



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD IZTAPALAPA. DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

METODOLOGÍA SUSTENTADA EN GESTIÓN  
ECONÓMICA POR PROCESOS: EVALUACIÓN DE LA  
TRANSICIÓN HACIA UN SERVICIO DE RADIOLOGÍA  
DIGITAL

QUE PRESENTA:  
**NORMA PATRICIA NAVOR GALEANA**

Para obtener el grado de  
**Maestra en Ciencias en Ingeniería Biomédica**

**Asesoras:**

M. en C. Fabiola M. Martínez Licona	UAM-I
Dra. Josefina Gutiérrez Martínez	INR

**Jurado Calificador:**

Presidente: Dra. María del Rocío Ortiz Pedroza	UAM-I
Secretaria: M. en C. Fabiola M. Martínez Licona	UAM-I
Vocal: MASS Silvia Rodríguez Alfaro	INNSZ

MÉXICO D.F. NOVIEMBRE 2012

## **A Rogelio**

Por tus consejos y todo tu apoyo, este logro que ahora consigo lo comparto contigo porque gracias a ti fue posible.

## **A Zianya y Angel**

A mis dos pequeños corazones, gracias por todo su amor y paciencia  
¡Son los más “pros” del mundo!

Todo este esfuerzo se lo dedico a mi familia  
que siempre me apoyó con todo su amor hasta el final.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis asesoras, M. en C. Fabiola Martínez Licona y Dra. Josefina Gutiérrez Martínez, por su gran apoyo y dedicación para que este proyecto se llevara a cabo y concluyera satisfactoriamente.

Al Dr. Raúl Molina Salazar del Posgrado en Economía de la UAM-I, cuya asesoría resultó fundamental para la realización del proyecto.

Al Dr. Eugenio Morales Hernández y a todo el personal del Servicio de Radiología del Instituto Nacional de Rehabilitación. Gracias por todas las facilidades que tuvieron a bien brindarme durante la realización del proyecto.

Al Instituto Nacional de Rehabilitación por contribuir con mi superación profesional. Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) por su apoyo durante la realización de los estudios de maestría.

A la Dra. María del Rocío Ortiz Pedroza y a la MASS Silvia Rodríguez Alfaro por su disposición en la revisión de este documento.

A la memoria de mi padre José, quien me enseñó que todo es posible con fuerza de voluntad, así como el amor al estudio y a la superación, gracias.

A mi madre Lupe, tu fortaleza y perseverancia han sido mi motivo para seguir adelante en todo lo que he realizado en mi vida.

# CONTENIDO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>I</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>III</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE ANEXOS .....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1 EVALUACIÓN TECNOLÓGICA .....</b>	<b>4</b>
1.1 CICLO DE VIDA DE LA TECNOLOGÍA MÉDICA .....	5
1.2 ¿QUÉ ES EVALUACIÓN TECNOLÓGICA?.....	5
1.3 PROPÓSITO DE LA EVALUACIÓN TECNOLÓGICA.....	6
1.4 NIVELES DE LA EVALUACIÓN TECNOLÓGICA.....	6
1.5 PROCESO DE LA EVALUACIÓN TECNOLÓGICA .....	7
A) Análisis de la organización. ....	9
B) Evaluación económica. ....	10
1.6 EVALUACIONES TECNOLÓGICAS.....	13
<b>CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
2.1 INCORPORACIÓN DE NUEVA TECNOLOGÍA A UNA INSTITUCIÓN DE SALUD.....	15
2.1.1 <i>Planteamiento del problema</i> .....	16
2.1.2 <i>Búsqueda de antecedentes</i> .....	16
2.1.3 <i>Condiciones iniciales</i> .....	16
2.2 PREGUNTA DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA .....	16
2.3 GENERACIÓN Y ANÁLISIS DE EVIDENCIA .....	17
2.3.1 <i>Gestión por procesos en el ámbito hospitalario</i> .....	18
2.3.2 <i>Evaluación económica</i> .....	20
2.3.3 <i>Comparación de alternativas tecnológicas</i> .....	23
2.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	23

<b>CAPÍTULO 3 CASO DE ESTUDIO</b> .....	<b>25</b>
3.1 INCORPORACIÓN DE NUEVA TECNOLOGÍA A UNA INSTITUCIÓN DE SALUD .....	25
3.1.1 <i>Planteamiento del problema</i> .....	25
3.1.2 <i>Antecedentes</i> .....	26
3.1.3 <i>Condiciones iniciales</i> .....	28
3.2 PREGUNTA DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA .....	29
3.3 GENERACIÓN Y ANÁLISIS DE LA EVIDENCIA .....	30
3.3.1 <i>Gestión por procesos</i> .....	30
3.3.2 <i>Evaluación económica</i> .....	39
A) Análisis de costos. ....	42
B) Determinación de la efectividad intermedia.....	46
C) Costos por estudio radiológico repetido ( <i>CPER</i> ).....	49
D) Análisis costo-efectividad (ACE).....	50
3.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	52
A) Modelado económico.....	52
B) Gestión por procesos.....	55
<b>CAPÍTULO 4 DISCUSIÓN</b> .....	<b>59</b>
4.1 METODOLOGÍA.....	59
4.2 APLICACIÓN METODOLÓGICA EN EL INR .....	60
4.3 LIMITACIONES. ....	63
4.4 CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS ADICIONALES. ....	64
4.5 PERSPECTIVAS .....	65
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES</b> .....	<b>67</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>69</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>87</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Dominios de la toma de decisiones y de investigación a través de la evaluación tecnológica [2].	8
Figura 1.2 Proceso de la evaluación tecnológica [2].	8
Figura 1.3 Componentes de la evaluación económica en el sector salud [7].	10
Figura 2.1 Metodología propuesta.	15
Figura 2.2 Generación y análisis de evidencia.	17
Figura 2.3 Índices de flujo de trabajo.	19
Figura 2.4 Información requerida para el análisis del flujo de trabajo y gestión por procesos.	19
Figura 2.5 Evaluación económica de equipo médico.	21
Figura 2.6 Análisis de costos de equipo médico.	21
Figura 2.7 Fuentes de información para el análisis de costos de equipo médico.	22
Figura 2.8 Información específica para el análisis de costos de equipo médico.	22
Figura 3.1 Índices de flujo de trabajo.	36
Figura 3.2 Probabilidad de ocurrencia de estudios radiológicos realizados $P(E)$ .	41
Figura 3.3 Probabilidad de ocurrencia de pacientes atendidos $P(Pa)$ .	41
Figura 3.4 Horas de mantenimiento del Departamento de Ingeniería Biomédica con Radiología convencional (RV) y computada (RC).	44
Figura 3.5 Horas de mantenimiento del Departamento de Ingeniería Biomédica con Radiología convencional (RV) y digital (RD).	44
Figura 3.6 Probabilidad de ocurrencia de la placa total en el INR $P(Pt)$ .	47
Figura 3.7 Probabilidad de ocurrencia de la placa de desecho en el INR $P(Pd)$ .	47
Figura 3.8 Estudios radiológicos repetidos por paciente de RV a RC y de RV a RD.	49
Figura 3.9 Árbol de decisión y ACE para Estudio Simple de Hospitalización.	54
Figura 3.10 Árbol de decisión y ACE para Estudio Simple de Urgencias.	54
Figura 3.11 Comparativo de índices de flujo de trabajo.	55

Figura 3.12 Comparativo de índices de flujo de trabajo.....	56
Figura 4.1 Perspectivas .....	66
Figura A1.1 Modelado BPMN del uso de la radiología en el INR.....	74
Figura A1.2 Modelado BPMN del estudio simple de hospitalización con RV .....	75
Figura A1.3 Modelado BPMN del estudio simple de urgencias con RV .....	76
Figura A1.4 Modelado BPMN del estudio simple de hospitalización en RC.....	77
Figura A1.5 Modelado BPMN del estudio simple de urgencias en RD.....	78
Figura A3.1 Elementos relevantes del estudio simple de hospitalización con RV .....	81
Figura A3.2 Elementos relevantes del estudio simple de urgencias con RV .....	82
Figura A3.3 Elementos relevantes del estudio simple de hospitalización con RC	83
Figura A3.4 Elementos relevantes del estudio simple de urgencias con RD .....	84
Figura A3.5 Porcentajes de participación de los elementos relevantes del estudio simple de hospitalización con RV .....	85
Figura A3.6 Porcentajes de participación de los elementos relevantes del estudio simple de urgencias con RV .....	85
Figura A3.7 Porcentajes de participación de los elementos relevantes del estudio simple de hospitalización con RC.....	86
Figura A3.8 Porcentajes de participación de los elementos relevantes del estudio simple de urgencias con RD.....	86

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Conceptos matemáticos de la evaluación económica [7].	12
Tabla 2.1 Tabla de decisión de costo-efectividad [2,7].	24
Tabla 3.1 Capacidad tecnológica instalada.	28
Tabla 3.2 Equipo médico incluido en la evaluación tecnológica.	29
Tabla 3.3 Funcionalidad de los equipos médicos radiológicos en el INR.	29
Tabla 3.4 Personal involucrado en la aplicación clínica del equipo médico radiológico del INR.	31
Tabla 3.5 Muestra estadísticamente significativa por aplicación clínica.	32
Tabla 3.6 Estudios radiológicos analizados.	32
Tabla 3.7 Tiempo total de un estudio radiológico ( <i>TTE</i> ).	34
Tabla 3.8 Índices de flujo de trabajo.	35
Tabla 3.9 Productividad por tecnología radiológica evaluada en el INR ( <i>PAHefectiva</i> ).	38
Tabla 3.10 Rendimiento de la tecnología radiológica en el INR ( <i>TREH efectivo</i> ).	38
Tabla 3.11 Tiempo promedio de estudio radiológico disponible <i>TED</i> por tecnología radiológica evaluada en el INR.	39
Tabla 3.12 Estudios radiológicos por paciente ( <i>EPP</i> ).	39
Tabla 3.13 Periodos de evaluación.	40
Tabla 3.14 Capacidad operativa del servicio de radiología del INR.	40
Tabla 3.15 Tiempo efectivo ( <i>Te</i> ) anual para RV.	45
Tabla 3.16 Costo por estudio radiológico realizado ( <i>CE</i> ).	46
Tabla 3.17 Información analizada para el cálculo de la efectividad intermedia.	47
Tabla 3.18 Efectividad intermedia ( <i>ERP</i> ).	49
Tabla 3.19 Costos por estudios radiológicos repetidos ( <i>CPER</i> ).	50
Tabla 3.20 Cuadro comparativo de costos.	51
Tabla 3.21 Índice de Precios (IPC) del Banco de México.	51



Tabla 3.22 Cuadro comparativo de costos a una misma temporalidad (Octubre 2009).....	52
Tabla 3.23 Probabilidades del modelo .....	52
Tabla 3.24 Tabla de decisión de costo-efectividad [2,7]. .....	55
Tabla 3.25 Tabla comparativa de productividad efectiva por tecnología radiológica evaluada en el INR ( <i>PAHefectiva</i> ).....	56
Tabla 3.26 Tabla comparativa del rendimiento efectivo por tecnología radiológica evaluada en el INR ( <i>TREH efectivo</i> ). .....	57
Tabla 3.27 Tabla comparativa del tiempo promedio de estudio radiológico disponible por tecnología radiológica evaluada en el INR ( <i>TED</i> ). .....	57
Tabla 3.28 Tabla comparativa de la tecnología radiológica evaluada en el INR...	58
Tabla A2.1 Estudios radiológicos realizados con RV, RC y RD.....	79
Tabla A2.2 Muestra estadística para cada tipo de estudio radiológico.....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS

