229-SSA1-2002) NOM-229-SSA1-2002, Salud ambiental. • NOM-026-NUCL-1999 Vigilancia médica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes. • Reglamento General de Seguridad Radiológica (Diario Oficial de la Federación del 22 de Noviembre de 1988). • NOM-157-SSA1-1996, SALUD AMBIENTAL. PROTECCION Y SEGURIDAD RADIOLOGICA EN EL DIAGNOSTICO MEDICO CON RAYOS X
--	---	--

Conceptos Básicos del Proceso Jerárquico Analítico

Definición

El Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) es una técnica de análisis de decisión multicriterio. Esta técnica tiene por objeto apoyar el análisis de decisiones complejas. Para ello se realiza una comparación cuantitativa de alternativas de decisión de cuán efectivos son en el cumplimiento de varios criterios relevantes para el objetivo. Estos criterios pueden ser tanto cuantitativos y cualitativos. El resultado de AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión.

El proceso de la jerarquía analítica:

La metodología que se emplea para toma de una decisión con el método de AHP se describe de la siguiente manera:

1. Desarrollo de la estructura jerárquica para los criterios y alternativas:

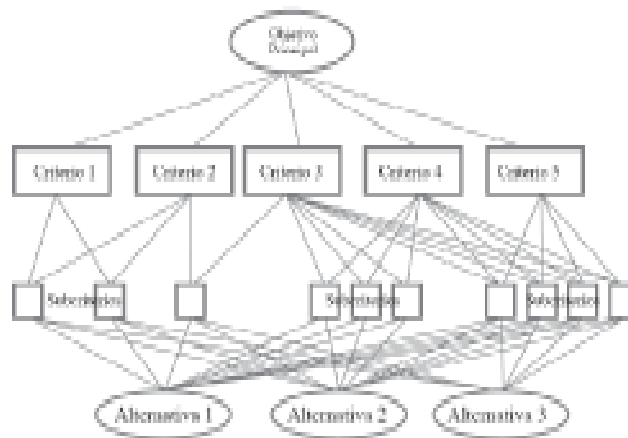


Fig. 1. Estructura jerárquica del problema

Para aplicar AHP, los criterios de evaluación y las alternativas deben ser estructurados en diferentes niveles de jerarquía. Para esto se construye un esquema de árbol que resume las interrelaciones entre los componentes del problema que se quiere resolver. En la parte superior debe figurar siempre el objetivo principal o meta, en los niveles inferiores se colocan el conjunto de criterios y subcriterios y en la base del árbol se ubican las alternativas de solución tal como se muestra en la figura 1.

2. Cuantificación de los factores de decisión

El AHP ofrece un método para calcular los “pesos” de los criterios y las prioridades de las alternativas. Esta cuantificación se deriva de una matriz de comparaciones por pares de los dos criterios o alternativas. Las comparaciones por pares de los criterios indican la importancia relativa de estos con respecto a los objetivos, las comparaciones de las alternativas señalan la

preferencia de las alternativas con respecto a un criterio. La valoración de la comparación entre los criterios o alternativas se obtiene de una escala numérica conocida como escala de Saaty, donde el 1 refleja la misma importancia o preferencia entre los criterios o alternativas evaluadas hasta el 9 refleja una extrema importancia o preferencia. La tabla 1 muestra la escala de Saaty y

Escala Saaty	Escala Verbal	Interpretación
1	Igual de importancia de ambos elementos.	Los dos elementos contribuyen de igual forma al objetivo.
3	Moderada importancia de un elemento sobre otro.	La experiencia y el juicio favorecen levemente a un elemento sobre el otro.
5	Fuerte importancia de un elemento sobre el otro.	Uno de los elementos es fuertemente favorecido.
7	Muy fuerte importancia de un elemento sobre el otro.	Uno de los elementos es fuertemente dominante.
9	Extrema importancia de un elemento sobre el otro.	La evidencia que favorece a uno de los elementos es del mayor orden de afirmación.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios.	Usados para juicios intermedios.

Meta	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	$a_{11} = (1,1,1)$	$a_{12} = (\text{comparación criterio 1 y 2})$	$a_{13} = (\text{comparación criterio 1 y 3})$	$a_{14} = (\text{comparación entre el criterio 1 y 4})$
Criterio 2	$a_{21} = \text{Inverso de } a_{12}$	$a_{22} = (1,1,1)$	$a_{23} = (\text{comparación criterio 2 y 3})$	$a_{24} = (\text{comparación entre el criterio 2 y 4})$
Criterio 3	$a_{31} = \text{Inverso de } a_{13}$	$a_{32} = \text{Inverso de } a_{23}$	$a_{33} = (1,1,1)$	$a_{34} = (\text{comparación entre el criterio 3 y 4})$
Criterio 4	$a_{41} = \text{Inverso de } a_{14}$	$a_{42} = \text{Inverso de } a_{24}$	$a_{43} = \text{Inverso de } a_{34}$	$a_{44} = (1,1,1)$

su interpretación.

Tabla 2. Matriz de comparación

Tabla 1. Escala Saaty

3. Comparaciones pareadas y matrices de comparación

Los elementos que conforman las jerarquías son comparados en relación con el elemento de nivel superior en una matriz para estimar sus importancias relativas. Por lo tanto, se construyen diferentes matrices de comparación de los elementos por pares para cada de los niveles de la jerarquía de árbol, es decir, se construye una matriz de comparación entre los criterios con respecto a el objetivo central, una matriz de comparación entre los subcriterios con respecto a cada uno de los criterios, y entre las alternativas con respecto a los subcriterios. La matriz de comparaciones puede construirse tal como se muestra en la tabla 2.

4. Obtención de prioridades de los elementos de la estructura

Una vez que se elaboran las matrices de comparaciones pareadas, se calcula las prioridades (pesos relativos) de cada uno de los elementos que se comparan. El procedimiento puede resumir en tres pasos:

1. Sumar los valores de cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.
2. Dividir cada uno de los elementos que conforma de tal matriz entre el total de su columna (matriz de comparaciones pareadas normalizada).
3. Calcular el promedio de los elementos de cada reglón de las prioridades relativas de los elementos que se comparan.

En primera instancia se calculan las prioridades entre los criterios con respecto al objetivo principal. Posteriormente, se calculan las prioridades de las alternativas en relación con cada criterio y se construye una matriz de prioridades que resume las prioridades para cada alternativa en términos de cada criterio. Por último, se obtiene la prioridad global para cada

alternativa de decisión, que se resulta del producto de la matriz de prioridades entre los criterios (obtenida con relación al objetivo) con la matriz de prioridades de las alternativas con respecto a cada criterio.

5. Cálculo del índice de consistencia

Se determina el grado de consistencia entre los valores (opiniones pareadas) asignados para cada uno de los elementos comparados. Si el grado de consistencia es aceptable, se continúa con el proceso de decisión, si es inaceptable, se deben reconsiderar y modificar los juicios sobre las comparaciones pareadas. Hay dos métodos para determinar el grado de consistencia mediante: el promedio geométrico y eigenvalores.

1) Método Promedio geométrico

Una vez que se construyen las matrices de comparación entre cada los criterios y entre las alternativas; cada una de estas matrices son normalizadas tal como se indica en el paso 4.

La prioridad global para cada alternativa de decisión se obtiene calcula a través del promedio geométrico (ecuación 1) de los elementos que conforman la matriz de comparación resultante.

$$P_g = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} \quad x_1, x_2, \dots, x_n \text{ son elementos de la matriz resultante} \quad (1)$$

2) Método de Eigenvalores

Se parte de la suposición que la matriz de comparación resultante es consistente y es linealmente independiente. Una matriz de $n \times n$ es consistente si y solo si cumple:

$$AW = \lambda W \quad (2)$$

Donde A es la matriz de comparación, W es un vector de columna de pesos relativos W_j , ($j = 1, 2, \dots, n$), que si es diferente de cero está asociado a un eigenvalor λ de A.

Por lo tanto una matriz A de $n \times n$ es consistente si tiene un eigenvalor λ aproximadamente igual a n. Una matriz inconsistente tendrá más de un eigenvalor.

Considerando que la matriz es consistente, se calcula sus eigenvalores, que permite determinar el nivel de consistencia de la misma.

El nivel de consistencia es calculado por:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Donde λ_{\max} es el valor del eigenvalor mayor de la matriz A y n es número de filas o columnas de la misma matriz. Cuando el valor de λ_{\max} es lo más cercano al valor de n, más consistente será la matriz de comparación.

Cadenas de Markov de Tiempo Discreto.