ACE	Análisis Costo-Efectividad
BPMN	Por sus siglas en inglés Business Process Modeling Notation. Notación del Modelado de Procesos de Negocio.
CE	Costo por estudio radiológico realizado
CPER	Costo por estudio radiológico repetido
CTE	Costo total por estudios radiológicos realizados
CTER	Costo total por estudios radiológicos repetidos
CIH	Costo intra-hospitalario
DIB	Departamento de ingeniería Biomédica
E	Estudios radiológicos realizados
EPP	Número de estudios radiológicos realizados por paciente
ER	Número de estudios radiológicos repetidos
ERP	Número de estudios radiológicos repetidos por paciente
INR	Instituto Nacional de Rehabilitación
IFAI	Instituto Federal de Acceso a la Información
$P_a$	Pacientes atendidos
PAH	Tasa de pacientes atendidos por hora
$P_t$	Placa radiográfica total
$P_u$	Placa radiográfica útil
$P_d$	Placa radiográfica de desecho
$P_m$	Placa de desecho por mantenimiento de equipo radiológico
PER	Número de placas por estudio radiológico realizado
PDR	Número de placas de desecho por repetición de estudios radiológicos
RIS	Por sus siglas en inglés Radiology Information System. Sistema de información Radiológica.
RX	Rayos X
RV	Radiología Convencional

RC	Radiología Computada
RD	Radiología Digital
$T_e$	Tiempo efectivo de uso del equipo médico radiológico
<i>TED</i>	Tiempo promedio de estudio radiológico disponible
<i>TEE</i>	Tiempo promedio de entrega de estudio radiológico
<i>TRE</i>	Tiempo promedio de realización del estudio radiológico en la sala de RX o con equipo móvil de RX
<i>TRV</i>	Tiempo promedio de revelado o digitalización-impresión de estudios radiológicos
<i>TTE</i>	Tiempo total promedio de realización de un estudio radiológico
<i>TTP</i>	Tiempo total promedio de participación del personal involucrado por estudio
TR	Técnico Radiólogo

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. MODELADO DE PROCESOS.....	73
ANEXO 2. CÁLCULO DE MUESTRA ESTADÍSTICA .....	79
ANEXO 3. ELEMENTOS RELEVANTES.....	81

## RESUMEN

La adquisición de nuevas tecnologías por parte de las instituciones de salud del sector público mexicano ha sido condicionada a la presentación ante la Secretaría de Salud de la evaluación correspondiente a la tecnología que se desea adquirir, con base en la cantidad y la calidad de la evidencia científica, la información epidemiológica y la evaluación económica. En este proyecto se desarrolló una metodología para evaluar la incorporación de nueva tecnología médica a una institución de salud, partiendo de un análisis costo-efectividad soportado en gestión por procesos.

La metodología propuesta se fundamenta en la definición de proceso de evaluación tecnológica y se desarrolló mediante la integración de métodos de análisis de costos, modelado de procesos de negocios, análisis estadístico y análisis costo-efectividad que dan forma a la evaluación integral de un tipo de efectividad establecida como intermedia.

El proyecto se compone de cinco etapas: en la primera se describe la problemática que da origen a la necesidad de la evaluación, la segunda tiene la finalidad de transformar la solicitud de evaluación de la institución en pregunta de investigación.

En la tercera etapa se identificaron los elementos que representan la relación entre el uso de la tecnología médica y su aspecto económico analizándolos mediante la aplicación del modelado de procesos de negocio (BPMN), estadística descriptiva y multivariada, así como del análisis costo-efectividad. Del modelado BPMN se generaron índices de flujo de trabajo e indicadores de gestión por procesos, y del análisis costo-efectividad se definió el concepto de costo intra-hospitalario (*CIH*). En la cuarta etapa se desarrolló un modelo de costo-efectividad basado en árboles de decisión que representa las alternativas tecnológicas para la solución de la pregunta establecida al inicio, y en la quinta etapa se aborda la presentación de resultados. La metodología propuesta fue aplicada a un caso de estudio donde se cuestiona el cambio tecnológico en radiología para un instituto de salud de donde se destaca que la radiología computada es mayor costo-efectiva que la convencional en la realización de estudios simples a pacientes de hospitalización.

## ABSTRACT

The acquisition of new technologies by Health Institutions of Mexican Public Sector has been conditioned to the submission to the Ministry of Health of the assessment to the technology to be acquired, based on the quantity and quality of scientific evidence, epidemiological information and economic evaluation. In this project was developed a methodology to assess the incorporation of new medical technology to a health institution, from a cost-effectiveness analysis supported process management.

The proposed methodology is based on the definition of technology assessment process and was developed by integrating methods of cost analysis, business process modeling, statistical and cost-effectiveness analysis that give shape to the comprehensive assessment of a type of effectiveness established as intermediate.

The project consists of five stages: the first describes the problem that causes to the need for evaluation, the second intended to transform the application for assessment of the institution in the research question.

In the third stage were identified the items that represent the relationship between the use of medical technology and its economic aspect parsing through the implementation of the business process modeling notation (BPMN), descriptive and multivariate statistics and cost-effectiveness. The BPMN modeling was generated workflow indices and process management indicators, and the cost-effectiveness analysis was defined the concept of intra-hospital cost (*CIH*). In the fourth stage we developed a model of cost-effectiveness based on decision trees that represents the technological alternatives for the solution of the question set out at the beginning, and the fifth stage deals with the presentation of results. The proposed methodology was applied to a case study where technological change is questioned in radiology for a health institute which it stresses that the computed radiology is more cost-effective than traditional radiology in simple studies to hospitalization patients.

## INTRODUCCIÓN

La velocidad del desarrollo científico y tecnológico en el campo de la medicina ha generado múltiples tecnologías preventivas, diagnósticas, terapéuticas y de rehabilitación, cuyos resultados en materia de efectividad no siempre son conocidos por las instituciones de salud.

La evaluación de la efectividad, seguridad, implicaciones económicas e impacto social de la tecnología médica se realiza en países desarrollados -y que cuentan con mayores recursos- para planear una introducción ordenada de las diversas tecnologías. Sin embargo, la evaluación tiene mayor importancia en los países donde los recursos son limitados, ya que ésta es necesaria para evitar el uso de tecnologías que eventualmente resulten inapropiadas.

Derivado de lo anterior, la adquisición de nuevas tecnologías por parte de las instituciones médicas del sector público mexicano, ha sido condicionada a la presentación ante la Secretaría de Salud, de la evaluación de la tecnología a adquirir, basada en la cantidad y calidad de evidencia científica, información epidemiológica y evaluación económica.

Es por ello que abordando el problema de manera general se desarrolló en este proyecto un objetivo general que consistió en desarrollar una metodología para evaluar la incorporación de nueva tecnología médica a una institución de salud, partiendo de un análisis costo-efectividad soportado en gestión por procesos.

Se pretende que el resultado final contribuya a que las instituciones de salud elaboren con mayor eficiencia y confiabilidad las evaluaciones necesarias para nuevas tecnologías, no solamente en cuanto al cumplimiento de la normatividad

ante la Secretaría de Salud, sino también para ponderar con certeza la conveniencia de la utilización de determinados equipos médicos.

El presente documento está compuesto por cinco capítulos. En el primero se introduce al lector al concepto de tecnología médica y al proceso de evaluación de la misma, así como a las diferentes aplicaciones de la evaluación económica. En el capítulo dos se describe detalladamente la metodología propuesta. En el tres se presentan los resultados obtenidos de la aplicación metodológica en el Instituto Nacional de Rehabilitación. En el capítulo cuatro se muestran las discusiones, limitaciones, consideraciones metodológicas adicionales y las perspectivas que se vislumbran a futuro, finalmente en el capítulo cinco se presentan las conclusiones del estudio realizado.



## OBJETIVOS

**Objetivo general:** Desarrollar una metodología para evaluar la incorporación de nueva tecnología médica a una institución de salud, partiendo de un análisis costo-efectividad soportado en gestión por procesos.

### Objetivos específicos:

- Conocer el estado del arte de la evaluación tecnológica y económica.
- Analizar las necesidades de evaluación tecnológica de una institución de salud.
- Determinar el método de utilización del modelado de procesos de negocio en el ámbito hospitalario, que permita establecer los elementos relevantes para generar evidencia en aspectos clínicos, tecnológicos y económicos de la tecnología médica.
- Determinar un método de utilización de la gestión por procesos en la evaluación de tecnología médica.
- Realizar un análisis costo-efectividad, a partir de la medición de las consecuencias en la utilización de la tecnología médica y sus aspectos económicos.
- Desarrollar un método de integración de los aspectos anteriores para el desarrollo de la propuesta metodológica.
- Aplicar la propuesta metodológica a un caso de estudio de una institución de salud.

## CAPÍTULO 1 EVALUACIÓN TECNOLÓGICA

Este capítulo introduce al lector al concepto de tecnología médica y al proceso de evaluación de la misma, con la finalidad de ubicarlo en el contexto teórico bajo el cual se realizó la propuesta metodológica.

El concepto de tecnología médica de acuerdo a la Oficina de Evaluación de Tecnologías (Office of Technology Assessment, OTA) de los Estados Unidos (1972-1995), lo conforman los medicamentos, equipos, procedimientos médicos y quirúrgicos utilizados en la atención médica, así como los sistemas organizativos con los que se presta la atención en salud [1].

A continuación se presentan algunos ejemplos de cada elemento que conforma a la tecnología médica [2]:

*Medicamentos:* medicamento citostático para la quimioterapia, medicamentos para tratar el mal de Parkinson.

*Preparaciones biológicas:* vacunas, productos sanguíneos.

*Equipo, dispositivos y suministros:* marcapasos, tomografía computada, kits de pruebas de diagnóstico, medias elásticas.

*Procedimientos médicos y quirúrgicos:* terapia manual, terapia nutricional, tratamiento médico de la demencia, terapia cognitiva, tratamiento quirúrgico de la miopía.

*Procedimientos de diagnóstico y técnicas:* determinación de la capacidad funcional, diagnóstico de la depresión, química sanguínea, palpación.

*Presentación del conocimiento:* escuelas especializadas, programas de salud preventiva, campañas de dieta.

*Sistemas de apoyo:* sistemas de telemedicina, sistemas electrónicos de reserva, laboratorios clínicos, banco de sangre.

*Organización y sistemas de gestión:* equipos de extensión de psicosis, programas de visitas a domicilio, programas de vacunación.

## **1.1 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. Las fases predominantes del ciclo de vida de la tecnología son las fases de investigación, experimentación y fabricación.

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 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 [3-5].

## **1.2 ¿QUÉ ES EVALUACIÓN TECNOLÓGICA?**

La Red internacional de Agencias de Evaluación de Tecnologías para la Salud (INAHTA, por sus siglas en inglés), define a la evaluación tecnológica como un campo multidisciplinario que estudia las implicaciones médicas, sociales, éticas y económicas del desarrollo, introducción, difusión y uso de la tecnología, con la

finalidad de realizar recomendaciones para la toma de decisiones en las políticas de salud y de la práctica médica [2,6].

### **1.3 PROPÓSITO DE LA EVALUACIÓN TECNOLÓGICA**

El propósito de la evaluación tecnológica que establece el Programa de Acción Específico 2007-2012 de la Secretaría de Salud, tiene como objetivo principal proporcionar información confiable, pertinente, relevante y útil a los profesionales del cuidado de la salud, de forma que ésta sirva para sustentar las decisiones y las políticas en salud; además que esté orientada a fortalecer la capacidad de gestión y evaluación tecnológica en los niveles local, regional, nacional e internacional [6].