Definición:

Es un proceso estocástico tal que para $n = 1, 2, \dots$ y para cualquier sucesión posible de estados s_1, s_2, \dots, s_{n+1} , se tiene que,

$$P(X_{n+1} = s_{n+1} | X_1 = s_1, X_2 = s_2, \dots, X_n = s_n) = P(X_{n+1} = s_{n+1} | X_n = s_n)$$

En general, se considera una cadena de Markov que en cualquier momento estará en alguno de un número finito k de estados s_1, s_2, \dots, s_k . Al proceso aleatorio de esta naturaleza se le conoce como una cadena de Markov finita.

Supuesto de la cadena de Markov de tiempo discreto

- 1) Los estados deben formar un conjunto numerable, es decir, se debe tener un número finito de estados.
- 2) La probabilidad de hacer una transición a cada estado de la cadena depende solo del estado actual (propiedad markoviana), es decir,

$$P\{X_{(n+1)} = j | X_{(n)} = i\}$$

Igualmente, la probabilidad de transición hacia un estado futuro depende solo del estado presente ocupado.

- 3) Supone conocida una distribución de probabilidades al inicio del horizonte de estudio ($N=0$),
- 4) La probabilidad de esta transición sea independiente de la etapa de tiempo considerada. (propiedad estacionaria)

Probabilidades de transición

Las probabilidades de transición de un estado a otro en una cadena de Markov quedan definidas por:

$$p_{ij}(n) = P\{X_{(n+1)} = s_j | X_{(n)} = s_i\} \quad 1 \leq i, j \leq N, n = 1, 2, 3, \dots$$

donde $p_{ij}(n)$ es probabilidad de que la variable X tome el valor s_j en el tiempo de observación $n+1$ si en el momento actual, el valor de n es s_i . Ya que cada probabilidad de transición p_{ij} es una probabilidad, ésta debe satisfacer el requerimiento,

$$0 \leq p_{ij} \leq 1 \quad 1 \leq i, j \leq N$$

Si para una cadena de Markov esta probabilidad de transición tiene el mismo valor para todos los tiempos n ($n = 1, 2, 3, \dots$) decimos que la cadena tiene probabilidades de transición estacionarias. Es decir una cadena de Markov tiene probabilidades de transición estacionarias si para cualquier estado s_i y s_j existe una probabilidad de transición p_{ij} tal que,

$$P\{X_{(n+1)} = s_j | X_{(n)} = s_i\} = p_{ij} \quad \text{para} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Matriz de probabilidad de transición

Las probabilidades de transición pueden representarse en una matriz de dimensiones $K \times K$, conocida como matriz de probabilidad de transición P ,

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1k} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2k} \\ p_{31} & p_{32} & \dots & p_{3k} \end{bmatrix}$$

El elemento en la fila i , columna j $p_{ij}(n) = P\{X(n) = s_j \mid X(n-1) = s_i\}$ representa la probabilidad de transición de un paso. Estos elementos son probabilidades, vemos que $p_{ij} \geq 0$ para toda i, j y que además la suma de estos valores en cada fila es igual a 1: $\sum_{j=1}^k p_{ij} = 1$.

Probabilidades de transición n pasos

Para determinar las probabilidades de transición en más de un paso, es decir calcular las probabilidades de transición en un tiempo determinado después de n transiciones, se multiplica la matriz de transición por ella misma (para el caso de calcular las transiciones en dos tiempos, $P^2 = P \times P$). De manera general se pueden determinar los valores de las transiciones en n tiempos como el producto sucesivo de matrices dado por:

$$P^n = P(1) \times P(2) \times P(3) \dots P(n).$$

Matrices de probabilidades de transición de n pasos para diferentes periodos.

Matrices de probabilidades de transición de n pasos para un periodo de tiempo de 4 meses.

$$P^1 = \Phi(1) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
B	0.00	0.20	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
D	0.00	0.00	0.00	0.70	0.30	0.00	0.00
E	0.00	0.00	0.00	0.20	0.30	0.50	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
G	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10

$$P^2 = \Phi(2) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.10	0.40	0.35	0.15	0.00	0.00
B	0.00	0.04	0.16	0.80	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.70	0.30	0.00	0.00
D	0.00	0.00	0.00	0.55	0.30	0.15	0.00
E	0.00	0.00	0.00	0.20	0.15	0.15	0.50
F	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
G	0.09	0.45	0.00	0.45	0.00	0.00	0.01