En este proyecto, el propósito de la evaluación tecnológica es brindar la evidencia de la efectividad intermedia que presenta la tecnología médica en la atención a la salud, integrando aspectos económicos, tecnológicos y de gestión por procesos, que sustente la incorporación de la misma a una institución de salud.

### **1.4 NIVELES DE LA EVALUACIÓN TECNOLÓGICA**

La información que proporcionan las evaluaciones tecnológicas resultan útiles en diferentes niveles de las organizaciones de salud y constituyen una herramienta importante para orientar la toma de decisiones [6].

A nivel *macro*, la información es utilizada por los altos directivos de los servicios de salud para la elaboración de políticas relacionadas con la planeación, organización, cobertura y regulación de los propios servicios. Esto significa que se toman decisiones relacionadas con el Sistema Nacional de Salud.

A nivel *meso*, los directores o administradores de servicios de salud emplean la información para la planeación, gestión, adquisición, administración, uso y

monitoreo de la tecnología médica. En este sentido, las decisiones impactan a las instituciones de salud.

A nivel *micro*, -de atención a los pacientes-, la información es útil en la disminución de la variabilidad en la atención médica, al establecer marcos de referencia que orienten y guíen los actos médicos en la atención de condiciones clínicas específicas. En este sentido la información proveniente de la evaluación puede ser empleada en la elaboración de guías de práctica clínica y en general de información para profesionales de la salud. Esto significa que la toma de decisión se genera dentro del entorno médico y se relaciona con la atención directa hacia el paciente.

## 1.5 PROCESO DE LA EVALUACIÓN TECNOLÓGICA

La evaluación tecnológica se orienta al análisis de la información disponible acerca de los efectos relacionados al uso de la tecnología, así como a la generación del conocimiento útil que sustente la toma de decisiones.

Por tanto el proceso de evaluación tecnológica traduce el dominio de la investigación al de la toma de decisiones, como lo muestra la figura 1.1, asimismo en su etapa intermedia llamada análisis de la evidencia o *eje horizontal* se encuentran cuatro **elementos principales** (Figura 1.2).

Los elementos son: el paciente, la organización, la economía y la tecnología; que emergen como puntos de referencia para el desarrollo del proceso ya que cada uno de ellos permite abordar con mayor claridad los efectos y consecuencias del uso de la tecnología [2].

El análisis de estos elementos no puede realizarse por separado ya que existe un intercambio de información y resultados entre ellos. Por ejemplo, el paciente, el equipo médico, medicamentos y economía, intercambian información en relación

con la organización (flujo de trabajo) establecida en la institución en donde se realiza la evaluación.

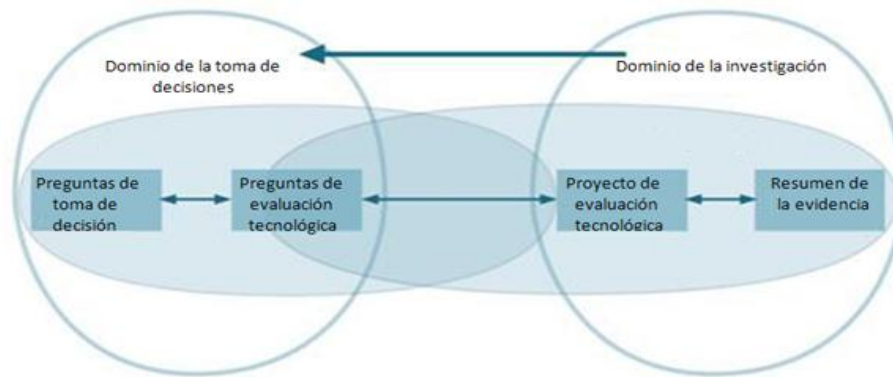


Figura 1.1 Dominios de la toma de decisiones y de investigación a través de la evaluación tecnológica [2].

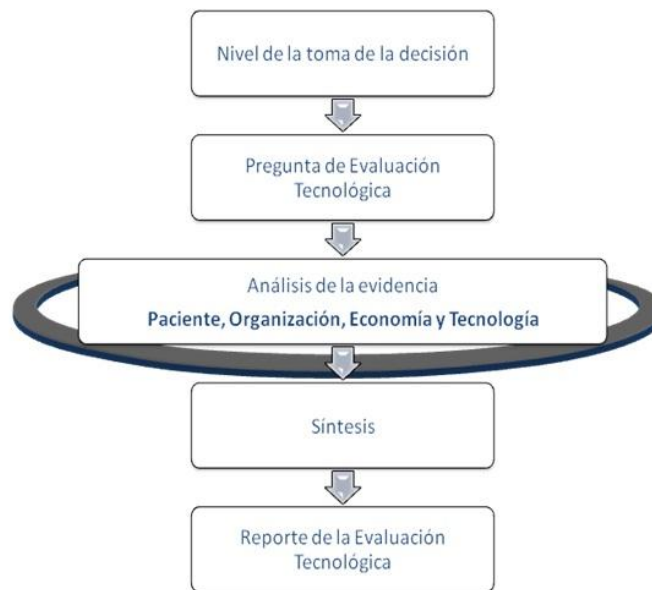


Figura 1.2 Proceso de la evaluación tecnológica [2].

Por tanto, el análisis exclusivo del *eje horizontal* (análisis de la evidencia) no es suficiente para la realización de una evaluación tecnológica. Por esto es importante la existencia del *eje vertical* (Figura 1.2), en donde sus elementos (*nivel de la toma*

*de decisión, pregunta de investigación, síntesis y reporte*) son independientes pero interrelacionados en el proceso de evaluación [2].

A continuación se describen algunos aspectos relacionados con el análisis de la organización y economía que se encuentran en el eje horizontal antes mencionado.

## **A) ANÁLISIS DE LA ORGANIZACIÓN.**

El análisis de la organización se centra en los procesos de cambio vinculados al uso de la tecnología en las instituciones de salud. Por lo que a continuación se mencionan algunos criterios que se han considerado en este trabajo:

- Cuando una nueva tecnología aún no ha sido incorporada se puede comenzar con una búsqueda sistemática de la literatura. Dependiendo del contexto, se decide si los resultados y conclusiones encontrados pueden ser adaptados a la problemática a abordar en el ámbito de la evaluación. Si no es posible directamente transferir los resultados y conclusiones, pueden ser tomados como referencia, tanto en el uso de métodos empleados en el análisis, como en la identificación de las categorías estudiadas [2].
- Al realizar diagramas de procesos de los procedimientos clínicos que se llevan a cabo en la atención a los pacientes [2], se representa la base para las evaluaciones que muestran cambios generados por la incorporación de la nueva tecnología, así como su aspecto económico.
- En una institución de salud, la evaluación de un cambio tecnológico se propone como resultado de sus propias demandas y necesidades ya sea por una mejor atención o tratamiento a los pacientes o un mejor manejo de los recursos económicos, generando que las evaluaciones deban realizarse en la misma institución que la demanda.

## B) EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Se define a la evaluación económica como el *análisis comparativo de las acciones alternativas en términos de sus costos y consecuencias* [7]. Así las acciones básicas de cualquier evaluación económica son identificar, cuantificar, valorar y comparar costos y consecuencias de las alternativas consideradas [7]. Dichos componentes son característicos de todas las evaluaciones económicas, incluidas las relacionadas con los servicios hospitalarios.

En la figura 1.3, se muestran como los recursos consumidos por la tecnología evaluada han sido considerados dentro de tres sectores. En cada sector se deben medir las cantidades participantes y calcular los costos totales. El consumo de los recursos en el sector salud es relativamente directo, con elementos como medicamentos, equipo, hospitalización, visitas del médico, etc.

La consideración de los recursos relacionados a los pacientes y sus familiares, dependerá de la perspectiva elegida en la evaluación económica. Algunas pueden ser los gastos directos derivados de trasladarse al hospital, ó pagos varios, además de los gastos incurridos en el hogar (por ejemplo, adaptar una habitación para acomodar una máquina de diálisis domiciliaria). Los recursos consumidos en otros sectores dependen normalmente de la naturaleza del programa evaluado.

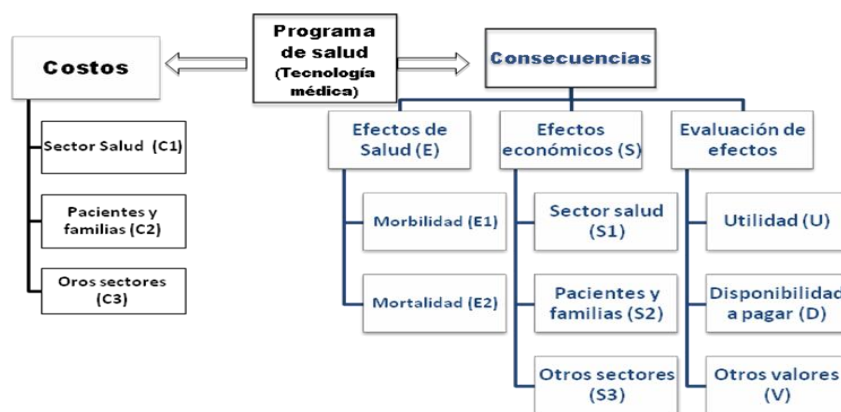


Figura 1.3 Componentes de la evaluación económica en el sector salud [7].



En relación con las consecuencias, se observa que éstas pertenecen fundamentalmente a tres categorías, en función del cambio del estado de salud de los pacientes. Esto se puede medir en términos de medidas finales (E) en un *análisis de costo-efectividad (ACE)*, o valorarlo en forma de preferencias de estado de salud (U) en un *análisis de costo-utilidad*, o bien en términos de ganancia monetaria (D) en un *análisis de costo-beneficio* [7].

Por su parte, la medición de la efectividad se plantea de acuerdo al impacto que tenga en el paciente en:

- Medidas finales, en donde interviene directamente el estado de salud del paciente, son aquellas donde la unidad natural de medida es el número de vidas salvadas o número de años de vida ganados.
- Medidas intermedias, en donde intervienen pero no tienen un efecto directo en la salud del paciente, son aquellas cuyas unidades naturales de medida son por ejemplo los parámetros fisiológicos, la estancia hospitalaria, etc.

También existen otras consecuencias que la tecnología evaluada puede crear no necesariamente ligadas a la mejora de estados de salud. Entre ellas, el valor de la información o bien que el paciente sea tranquilizado acerca de su estado de salud (V), como lo muestra la figura 1.3.

Debido a que la evaluación puede analizarse desde diferentes perspectivas, se han desarrollado conceptos matemáticos que permiten al analista realizar una evaluación acorde a sus necesidades, los cuales se muestran en la tabla 1.1.

Dependiendo de la perspectiva adoptada en una evaluación económica, pueden visualizarse diversas consecuencias, por lo que a continuación se describen brevemente algunos ejemplos de evaluaciones económicas realizadas:

- Comparación de formas alternas de mejorar la salud. Se pondera si se debe invertir más en la atención directa a la salud o bien en el control de la contaminación o en la seguridad de las carreteras, por ejemplo; estos estudios comparan el costo y el beneficio de los diferentes programas.
- Estudios económicos en los medicamentos. En la actualidad, los fabricantes de varios países realizan estudios económicos y los presentan a los ministerios de salud antes de que éstos tomen la decisión de avalar el nuevo medicamento que se utilizará abundantemente dentro del sistema de atención a la salud.
- Planeación de tecnologías específicas, cuya instalación implica la erogación de cuantiosos recursos financieros [8]. En este punto la evaluación puede contribuir a una toma de decisiones acertada respecto al número de tecnologías que se pueden instalar en un país.
- Demostración de la efectividad y la eficiencia de una tecnología. La evaluación económica es requerida a los proveedores de tecnologías, obteniendo así la seguridad de que las nuevas tecnologías serán redituables. Por ejemplo, durante muchos años la Organización de Seguros para la Salud en Holanda ha contado con un programa para evaluar cada tecnología antes de tomar la decisión de incluirla en su paquete de seguros [7].