$$P^3 = \Phi(3) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.02	0.08	0.68	0.15	0.08	0.00
B	0.00	0.01	0.03	0.72	0.24	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.55	0.30	0.15	0.00
D	0.00	0.00	0.00	0.45	0.26	0.15	0.15
E	0.45	0.00	0.00	0.17	0.11	0.08	0.20
F	0.09	0.45	0.00	0.45	0.00	0.00	0.01
G	0.01	0.14	0.36	0.36	0.14	0.00	0.00

$$P^4 = \Phi(4) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.00	0.02	0.58	0.25	0.08	0.08
B	0.00	0.00	0.01	0.58	0.29	0.12	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.45	0.26	0.15	0.15
D	0.14	0.00	0.00	0.36	0.21	0.13	0.17
E	0.18	0.23	0.00	0.37	0.08	0.05	0.10
F	0.01	0.14	0.36	0.36	0.14	0.00	0.00
G	0.00	0.03	0.11	0.64	0.15	0.07	0.00

$$P^5 = \Phi(5) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.07	0.00	0.00	0.47	0.25	0.12	0.08
B	0.00	0.00	0.00	0.47	0.26	0.14	0.12
C	0.14	0.00	0.00	0.36	0.21	0.13	0.17
D	0.15	0.07	0.00	0.36	0.17	0.11	0.14
E	0.09	0.14	0.18	0.36	0.13	0.04	0.06
F	0.00	0.03	0.11	0.64	0.15	0.07	0.00
G	0.00	0.01	0.03	0.59	0.24	0.07	0.07

$$P^6 = \Phi(6) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.07	0.03	0.00	0.42	0.22	0.12	0.13
B	0.11	0.00	0.00	0.38	0.22	0.13	0.16
C	0.15	0.07	0.00	0.36	0.17	0.11	0.14
D	0.13	0.09	0.05	0.36	0.16	0.09	0.12
E	0.06	0.07	0.11	0.50	0.15	0.07	0.05
F	0.00	0.01	0.03	0.59	0.24	0.07	0.07
G	0.06	0.00	0.01	0.48	0.25	0.12	0.08

$P^7 = \Phi(7) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.12	0.04	0.03	0.37	0.19	0.11	0.14
B	0.14	0.05	0.00	0.37	0.18	0.11	0.15
C	0.13	0.09	0.05	0.36	0.16	0.09	0.12
D	0.11	0.08	0.07	0.40	0.16	0.08	0.10
E	0.04	0.04	0.06	0.52	0.20	0.07	0.07
F	0.06	0.00	0.01	0.48	0.25	0.12	0.08
G	0.07	0.03	0.00	0.42	0.22	0.12	0.13

$P^8 = \Phi(8) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.12	0.04	0.03	0.37	0.19	0.11	0.14
B	0.14	0.05	0.00	0.37	0.18	0.11	0.15
C	0.13	0.09	0.05	0.36	0.16	0.09	0.12
D	0.11	0.08	0.07	0.40	0.16	0.08	0.10
E	0.04	0.04	0.06	0.52	0.20	0.07	0.07
F	0.06	0.00	0.01	0.48	0.25	0.12	0.08
G	0.07	0.03	0.00	0.42	0.22	0.12	0.13

$P^9 = \Phi(9) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.11	0.08	0.05	0.40	0.17	0.08	0.11
B	0.11	0.08	0.06	0.40	0.16	0.08	0.10
C	0.09	0.07	0.07	0.44	0.17	0.08	0.09
D	0.08	0.06	0.06	0.45	0.18	0.08	0.09
E	0.07	0.04	0.02	0.44	0.21	0.11	0.11
F	0.11	0.04	0.02	0.38	0.19	0.11	0.14
G	0.12	0.07	0.03	0.39	0.17	0.10	0.12

$P^{10} = \Phi(10) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.10	0.07	0.06	0.42	0.17	0.08	0.10
B	0.09	0.07	0.07	0.43	0.17	0.08	0.09
C	0.08	0.06	0.06	0.45	0.18	0.08	0.09
D	0.08	0.05	0.05	0.45	0.19	0.09	0.09
E	0.10	0.04	0.03	0.41	0.20	0.10	0.12
F	0.12	0.07	0.03	0.39	0.17	0.10	0.12
G	0.11	0.07	0.05	0.40	0.17	0.09	0.11