Tabla 1.1 Conceptos matemáticos de la evaluación económica [7].

Análisis de minimización de costos	$(C_1 - A_1)$ $(C_1 + C_2 + C_3) - (A_1 + A_2 + A_3)$
Análisis costo-efectividad	$(C_1 - A_1) / E$ $[(C_1 + C_2 + C_3) - (A_1 + A_2 + A_3)] / E$
Análisis costo-utilidad	$(C_1 - A_1) / U$ $[(C_1 + C_2 + C_3) - (A_1 + A_2 + A_3)] / U$
Análisis costo-beneficio	$(D) - (C_1 + C_2 + C_3)$ $[(D + V + A_1 + A_2 + A_3) - (C_1 + C_2 + C_3)]$

Donde C= Costo, A = Ahorro, E = Efectividad, U = Utilidad, D= Disponibilidad a pagar y V= otros valores

Las evaluaciones económicas han sido aplicadas a elementos de la tecnología médica tales como medicamentos, procedimientos clínicos/quirúrgicos, así como a los sistemas organizativos. Este proyecto ha integrado el análisis costo-efectividad a la evaluación de equipo médico radiológico de una institución de salud basándose en una efectividad intermedia (sección 3.3.2).

## **1.6 EVALUACIONES TECNOLÓGICAS**

Los países desarrollados han creado e implementado metodologías para la estandarización y generación de evidencia científica en las evaluaciones tecnológicas [2,7, 9-13].

México, tomando en cuenta la importancia de la evaluación tecnológica en el contexto de la toma de la decisión, se ha propuesto la tarea de incorporarla al ámbito hospitalario para evitar tecnologías inapropiadas que no puedan emplearse plenamente, así como procurar la mejor asignación y utilización de los recursos [6].

Existen en el país metodologías para evaluaciones a nivel micro y macro, una de las cuales describe el proceso de elaboración de evaluaciones basadas en datos obtenidos por estudios internacionales [14], y otra muestra un enfoque económico, que tiene su aplicación directa en la actualización del cuadro básico de insumos del Sector Salud [15].

Actualmente el Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC) con fundamento en la Ley General de Salud<sup>1</sup> instruye a las instituciones de salud en la aplicación del Certificado de Necesidad de Equipo Médico en la planeación de nuevos establecimientos de atención médica y en la adquisición de nuevos equipos

---

<sup>1</sup> Artículo 77 BIS 30. Capítulo VI, del Fondo de Protección contra Gastos Catastróficos y en el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Protección Social en Salud, artículo 37

altamente especializados y de alto costo, considerando así, criterios técnicos, epidemiológicos y de costo-beneficio para la sociedad<sup>2</sup>.

Por consiguiente, al considerar que la evidencia de una evaluación tecnológica debe hacerse tomando en cuenta sus elementos principales [2], este proyecto contempla además de los aspectos económicos, la medición de las consecuencias en la utilización de los equipos médicos, en un análisis de costo-efectividad (capítulo 3, sección 3.3.2).

---

<sup>2</sup> [http://www.cenetec.salud.gob.mx/interior/cert\\_nec.html](http://www.cenetec.salud.gob.mx/interior/cert_nec.html)

## CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

La metodología propuesta se fundamenta en la definición de proceso de evaluación tecnológica y se desarrolló mediante la integración de métodos de análisis de costos, modelado de procesos de negocios, análisis estadístico y análisis costo-efectividad que dan forma a la evaluación integral de un tipo de efectividad establecida como intermedia.

Se compone de cinco etapas, como lo muestra la figura 2.1. En la tercera etapa, se identifican los elementos que representan la relación entre el uso del equipo médico y el aspecto económico.

En la cuarta etapa, se desarrolló un modelo de costo-efectividad basado en árboles de decisión que representan las alternativas tecnológicas para la solución a la pregunta establecida en la segunda etapa.

Finalmente en la quinta etapa se define la estructura final de presentación de resultados, sin embargo esta etapa no fue abordada detalladamente en este documento. Por lo que a continuación se describen las cuatro etapas iniciales.

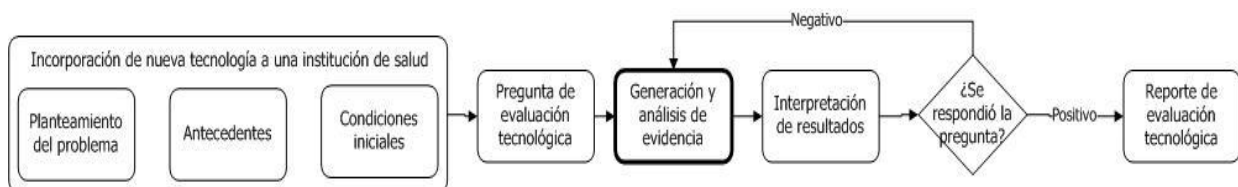


Figura 2.1 Metodología propuesta

### 2.1 INCORPORACIÓN DE NUEVA TECNOLOGÍA A UNA INSTITUCIÓN DE SALUD

La incorporación de nueva tecnología a una institución de salud se describe a partir de tres aspectos: el planteamiento del problema que da origen a la necesidad de la evaluación, la identificación de antecedentes aplicables al problema específico y la

descripción detallada de las condiciones iniciales del servicio médico en donde se inicia la evaluación; a continuación se describen estos factores que se muestran en la figura 2.1.

### **2.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La descripción del problema comienza con un análisis de la necesidad del cambio tecnológico en la atención a los pacientes. Posteriormente se describen de manera clara los beneficios que se pretenden obtener con éste cambio, justificando con ello la importancia de la evaluación. Por último se plantean las condiciones bajo las cuales ésta se llevará a cabo.

### **2.1.2 BÚSQUEDA DE ANTECEDENTES**

Se identifican las investigaciones relacionadas con la tecnología médica de interés, y su incorporación al ámbito hospitalario. Si la información es aplicable a la institución donde se desarrolla la evaluación, se hace una síntesis cuantitativa de los resultados [14], en caso de que la información no sea antecedente directo del problema a tratar, ésta se toma sólo como referencia.

### **2.1.3 CONDICIONES INICIALES**

Es el contexto bajo el cual se desarrolla la evaluación, se analizan las condiciones iniciales del servicio médico identificando la capacidad tecnológica instalada, aplicaciones clínicas y áreas médicas que demandan el uso del equipo médico a evaluar (Figura 2.1).

## **2.2 PREGUNTA DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA**

Tiene como finalidad transformar la solicitud de evaluación de la institución de salud en preguntas de investigación, en donde se determinan los aspectos que se analizarán en el caso de estudio específico [14].

## 2.3 GENERACIÓN Y ANÁLISIS DE EVIDENCIA

En la generación de la evidencia se identifica la evaluación económica a realizar además de lo mencionado en la sección 2.1.3.

La identificación de la aplicación clínica del equipo médico se logra cuando es utilizado por el personal involucrado en la atención a los pacientes. Esta aplicación sigue un flujo de trabajo que se propone sea modelado (sección 2.3.1), para generar índices de flujo de trabajo encargados de medir los tiempos de utilización del equipo médico (Figura 2.2).

A partir de estos índices se generan los indicadores de gestión por procesos y se integra el índice del tiempo total promedio de participación del personal involucrado, al análisis de costos como parte de la evaluación económica a realizar.

La evaluación económica que se aborda en esta propuesta metodológica se centra en la realización del análisis costo-efectividad, en donde se realiza una comparación de costos y consecuencias del equipo médico a evaluar (Figura 2.2).

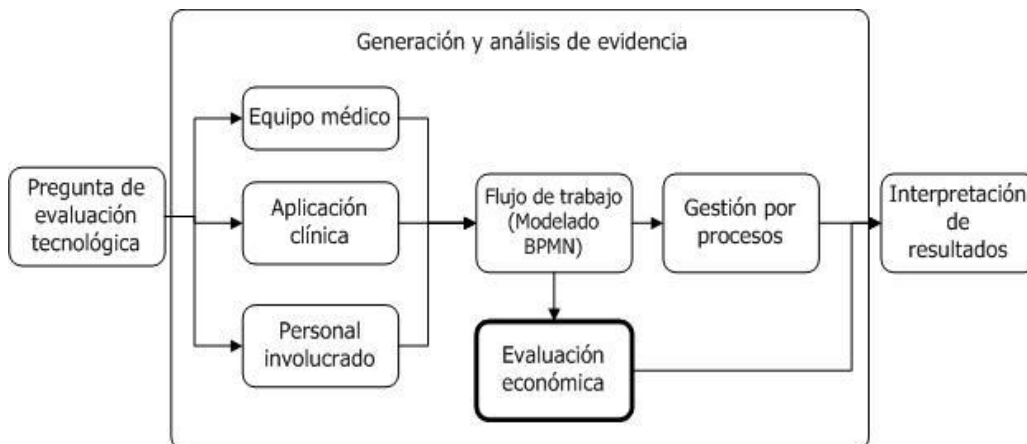


Figura 2.2 Generación y análisis de evidencia.

### 2.3.1 GESTIÓN POR PROCESOS EN EL ÁMBITO HOSPITALARIO

El análisis de los procesos muestra la utilización del equipo médico en la institución de salud e involucra la dinámica tanto del paciente como del personal involucrado [11-13]. Para ello se pueden realizar modelados estándares de procesos de negocios en BPMN [16,17], con el software BizAgi Process Modeler de licencia libre, el cual permite de forma fácil modelar este estándar [18]<sup>3</sup>.

La técnica y la herramienta de modelado propuestas consideran modelos con notación estandarizada y son comprensibles por los no especialistas en modelado permitiendo una *vista multinivel de los procesos*. Esto es, que puede modelarse desde actividades simples hasta procesos complejos donde interactúan diferentes áreas de la institución.

Como se mencionó anteriormente, una forma cuantitativa de medir el flujo de trabajo es generando índices, donde cada uno de ellos proporciona el tiempo de las actividades del proceso y esta información puede ser analizada mediante estadística multivariada.

Se muestra en la figura 2.3 los índices generados en el caso de estudio del capítulo 3. A partir de éstos se definieron los indicadores de gestión por procesos que permitieron medir la productividad del servicio médico, el rendimiento de los equipos, etc.

La validez de los indicadores e índices se sustenta con la información documental y de campo obtenida en la institución, la cual se muestra en la figura 2.4.

---

<sup>3</sup> Existen otras herramientas como: Enterprise Architect®.- Software Tool for UML 2.1. Process Simulator.- Promodel® Corporation, etc.



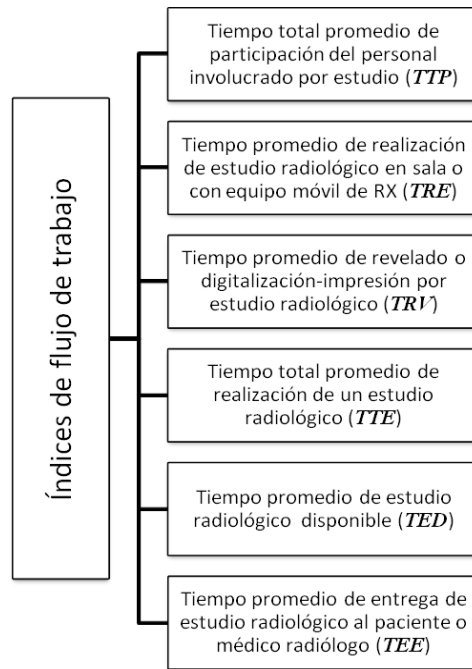


Figura 2.3 Índices de flujo de trabajo.