$P^{11} = \Phi(11) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.09	0.06	0.06	0.44	0.18	0.09	0.09
B	0.08	0.06	0.06	0.45	0.18	0.08	0.09
C	0.08	0.05	0.05	0.45	0.19	0.09	0.09
D	0.08	0.05	0.04	0.44	0.19	0.09	0.10
E	0.11	0.06	0.04	0.41	0.18	0.10	0.12
F	0.11	0.07	0.05	0.40	0.17	0.09	0.11
G	0.10	0.07	0.06	0.42	0.17	0.08	0.10

$P^{12} = \Phi(12) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.08	0.06	0.05	0.44	0.19	0.09	0.09
B	0.08	0.05	0.05	0.45	0.19	0.09	0.09
C	0.08	0.05	0.04	0.44	0.19	0.09	0.10
D	0.09	0.05	0.04	0.43	0.19	0.10	0.10
E	0.10	0.06	0.05	0.41	0.18	0.09	0.11
F	0.10	0.07	0.06	0.42	0.17	0.08	0.10
G	0.09	0.06	0.06	0.44	0.18	0.09	0.09

$P^{13} = \Phi(13) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.09	0.05	0.04	0.44	0.19	0.09	0.10
B	0.08	0.05	0.04	0.44	0.19	0.09	0.10
C	0.09	0.05	0.04	0.43	0.19	0.10	0.10
D	0.09	0.06	0.04	0.42	0.19	0.09	0.11
E	0.10	0.06	0.05	0.42	0.18	0.09	0.10
F	0.09	0.06	0.06	0.44	0.18	0.09	0.09
G	0.08	0.06	0.05	0.44	0.18	0.09	0.09

$P^{14} = \Phi(14) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.09	0.05	0.04	0.43	0.19	0.09	0.10
B	0.09	0.05	0.04	0.43	0.19	0.10	0.10
C	0.09	0.06	0.04	0.42	0.19	0.09	0.11
D	0.10	0.06	0.04	0.42	0.18	0.09	0.11
E	0.09	0.06	0.05	0.43	0.18	0.09	0.10
F	0.08	0.06	0.05	0.44	0.18	0.09	0.09
G	0.08	0.05	0.04	0.44	0.19	0.09	0.10

Matrices de probabilidades de transición de n pasos para un periodo de tiempo de 6 meses.

$$P^1 = \Phi(1) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.00	0.30	0.70	0.00	0.00	0.00
B	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
D	0.00	0.00	0.00	0.80	0.20	0.00	0.00
E	0.00	0.00	0.00	0.60	0.10	0.30	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
G	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10

$$P^2 = \Phi(2) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.00	0.00	0.86	0.14	0.00	0.00
B	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.80	0.20	0.00	0.00
D	0.00	0.00	0.00	0.76	0.18	0.06	0.00
E	0.00	0.00	0.00	0.54	0.13	0.03	0.30
F	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
G	0.09	0.00	0.27	0.63	0.00	0.00	0.01

$$P^3 = \Phi(3) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.00	0.00	0.77	0.19	0.04	0.00
B	0.00	0.00	0.00	0.80	0.20	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.76	0.18	0.06	0.00
D	0.00	0.00	0.00	0.72	0.17	0.05	0.06
E	0.27	0.00	0.00	0.51	0.12	0.04	0.06
F	0.09	0.00	0.27	0.63	0.00	0.00	0.01
G	0.01	0.00	0.03	0.84	0.13	0.00	0.00

$$P^4 = \Phi(4) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.00	0.00	0.73	0.17	0.06	0.04
B	0.00	0.00	0.00	0.76	0.18	0.06	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.72	0.17	0.05	0.06
D	0.05	0.00	0.00	0.67	0.16	0.05	0.06
E	0.05	0.00	0.08	0.67	0.11	0.04	0.05
F	0.01	0.00	0.03	0.84	0.13	0.00	0.00
G	0.00	0.00	0.00	0.78	0.18	0.04	0.00

$$P^5 = \Phi(5) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.04	0.00	0.00	0.69	0.16	0.05	0.06
B	0.00	0.00	0.00	0.72	0.17	0.05	0.06
C	0.05	0.00	0.00	0.67	0.16	0.05	0.06
D	0.05	0.00	0.02	0.67	0.15	0.05	0.06
E	0.04	0.00	0.02	0.72	0.15	0.03	0.04
F	0.00	0.00	0.00	0.78	0.18	0.04	0.00
G	0.00	0.00	0.00	0.73	0.17	0.05	0.04

$$P^6 = \Phi(6) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.05	0.00	0.01	0.67	0.15	0.05	0.06
B	0.05	0.00	0.00	0.67	0.16	0.05	0.06
C	0.05	0.00	0.02	0.67	0.15	0.05	0.06
D	0.05	0.00	0.02	0.68	0.15	0.05	0.05
E	0.04	0.00	0.01	0.71	0.16	0.04	0.04
F	0.00	0.00	0.00	0.73	0.17	0.05	0.04
G	0.03	0.00	0.00	0.69	0.16	0.05	0.06

$P^7 = \Phi(7) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.05	0.00	0.02	0.68	0.15	0.05	0.05
B	0.05	0.00	0.02	0.67	0.15	0.05	0.06
C	0.05	0.00	0.02	0.68	0.15	0.05	0.05
D	0.05	0.00	0.02	0.69	0.15	0.04	0.05
E	0.03	0.00	0.01	0.70	0.16	0.05	0.05
F	0.03	0.00	0.00	0.69	0.16	0.05	0.06
G	0.05	0.00	0.01	0.68	0.15	0.05	0.06

$P^8 = (8) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.05	0.00	0.02	0.69	0.15	0.05	0.05
B	0.05	0.00	0.02	0.68	0.15	0.05	0.05
C	0.05	0.00	0.02	0.69	0.15	0.04	0.05
D	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
E	0.04	0.00	0.01	0.69	0.16	0.05	0.05
F	0.05	0.00	0.01	0.68	0.15	0.05	0.06
G	0.05	0.00	0.02	0.68	0.15	0.05	0.06

$P^9 = \Phi(9) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
B	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
C	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
D	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
E	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
F	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
G	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05

$P^{10} = \Phi(10) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
B	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
C	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
D	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
E	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
F	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
G	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05

$P^{11} = \Phi(11) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
B	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
C	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
D	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
E	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
F	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
G	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05

$P^{12} = \Phi(12) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
B	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
C	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
D	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
E	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
F	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
G	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05

$P^{13} = \Phi(13) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
B	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
C	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
D	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
E	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
F	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
G	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05

$P^{14} = \Phi(14) =$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
B	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
C	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
D	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
E	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
F	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05
G	0.05	0.00	0.01	0.69	0.15	0.05	0.05

Matrices de probabilidades de transición de n pasos para un periodo de tiempo de 12 meses.

$$P^1 = \Phi(1) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
B	0.00	0.00	0.30	0.70	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
D	0.00	0.00	0.00	0.90	0.10	0.00	0.00
E	0.00	0.00	0.00	0.60	0.30	0.10	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
G	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10

$$P^2 = \Phi(2) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.00	0.00	0.90	0.10	0.00	0.00
B	0.00	0.00	0.00	0.93	0.07	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.90	0.10	0.00	0.00
D	0.00	0.00	0.00	0.87	0.12	0.01	0.00
E	0.00	0.00	0.00	0.72	0.15	0.03	0.10
F	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
G	0.09	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.01

$$P^3 = \Phi(3) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.00	0.00	0.87	0.12	0.01	0.00
B	0.00	0.00	0.00	0.88	0.11	0.01	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.87	0.12	0.01	0.00
D	0.00	0.00	0.00	0.86	0.12	0.01	0.01
E	0.09	0.00	0.00	0.74	0.12	0.02	0.04
F	0.09	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.01
G	0.01	0.00	0.00	0.90	0.09	0.00	0.00

$$P^4 = \Phi(4) =$$

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	0.00	0.00	0.86	0.12	0.01	0.01
B	0.00	0.00	0.00	0.86	0.12	0.01	0.01
C	0.00	0.00	0.00	0.86	0.12	0.01	0.01
D	0.01	0.00	0.00	0.84	0.12	0.01	0.01
E	0.04	0.00	0.00	0.82	0.11	0.01	0.02
F	0.01	0.00	0.00	0.90	0.09	0.00	0.00
G	0.00	0.00	0.00	0.87	0.12	0.01	0.00