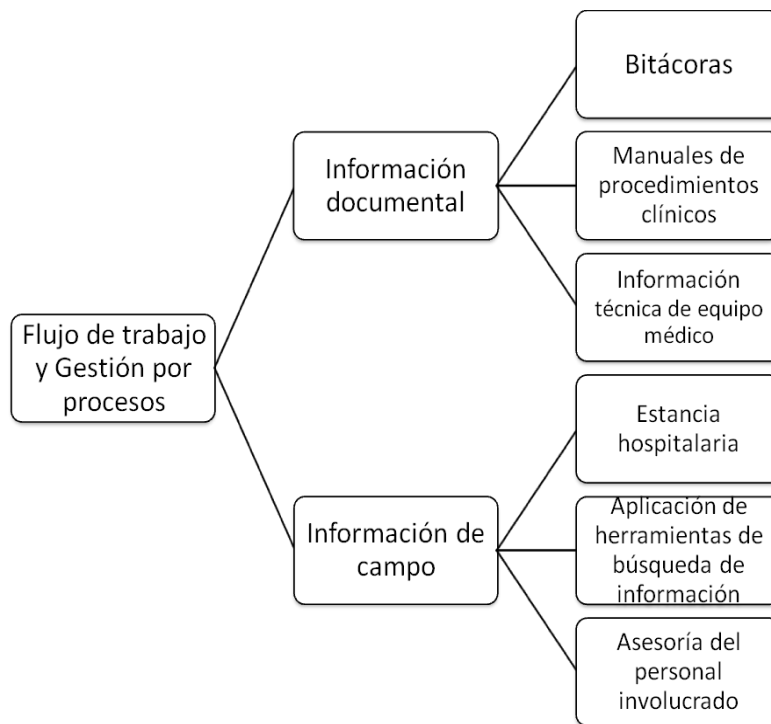


Figura 2.4 Información requerida para el análisis del flujo de trabajo y gestión por procesos.

### 2.3.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Cuando el uso de diferentes equipos médicos no se espera que produzca el mismo resultado tanto en costos como en consecuencias, éstos pueden ser evaluados mediante un análisis de costo-efectividad, considerándola una evaluación económica completa ya que se comparan costos y consecuencias de dos o más alternativas tecnológicas.

La realización del análisis costo-efectividad a equipo médico se fundamenta en métodos existentes en la literatura [2, 7, 9, 10], en la figura 2.5 se muestran sus componentes y a continuación se describen brevemente cada uno de ellos:

Se define un periodo de análisis (**horizonte temporal**) en el que se evalúa con la mayor cantidad de información disponible [2, 7, 9, 10], el uso del equipo médico. Con el propósito de considerar costos de capital anualizados, se acota esta temporalidad a un año [7].

La **perspectiva**, es crucial para determinar qué fuentes de información y costos pueden ser identificados [2] y tiene una relación directa con el nivel de toma de decisión de la evaluación (sección 1.4); por lo que al plantear esta metodología para un nivel meso, se pueden considerar sólo los costos asociados a la utilización del equipo médico en la institución de salud.

En seguida, se analiza la demanda del equipo médico a evaluar, tomando en cuenta los reportes de estudios realizados y pacientes atendidos por área solicitante (**capacidad operativa**). Esta información puede presentarse en probabilidades de ocurrencia [19], con la finalidad de ponderar información globalizada.

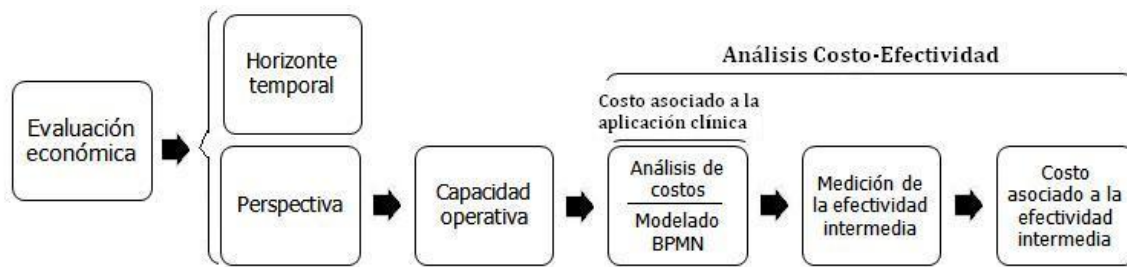


Figura 2.5 Evaluación económica de equipo médico.

En la sección de **análisis de costos** se presentan por separado los costos fijos y variables. En éstos últimos, se toman en cuenta los costos asociados al índice de tiempo total promedio de participación del personal involucrado (Figura 2.6). Lo anterior se realiza bajo el marco teórico de la función de producción, métodos de costeo y cálculo de costo anual equivalente [7, 20, 21].

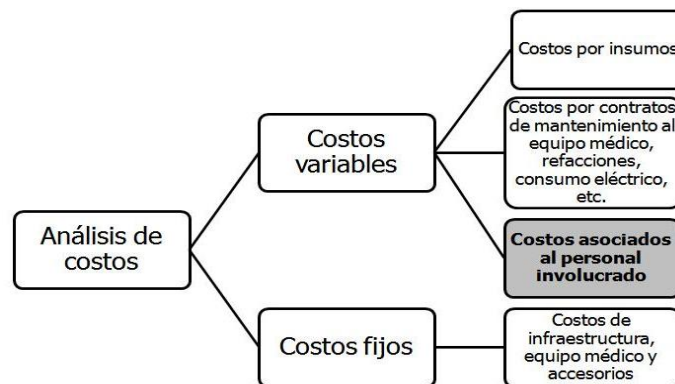


Figura 2.6 Análisis de costos de equipo médico.

Los costos y las cantidades consideradas en el análisis son ajustados a una base común, por tanto, pertenecen al mismo periodo de evaluación seleccionado. Lo anterior se aplica en el caso de que el origen de los costos y precios que se usan en la evaluación económica provengan de años diferentes; éstos deben expresarse a precios constantes de un sólo año y para hacerlo se deben considerar las tasas de inflación específicas para el sector salud publicadas por el Banco de México [22].

Bajo un escenario base, los costos son descontados a una tasa del 5%, que es la convención de facto para las evaluaciones económicas en el ámbito hospitalario [7].

Para la realización del análisis de costos, es indispensable identificar las fuentes de información que se muestran en la figura 2.7 y la información específica que proporciona cada una de ellas como se muestra en la figura 2.8.

El resultado obtenido de la sección de análisis de costos, representa el costo asociado a la aplicación clínica del equipo médico evaluado, el cual se aborda en la sección 3.3.2 del caso de estudio (Figura 2.5).

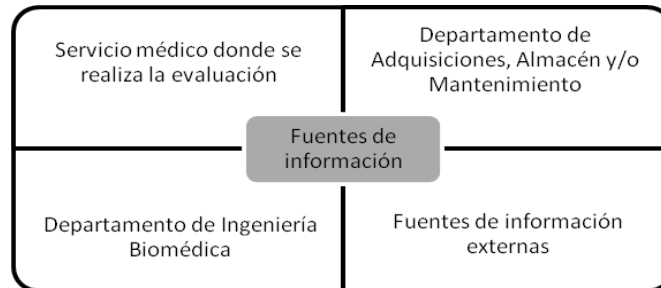


Figura 2.7 Fuentes de información para el análisis de costos de equipo médico.

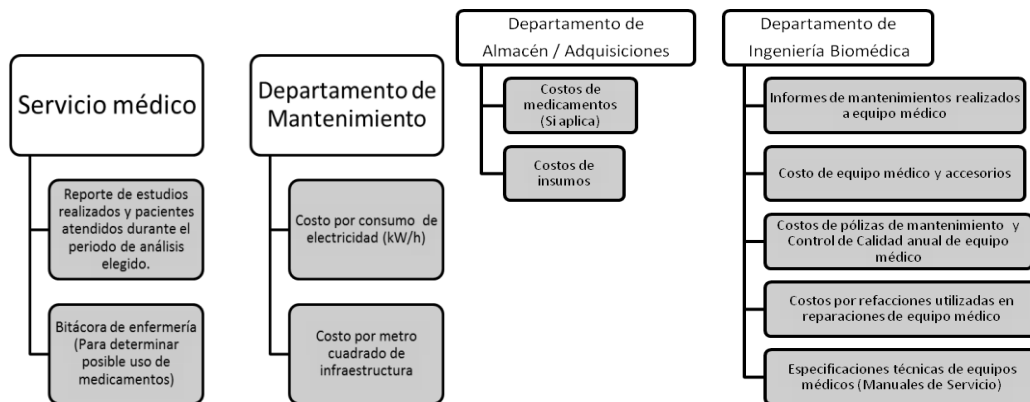


Figura 2.8 Información específica para el análisis de costos de equipo médico.

Las consecuencias de la utilización del equipo médico en las instituciones de salud pueden ser medidas en unidades intermedias [14], definiendo así en la sección 3.3.2-B un indicador que incide directamente en la calidad de la atención que se presta al paciente, por lo que se calculó el número de estudios radiológicos repetidos por paciente (*ERP*).

Se calcula finalmente, bajo el mismo método de análisis de costos mencionado anteriormente, el costo asociado a la efectividad intermedia (Figura 2.5).

### **2.3.3 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS**

El análisis comparativo se aborda en términos de sus costos y consecuencias, además del impacto real en los índices de flujo de trabajo e indicadores de gestión por procesos, en la utilización del equipo médico.

El impacto de la efectividad intermedia en los costos, permitió definir el concepto de costo intra-hospitalario como el costo efectivo o real que le implica a la institución de salud brindar la atención médica al paciente con el equipo médico evaluado (sección 3.3.2, inciso B).

Adicionalmente el impacto de la efectividad intermedia también puede verificarse en los indicadores de gestión por procesos e índices de flujo de trabajo (sección 3.4).

## **2.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

El modelado económico facilita la toma de decisiones en la evaluación de tecnología médica y ha sido aplicado principalmente a programas de salud, tratamientos clínicos y medicamentos, considerado como una medición de efectividad final. En este trabajo se aplicó el modelado económico en la evaluación de equipo médico radiológico con efectividad intermedia. A continuación se describe el modelado realizado.

Se realizaron árboles de decisión, que es un método ligeramente más sofisticado que la utilización exclusiva de fórmulas (Tabla 1.1), en donde cada rama representa una alternativa tecnológica evaluada<sup>4</sup>. De los resultados obtenidos en esta sección, se aplicaron los criterios mostrados en la tabla 2.1.

Si la evaluación económica muestra que el uso de un equipo médico en la institución de salud es más efectivo que otro, y a su vez el menos costoso, esta alternativa se considera más costo-efectiva. En el caso de igual efectividad, la alternativa con el menor costo debe ser la alternativa preferida. En los casos anteriores se dice que existe una alternativa dominante.

Tabla 2.1 Tabla de decisión de costo-efectividad [2,7].

Tecnología nueva (n) VS Tecnología anterior (a)	Menor efectividad $E_n < E_a$	Misma efectividad $E_n = E_a$	Mayor efectividad $E_n > E_a$
Menos costo $C_n < C_a$	1. Decisión no clara -No dominante	4. Tecnología nueva domina a la anterior. Introducir la tecnología nueva	7. Tecnología nueva domina a la anterior. Introducir la tecnología nueva.
Mismo Costo $C_n = C_a$	2. Tecnología anterior domina a la nueva	5. Las tecnologías son igualmente buenas	8. Tecnología nueva domina a la anterior. Introducir la tecnología nueva.
Mayor Costo $C_n > C_a$	3. Tecnología anterior domina a la nueva	6. Tecnología anterior domina a la nueva	9. Decisión no clara. -No dominante

$E_n$ = Efectividad de la tecnología nueva /  $E_a$ = Efectividad de la tecnología anterior /  $C_n$ = Costo de la tecnología nueva  
 $C_a$ = Costo de la tecnología anterior

<sup>4</sup> Se utilizó el Software TreeAge Pro®.

## CAPÍTULO 3 CASO DE ESTUDIO

### Evaluación de la transición hacia un servicio de radiología digital

Este capítulo presenta los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología propuesta, en la evaluación de la transición hacia un servicio de radiología digital en el Instituto Nacional de Rehabilitación (INR).

#### 3.1 INCORPORACIÓN DE NUEVA TECNOLOGÍA A UNA INSTITUCIÓN DE SALUD

Se identificó el problema que origina la evaluación de tecnología radiológica en el instituto, así como las diferentes perspectivas de evaluaciones reportadas en la literatura de tecnologías radiológicas convencionales, computadas y digitales; además se abordaron los antecedentes del INR.

Finalmente se describió las condiciones iniciales del servicio de radiología y se analizó la evidencia identificando a los elementos principales de la evaluación del equipo médico radiológico.

##### 3.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El servicio de radiología del INR realiza estudios para apoyar al personal médico, tanto en el diagnóstico como en el tratamiento clínico-quirúrgico de los pacientes con discapacidad.

Desde su creación, el INR ha contado con tecnología radiológica convencional, que ha ocasionado un alto número de desecho de placa radiográfica y químicos<sup>5</sup> además de que ha incidido directamente en la calidad de la atención que se presta al paciente, ocasionando largos períodos de espera por fallas frecuentes en las

---

<sup>5</sup> Departamento de servicios generales del INR. *Bitácora de desecho químico* (2007-2009).

procesadoras de placas, así como altos costos en insumos<sup>6</sup>, además de un manejo ineficiente de la información radiológica.

La situación anterior puede ser mejorada mediante la instalación de sistemas de adquisición de imágenes médicas 100% digitales que a través de una red pueda transferirlas, almacenarlas y visualizarlas. Sin embargo estos sistemas representan altas erogaciones institucionales, por lo que para el INR es indispensable presentar ante las autoridades de la Secretaría de Salud un estudio profesional de evaluación tecnológica, basada en la cantidad y calidad de evidencia científica, información epidemiológica y evaluación económica, valorando si el uso de una u otra tecnología eleva o reduce el costo agregado, así como si su uso producirá cambios en la organización del trabajo.

De lo anterior se deriva que la evidencia científica que aporta una revisión sistemática de la literatura no sea suficiente, por lo que esta evaluación se contextualizó al propio ámbito de la toma de decisión del INR [7].

### **3.1.2 ANTECEDENTES**

Las evaluaciones de tecnologías radiológicas se han desarrollado desde diferentes perspectivas:

Algunos autores consideran que la incorporación de nueva tecnología radiológica al ámbito hospitalario brinda cambios en el *flujo de trabajo*, así como en la distribución y usos de los espacios [23-28,30-32]. Por esto, una forma de medir cuantitativamente los beneficios obtenidos de una migración de técnicas convencionales a las digitales, es el impacto en la productividad de los departamentos de imagenología siendo éste un elemento crucial en la determinación de la eficiencia operativa y de los costos [23-30].

---

<sup>6</sup> Departamento de Almacén y Farmacia del INR. Costos por insumos del servicio de radiología (2007-2009).



Debido a que la medición del impacto en la productividad ha dependido directamente del proceso de utilización de la tecnología médica en dichos lugares, los resultados obtenidos en estas investigaciones no pudieron ser aplicados al contexto del INR.

Respecto a la perspectiva clínica se han realizado evaluaciones de precisión diagnóstica. En ellas el personal médico de los departamentos de imagenología determina las diferencias entre diagnosticar con imágenes digitales y placas radiográficas [33]; estos resultados sólo se consideraron como referencia, ya que en este trabajo se abordó el aspecto económico que se describe detalladamente en la sección 3.3.2.

En el contexto económico, la evidencia que ha generado la incorporación del análisis de costos en la radiología [33,34], ha permitido comparar tratamientos para los pacientes a través de estudios de costo-efectividad [35-39]. Lo que significa que las evaluaciones económicas en radiología generalmente se han enfocado a un nivel micro, los métodos empleados en estos casos de estudio son un antecedente directo para este trabajo, aunque su perspectiva de evaluación haya sido orientada a tratamientos clínicos.

A continuación se abordan brevemente los antecedentes del INR.

El INR es una institución de salud dedicada a la prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de los padecimientos que llegan o pueden llegar a ocasionar alguna discapacidad a las personas. Para ello cuenta, entre otros, con un servicio de radiología que atiende a pacientes de consulta externa, hospitalización, urgencias y quirófano.

El servicio de radiología está distribuido en las áreas de RX Central, RX Urgencias y RX Quirófanos. Labora las 24 horas del día con los siguientes turnos: *matutino* de

6:00 a 14:00 horas, *vespertino* de 13:30 a 21:30 horas, *jornada acumulada* de 8:00 a 20:00 horas (fines de semana y días festivos) y *nocturno* de 18:00 a 6:00 horas.

Cuenta con equipo de radiología convencional, computada y digital distribuido en cinco salas en RX central y una en urgencias, además de equipos móviles de RX en quirófanos, así como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Capacidad tecnológica instalada.

Área	Sala	Equipo de RX
RX Central	1	Rayos x telemando marca Siemens Siregraph
	2	Arco en C fijo marca Siemens Polystar Top Una estación de digitalización y post procesamiento
	3,4 y 5	Rayos X Telemando marca Shimadzu RS-110 CR FULL Body Cassette Holder AGFA, instalado en la sala cinco.
		Estaciones de digitalización AGFA CR-30X y CR85X e impresoras AGFA Drystar 5302. Sistema de información radiológica ( <b>RIS</b> ). Rayos X Móvil marca Siemens Mobilett II
RX Quirófanos		Rayos X Móvil marca: Siemens Mobilett II, Shimadzu MU-125M, Toshiba IME-200A
		Estación de digitalización AGFA CR-30X e impresora AGFA Drystar 5302.
RX Urgencias	Urgencias	RX Fijo Digital marca Siemens Multix, con impresora AGFA Drystar 5302.

Fuente: Servicio de Radiología del INR

### 3.1.3 CONDICIONES INICIALES

La radiología convencional en el INR contempló el uso de equipos de revelado automático marca Sigex Multi-V45X, equipo de RX fijo marca Shimadzu BK-120M y chasis con pantallas intensificadoras.

Se compararon equipos médicos que cuentan con las mismas características técnicas y/o funcionalidad (Tabla 3.2), la cual está directamente relacionada con la aplicación clínica a los pacientes (Tabla 3.3).

Sin embargo con la finalidad de presentar de manera detallada estas comparaciones se han seleccionado el estudio simple de hospitalización y el estudio simple de urgencias como ejemplos de procedimientos radiológicos convencionales, computados y digitales en el instituto. No obstante, la evaluación de equipo médico consideró la funcionalidad completa en el servicio de radiología del INR (Tabla 3.3).

Tabla 3.2 Equipo médico incluido en la evaluación tecnológica.

Servicio de Radiología del INR	Área	RV	RC	RD
	RX Central	Revelado convencional / Agenda	Estaciones de digitalización e impresoras / RIS	
	RX Quirófanos	Revelado convencional	Estación de digitalización e impresora	
	RX Urgencias	Equipo de RX fijo y revelado convencional		Equipo de RX fijo digital e impresora

RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

Tabla 3.3 Funcionalidad de los equipos médicos radiológicos en el INR.

Área	Aplicación clínica
RX Central	Estudios Simples de Consulta Externa
	Estudios Simples de Hospitalización
	Estudios Especiales
RX Quirófano	Estudios Simples de Quirófanos
RX Urgencias	Estudios Simples de Urgencias

### 3.2 PREGUNTA DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA

¿La radiología computada/digital es más costo efectiva que la convencional en el INR?

Con el propósito anterior se plantearon cuatro fases u objetivos específicos:

**Fase I.** Evaluación de la tecnología radiológica utilizada en los procedimientos con radiología convencional (RV) en el servicio de radiología del INR.

**Fase II.** Evaluación de la tecnología radiológica utilizada en los procedimientos con radiología computada (RC) en el servicio de radiología del INR.

**Fase III.** Evaluación de la tecnología radiológica utilizada en los procedimientos con radiología digital (RD) en el servicio de radiología del INR.

**Fase IV.** Determinación de los criterios de comparación de las tecnologías radiológicas anteriores.

### **3.3 GENERACIÓN Y ANÁLISIS DE LA EVIDENCIA**

En esta sección se describen detalladamente los indicadores e índices generados para el análisis de los flujos de trabajo y gestión por procesos, así como de la evaluación económica de la tecnología radiológica.

#### **3.3.1 GESTIÓN POR PROCESOS**

Se desarrolló un modelado en BPMN de alto nivel, con la finalidad de visualizar las áreas médicas que demandan estudios radiológicos al servicio de radiología, como se muestra en el anexo 1 figura A1.1, éstas áreas son urgencias, consulta externa, hospitalización y quirófano.

Un segundo modelado mostrado en el anexo 1 de la figura A1.2 a la A1.5 permitió visualizar las actividades asociadas al personal involucrado en la realización de estudios radiológicos (Tabla 3.4), identificando así los flujos de trabajo específicos en la utilización de la tecnología radiológica evaluada. Se integró al modelado anterior la medición de tiempos de las actividades del flujo de trabajo<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Se utilizó cronómetro ajustado a la hora oficial de los Estados Unidos Mexicanos

Tabla 3.4 Personal involucrado en la aplicación clínica del equipo médico radiológico del INR.

Área	Aplicación clínica	Personal involucrado
RX Central	Estudio Simple de Consulta Externa	Recepcionista y Técnico Radiólogo (TR)
	Estudio Simple de Hospitalización	Enfermera, Camillero y TR
	Estudio Especial	Enfermera Especialista, TR y Médico Radiólogo (MR)
RX Quirófano	Estudio Simple de Quirófanos	Enfermera circulante e instrumentista, médico cirujano ortopedista, anestesiólogo y TR
RX Urgencias	Estudio Simple de Urgencias	Camillero y TR

El modelado y la medición de tiempos tuvieron dos fases de desarrollo:

- La primera consistió en la comprensión de los procedimientos radiológicos convencionales, computados y digitales mediante asesorías y encuestas realizadas al personal involucrado en la realización de estudios radiológicos; además de la obtención de la información histórica del uso de la radiología convencional [40].
- La segunda consistió en la realización de estancias hospitalarias en el turno matutino y vespertino, a fin de visualizar las actividades del personal médico y técnico en la utilización de la RC y RD. Con la finalidad de generar indicadores e índices con validez estadística, se calculó una muestra por aplicación clínica con un intervalo de confianza del 95% (Anexo 2), la cual se presenta en la tabla 3.5.

Se analizó finalmente el número de estudios que se muestra en la tabla 3.6 mediante estadística multivariada y descriptiva<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Statical Analysis Software SPSS® para Windows Versión 16.0.1.

Tabla 3.5 Muestra estadísticamente significativa por aplicación clínica.

Área	Aplicación clínica	n (estudios)
RX Central	Estudio Simple de Consulta Externa	44
	Estudio Simple de Hospitalización	32
	Estudio Especial	15
RX Quirófano	Estudio Simple de Quirófanos	27
RX Urgencias	Estudio Simple de Urgencias	41

La medición del tiempo de las actividades identificadas en los flujos de trabajo, dieron origen a **los índices de flujo de trabajo** que a continuación se describen:

1. **Tiempo promedio de realización de estudio radiológico en sala o con equipo móvil de RX (TRE, expresado en minutos/estudio).** Se identificaron las variables que lo afectan, como la procedencia del paciente (si es de consulta externa, hospitalización o urgencias) y el tipo de estudio (simple o especial). La identificación de estas variables, permitió medir los tiempos para cada aplicación clínica de los equipos médicos radiológicos.

Tabla 3.6 Estudios radiológicos analizados.

Área	Aplicación clínica	Estudios analizados			
		RV	RC	RD	Total
RX Central	Estudio Simple de Consulta Externa	82	301		383
	Estudio Simple de Hospitalización	18	49		67
	Estudio Especial	10	15		25
RX Quirófano	Estudio Simple de Quirófanos	56	41		97
RX Urgencias	Estudio Simple de Urgencias	59		88	147

RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

Se midió restando la hora de registro en la que el paciente sale de la sala de RX ( $t_s$ ), menos la hora de registro en la que el paciente ingresa a la sala de RX ( $t_e$ ), dividiendo el resultado de dicha diferencia entre el número de estudios

realizados al paciente ( $E$ ) [27]. Esta última división obedece a que hay pacientes atendidos en el INR que se les realiza más de un estudio.

$$TRE = \frac{t_s - t_e}{E} \quad (3.1)$$

2. **Tiempo promedio de revelado o digitalización-impresión por estudio radiológico ( $TRV$ , expresado en minutos/estudio).** Es la hora de registro en que la o las placas radiográficas salen del equipo de revelado o impresión ( $r_s$ ), menos la hora de registro de inicio de revelado o digitalización ( $r_i$ ), entre el número de estudios revelados o digitalizados ( $E$ ). La división entre  $E$  se debe a que los técnicos radiólogos (TR) revelan o procesan más de un estudio por paciente.

El tiempo de digitalización para la radiología computada considera las etapas de captura de los datos del paciente a las estaciones de digitalización, el post procesamiento de la imagen e impresión de placa, a diferencia del revelado convencional, en el que el TR extrae la placa radiográfica del chasis cuando se encuentra en el cuarto oscuro y la introduce posteriormente en las procesadoras automáticas donde se revela y se seca.

$$TRV = \frac{r_s - r_i}{E} \quad (3.2)$$

3. **Tiempo promedio de entrega del estudio radiológico al paciente o al médico radiólogo (MR) para su interpretación ( $TEE$ , expresado en minutos/estudio).** Es la hora de registro en que el estudio es entregado al paciente o MR ( $t_e$ ), menos hora de registro en que la o las placas radiográficas salen del equipo de revelado o impresión ( $r_s$ ) por estudio.

$$TEE = \frac{t_e - r_s}{E} \quad (3.3)$$

4. **Tiempo total promedio de realización de un estudio radiológico (TTE, expresado en minutos/estudio).** Se define como la suma de los tiempos de las actividades, desde el inicio del flujo de trabajo hasta su culminación y está directamente relacionado a cada aplicación clínica, la cual se describe en la tabla 3.7 y en el modelado BPMN del anexo 1.

Tabla 3.7 Tiempo total de un estudio radiológico (TTE).

Área	Aplicación clínica	TTE
RX Central	Estudio Simple de Consulta Externa	Considera el tiempo que demora el paciente en ser atendido para realizar una cita, más el tiempo que demora en confirmarla, hasta que le son entregados sus estudios radiográficos entre el número de estudios realizados.
	Estudio Simple de Hospitalización	Considera el tiempo desde que la enfermera y camillero de hospitalización trasladan al paciente al servicio de RX Central, hasta que el mismo paciente y su estudio radiográfico regresan al piso de origen entre el número de estudios realizados.
	Estudio Especial	Desde que el paciente es preparado por la enfermera, hasta que el estudio es interpretado y entregado al archivo radiológico entre el número de estudios realizados.
RX Urgencias	Estudio Simple de Urgencias	Considera el tiempo desde que el camillero de urgencias traslada al paciente a la sala de RX de Urgencias, hasta que el estudio radiográfico y el paciente son entregados al médico solicitante entre el número de estudios realizados.
RX Quirófanos	Estudio Simple de Quirófanos	Considera el tiempo desde que la enfermera circulante llama al TR, avisándole en qué sala quirúrgica se requiere el o los estudios radiológicos, hasta que las placas radiográficas son entregadas al médico cirujano ortopedista solicitante entre el número de estudios realizados.

5. **Tiempo total promedio de participación del personal involucrado por estudio (TTP, expresado en minutos/estudio).** Es la suma del tiempo empleado por cada miembro del personal involucrado durante el TTE.

$$TTP = \sum_{m=1}^{m=j} \sum_{n=1}^{n=i} t_n \quad (3.4)$$

Donde:

$t$  = tiempo de la actividad del personal involucrado, por cada estudio, expresado en min/estudio.

$i$  = número de actividades realizadas.

$j$  = número de miembros del personal involucrado.



En la tabla 3.8 se muestran los índices de flujo de trabajo para el estudio simple de hospitalización; los índices para el resto de los estudios radiológicos analizados se muestran en la figura 3.1.

Tabla 3.8 Índices de flujo de trabajo.

<b>Estudio Simple de Hospitalización</b>	<b>TRE (min/E)</b>	<b>TRV (min/E)</b>	<b>TEE(min/E)</b>	<b>TTE (min/E)</b>	<b>TTP (min/E)</b>
RV	3.83	4.15	4.00	84.62	145.89
RC	2.54	3.35	6.29	84.09	132.88

*TRE* = Tiempo promedio de realización de estudio radiológico en sala o con equipo móvil de RX  
*TRV* = Tiempo promedio de revelado o digitalización-impresión por estudio radiológico  
*TEE* = Tiempo de entrega de estudio radiológico a paciente o al médico radiólogo para su interpretación  
*TTE* = Tiempo total promedio de realización de un estudio radiológico  
*TTP* = Tiempo total promedio de participación del personal involucrado por estudio  
 RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada

Se generaron indicadores de gestión por procesos para medir del impacto del cambio de tecnología radiológica en el INR, a continuación se describen:

1. La productividad del servicio de radiología fue medida como la tasa de pacientes atendidos en una hora (*PAH*).

La tasa de pacientes atendidos por hora (*PAH*) se obtiene de dividir 60 minutos entre el producto del tiempo promedio total de un estudio radiológico (*TTE*) y el número promedio de estudios radiológicos realizados por paciente (*EPP*).

Donde el número promedio de estudios radiológicos realizados por paciente (*EPP*) se define como la relación entre el número de estudios realizados (*E*) y el número de pacientes atendidos (*P<sub>a</sub>*) por tipo de estudio (Tabla 3.12) [41].

$$EPP = \frac{E}{P_a} \quad (3.5)$$

$$PAH = \frac{60}{TTE * EPP} \quad (3.6)$$

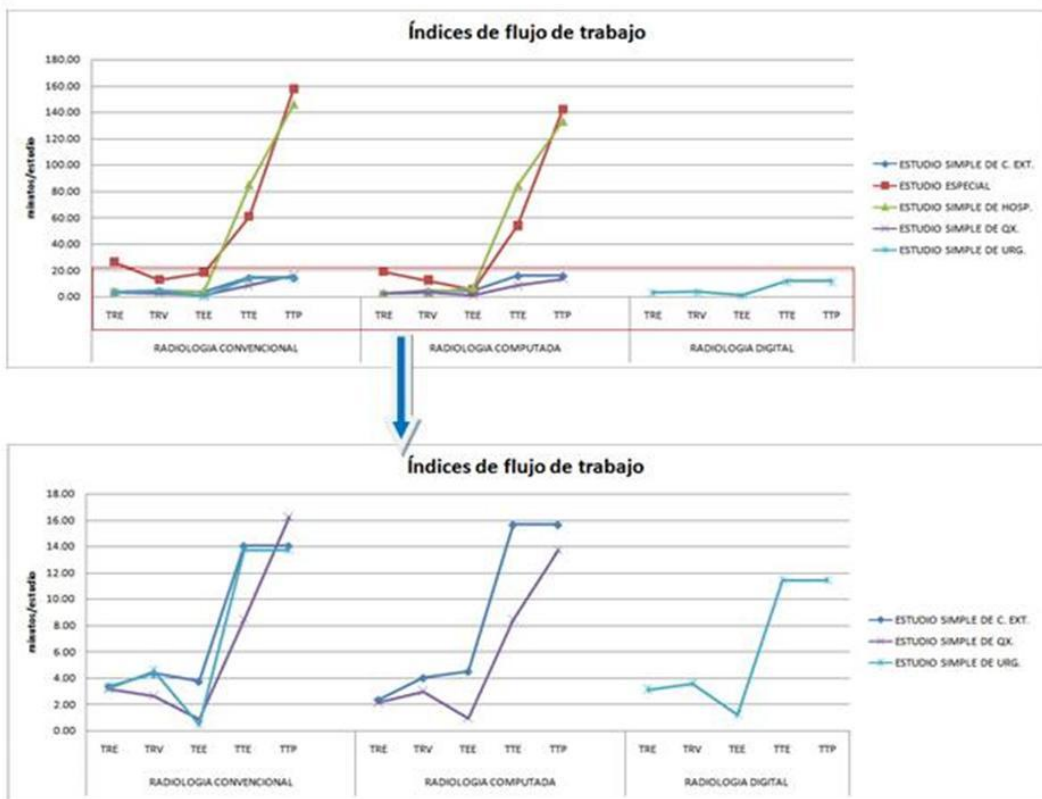


Figura 3.1 Índices de flujo de trabajo.

2. El Rendimiento de la tecnología radiológica ( $TREH$ ) fue medido como la tasa de estudios realizados ( $TRE$ , ecuación 3.1) en salas de RX o con equipo móvil de RX durante una hora (ecuación 3.7).

$$TREH = \frac{60}{TRE} \quad (3.7)$$

3. El tiempo promedio de estudio radiológico disponible (después de su realización,  $TED$ , expresado en minutos/estudio, ecuación 3.8), se obtiene sumando  $TRV$  y  $TEE$ , con base en el flujo de trabajo del servicio de radiología.

$$TED = TRV + TEE \quad (3.8)$$

Se ha considerado que tanto la productividad, como el rendimiento de la tecnología radiológica o equipos móviles de RX, se ven afectados por diversos factores, tales como:

- Pérdidas de días de actividad por averías y fallas del equipo médico.
- Fallas en las citas, pacientes citados y que no se presentan a la realización del estudio.
- Ausentismo del personal, ya sea por periodos vacacionales, incapacidad, etc.
- Fatiga del personal.