$$P^5 = \Phi(5) =$$

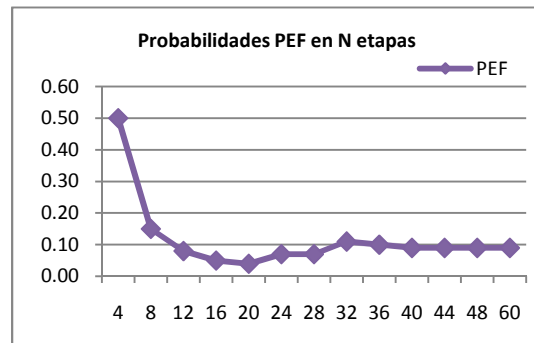
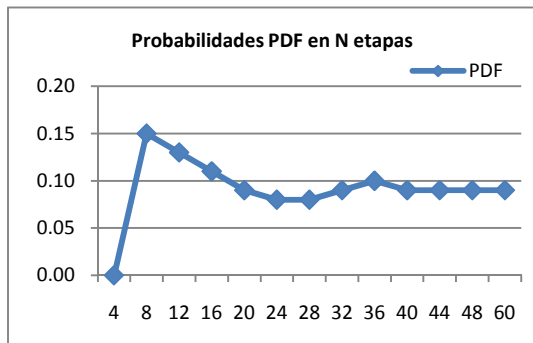
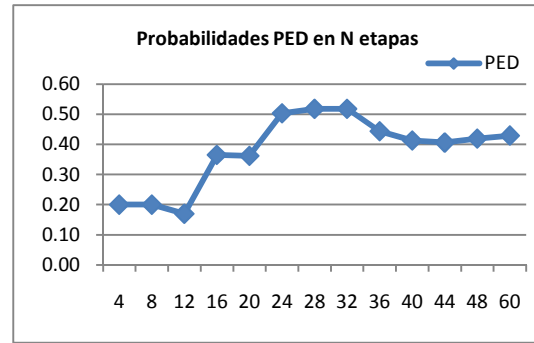
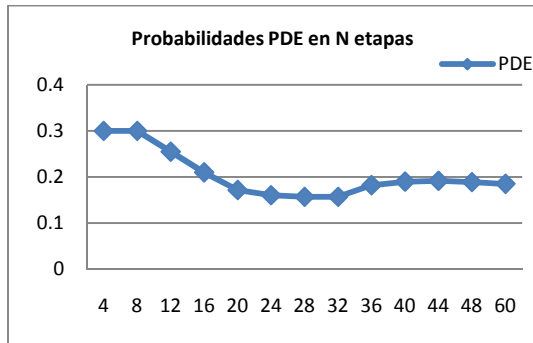
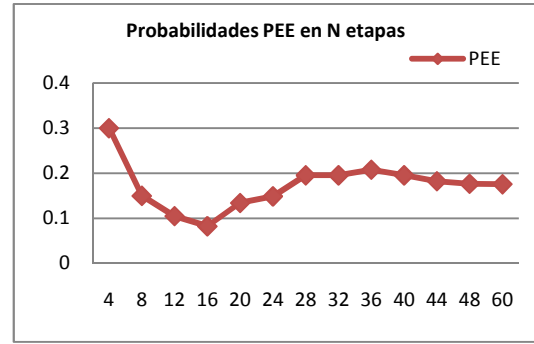
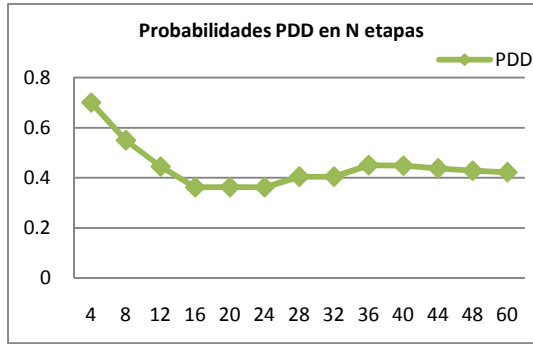
	A	B	C	D	E	F	G
A	0.01	0.00	0.00	0.84	0.12	0.01	0.01
B	0.01	0.00	0.00	0.85	0.12	0.01	0.01
C	0.01	0.00	0.00	0.84	0.12	0.01	0.01
D	0.01	0.00	0.00	0.84	0.12	0.01	0.01
E	0.02	0.00	0.00	0.84	0.12	0.01	0.01
F	0.00	0.00	0.00	0.87	0.12	0.01	0.00
G	0.00	0.00	0.00	0.86	0.12	0.01	0.01