Por lo anterior, el presente trabajo ha considerado relevante el caso de estudio del Department of Radiology St. Vincent Hospital Worcester, Massachusetts; donde Murray L. Janower ML considera que la productividad de los técnicos se ve afectada hasta en un 55%, debido a los factores anteriormente mencionados [42]. En este sentido, las ecuaciones 3.7 y 3.8 se multiplicaron por 0.55, para obtener la productividad y el rendimiento efectivo por tecnología radiológica en el INR.

$$PAH_{efectiva} = \left(\frac{60}{TTE * EPP}\right) * 0.55 \quad TREH_{efectivo} = \left(\frac{60}{TRE}\right) * 0.55$$

Los indicadores de gestión por procesos obtenidos se muestran de la tabla 3.9 a la 3.11 y el valor del estudio en general fue calculado tomando en cuenta las probabilidades de ocurrencia de las figuras 3.2 y 3.4 según corresponda, por lo que en esta etapa de la evaluación se precisa lo siguiente:

- La productividad efectiva (*PAH efectiva*) total de RV a RC se incrementó de 1.25 a 1.45 pacientes/hora y de RV a RD se incrementó de 1.79 a 2.18 pacientes/hora.

- El rendimiento efectivo (*TREH efectiva*) total de RV a RC se incrementó de 7.66 a 14.24 estudios/hora y de RV a RD se incrementó del 10.14 estudios/hora a 10.56 estudios/hora.
- El tiempo en el que se tiene disponible un estudio de RX (*TED*) total de RV a RC se incrementó de 6.03 a 8.02 minutos/estudio y de RV a RD disminuyó de 5.01 a 4.74 minutos/estudio.

Tabla 3.9 Productividad por tecnología radiológica evaluada en el INR (*PAH efectiva*).

<i>Pacientes/hora</i>	<b>RV</b>		<b>RC</b>		<b>RD</b>	
	<i>PAH</i>	<i>PAH efectiva</i>	<i>PAH</i>	<i>PAH efectiva</i>	<i>PAH</i>	<i>PAH efectiva</i>
Estudio Simple de Consulta Externa	2.89	1.59	2.62	1.44		
Estudio Especial	0.99	0.55	1.12	0.61		
Estudio Simple de Hospitalización	0.42	0.23	0.70	0.39		
Estudio Simple de Quirófanos	4.68	2.58	3.87	2.13		
<b>Estudio en general</b>	<b>2.28</b>	<b>1.25</b>	<b>2.63</b>	<b>1.45</b>		
Estudio Simple de Urgencias	3.25	1.79			3.96	2.18

RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

*PAH* = Tasa de pacientes atendidos por hora

*PAH efectiva*= Tasa de pacientes atendidos por hora considerando factores de productividad de los técnicos radiólogos

Tabla 3.10 Rendimiento de la tecnología radiológica en el INR (*TREH efectiva*).

<i>Estudios/hora</i>	<b>RV</b>		<b>RC</b>		<b>RD</b>	
	<i>TREH</i>	<i>TREH efectiva</i>	<i>TREH</i>	<i>TREH efectiva</i>	<i>TREH</i>	<i>TREH efectiva</i>
Estudio Simple de Consulta Externa	17.89	9.84	25.71	14.14		
Estudio Especial	2.29	1.26	3.20	1.76		
Estudio Simple de Hospitalización	15.65	8.61	23.65	13.01		
Estudio Simple de Quirófanos	19.13	10.52	28.29	15.56		
<b>Estudio en general</b>	<b>13.93</b>	<b>7.66</b>	<b>25.89</b>	<b>14.24</b>		
Estudio Simple de Urgencias	18.44	10.14			19.2	10.56

RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

*TREH* = Estudios radiológicos realizados por hora

*TREH efectiva*= Estudios radiológicos realizados por hora considerando factores de productividad de los técnicos radiólogos

Tabla 3.11 Tiempo promedio de estudio radiológico disponible *TED* por tecnología radiológica evaluada en el INR.

<i>Minutos/estudio</i>	<b>RV</b>	<b>RC</b>	<b>RD</b>
Aplicación clínica	<i>TED</i>	<i>TED</i>	<i>TED</i>
Estudio Simple de Consulta Externa	8.08	8.48	
Estudio Especial	30.93	17.50	
Estudio Simple de Hospitalización	8.15	9.64	
Estudio Simple de Quirófanos	3.48	3.90	
<b>Estudio en general</b>	<b>6.03</b>	<b>8.02</b>	
Estudio Simple de Urgencias	5.01		4.74

RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital  
*TED*= Tiempo promedio de estudio radiológico disponible

Tabla 3.12 Estudios radiológicos por paciente (*EPP*).

<i>Estudios/paciente</i>	<b>RV</b>	<b>RC</b>	<b>RD</b>
Aplicación clínica	<i>EPP</i>	<i>EPP</i>	<i>EPP</i>
Estudio Simple de Consulta Externa	1.48	1.46	
Estudio Especial	1.00	1.00	
Estudio Simple de Hospitalización	1.69	1.01	
Estudio Simple de Quirófanos	1.52	1.84	
Estudio Simple de Urgencias	1.35		1.33

RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital  
*EPP*= Estudio radiológicos por paciente

### 3.3.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se describen a continuación los elementos considerados en la evaluación económica de equipo médico:

Se eligió un **horizonte temporal** de 12 meses, para cada una de las tecnologías radiológicas, durante los cuales se calcularon los costos y la efectividad intermedia (Tabla 3.13).

Tabla 3.13 Periodos de evaluación.

<b>Tecnología Evaluada</b>	<b>Periodo de evaluación</b>
<b>RV</b>	De enero a diciembre del 2007
<b>RC</b>	De mayo del 2008 a abril del 2009
<b>RD</b>	De julio del 2008 a junio del 2009

RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

Se analizó la información disponible (**capacidad operativa**) correspondiente al uso de la radiología en el Instituto [43-44], incluyendo el número de estudios radiológicos realizados (*E*) y pacientes atendidos por área (*Pa*). La información anterior se presenta en probabilidades de ocurrencia [19], a fin de ponderar los factores bajo análisis.

En la tabla 3.14 se presenta la capacidad operativa del servicio de radiología del INR durante los periodos de evaluación y en las figuras 3.2 y 3.3 la probabilidad de ocurrencia de los estudios realizados y pacientes atendidos con RV y RC. En donde Ee es estudio especial, Eh estudio de hospitalización, Ec estudio de consulta externa, Eq estudio de quirófano y Eu estudio de urgencias.

Tabla 3.14 Capacidad operativa del servicio de radiología del INR.

<b>Información analizada</b>	<b>RV</b>	<b>RC</b>	<b>RD</b> (Estudio Simple de Urgencias)
Estudios realizados ( <i>E</i> )	85,500	72,046	21,101
Pacientes atendidos ( <i>Pa</i> )	58,889	48,863	15,893

Fuente: Reportes del servicio de radiología del INR (2007-2009) [43-44]  
RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

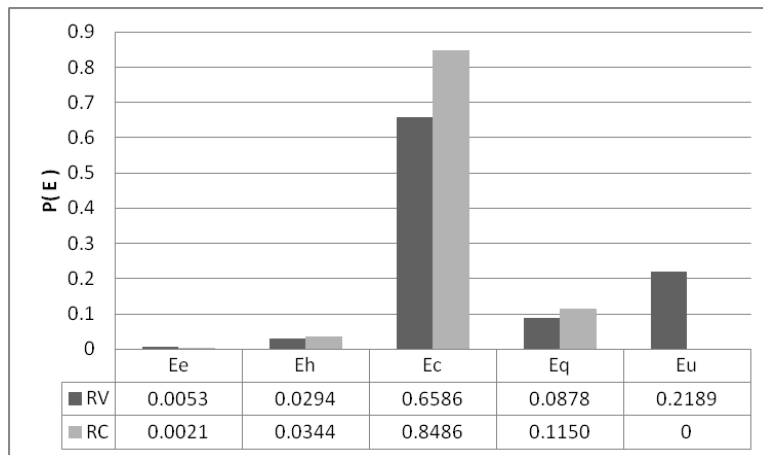


Figura 3.2 Probabilidad de ocurrencia de estudios radiológicos realizados  $P(E)$ .

Donde  $Ee$ = estudio especial,  $Eh$ = estudio de hospitalización,  $Ec$ = estudio de consulta externa,  $Eq$ = estudio de quirófano y  $Eu$ = estudio de urgencias.

Las probabilidades de ocurrencia se calcularon con base en la capacidad operativa de cada tecnología radiológica, por ejemplo, la probabilidad de que se realicen estudios simples de hospitalización  $Eh = a/b$ , donde “a” es el número de estudios de hospitalización realizados y “b” es el número total de estudios realizados. Como se muestra en las figuras 3.2 y 3.3 no se incluyó el estudio simple de urgencias para RC debido a que sólo fue evaluado para RD.

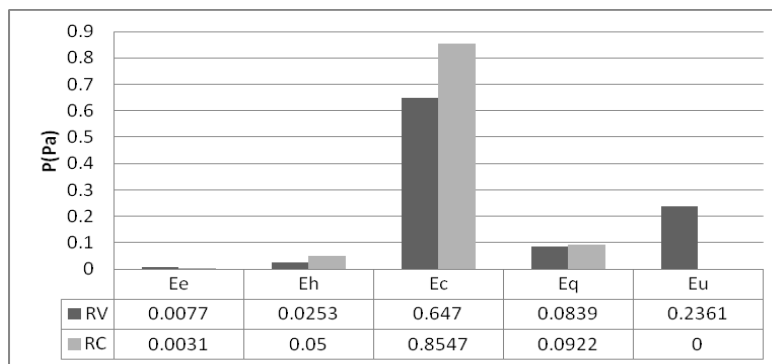


Figura 3.3 Probabilidad de ocurrencia de pacientes atendidos  $P(Pa)$ .

Donde  $Ee$ = estudio especial,  $Eh$ = estudio de hospitalización,  $Ec$ = estudio de consulta externa,  $Eq$ = estudio de quirófano y  $Eu$ = estudio de urgencias.

## A) ANÁLISIS DE COSTOS.

Se consideraron los costos de los **elementos relevantes** involucrados en la realización de estudios radiológicos en el INR, los cuales se muestran en el anexo 3. Para la identificación de estos elementos, se tomaron en cuenta teorías económicas mencionadas en la sección 2.3.2, para desarrollar lo que a continuación se describe:

1. Se calculó el costo anual equivalente [7] de: los espacios físicos donde se realizan los estudios radiológicos (Infraestructura)<sup>9 10</sup>, de los accesorios (mandil plomado y chasis con pantallas intensificadoras para el uso de la RV)<sup>11</sup> y del equipo médico radiológico<sup>12</sup>.
2. Se calculó el costo anual de los insumos necesarios para la realización de los estudios radiológicos, tales como: sobres para placa, medicamentos, placas radiográficas, químico revelador y fijador.<sup>13 14</sup> También se incluyeron los contratos de mantenimientos preventivos y correctivos, pruebas de control de calidad, consumo eléctrico del equipo (KW/h)<sup>15</sup>, refacciones utilizadas en sus mantenimientos<sup>16</sup> y la supervisión y/o el mantenimiento del personal del Departamento de Ingeniería Biomédica (DIB).
3. Para el cálculo de las horas que invirtió el DIB en supervisiones y trabajos de mantenimientos preventivos y correctivos durante los periodos de evaluación, se analizaron las órdenes de servicio generadas [45].

---

<sup>9</sup> Departamento de Ingeniería Biomédica del INR. Planos arquitectónicos del Servicio de Radiología.

<sup>10</sup> Subdirección de Conservación y Mantenimiento del INR. Costos de infraestructura.

<sup>11</sup> Subdirección de Compra y Suministros del INR. Costos por accesorios del servicio de radiología.

<sup>12</sup> Subdirección de Investigación Tecnológica. Costos de adquisición de equipo médico del servicio de radiología.

<sup>13</sup> Servicio de Radiología del INR. Bitácora de enfermería del Servicio de radiología (2007-2009).

<sup>14</sup> Departamento de Almacén y Farmacia del INR. Costos por