$$P^6 = \Phi(6) =$$

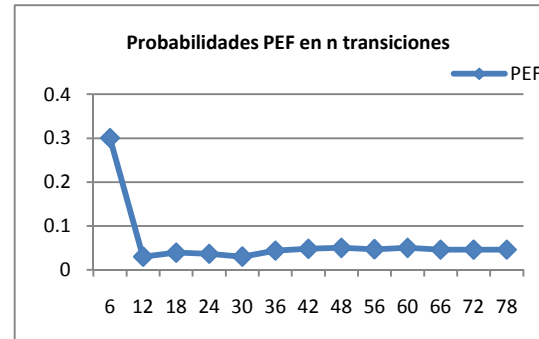
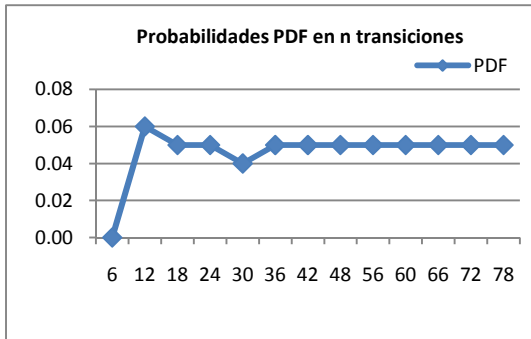
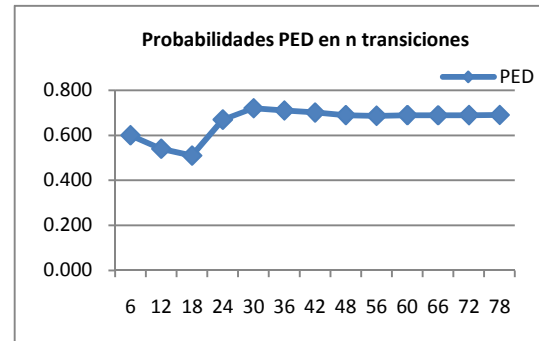
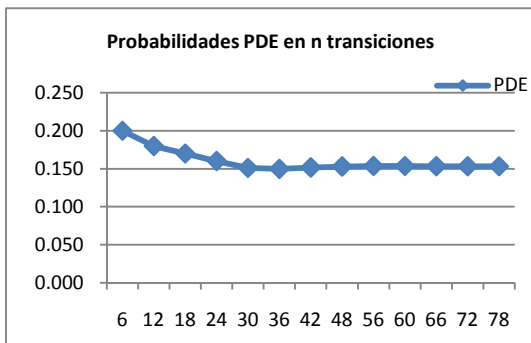
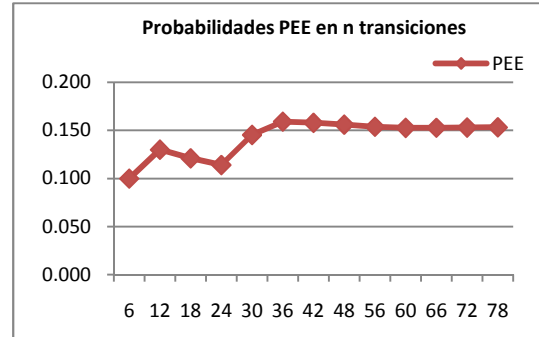
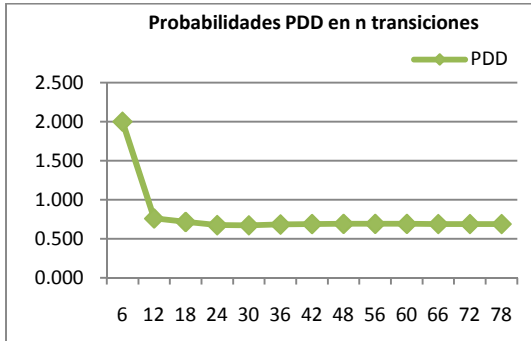
	A	B	C	D	E	F	G
A	0.01	0.00	0.00	0.84	0.12	0.01	0.01
B	0.01	0.00	0.00	0.84	0.12	0.01	0.01
C	0.01	0.00	0.00	0.84	0.12	0.01	0.01
D	0.01	0.00	0.00	0.84	0.12	0.01	0.01
E	0.01	0.00	0.00	0.85	0.12	0.01	0.01
F	0.00	0.00	0.00	0.86	0.12	0.01	0.01
G	0.01	0.00	0.00	0.84	0.12	0.01	0.01

Tendencias de las distribuciones de probabilidad de transición n-pasos para diferentes periodos

Probabilidades de los estados D, E y F en n transiciones para un periodo de T = 4 meses:



Probabilidades de los estados D, E y F en n transiciones para un periodo de T = 6 meses:



Probabilidades de los estados D, E y F en n transiciones para un periodo de T = 12 meses:

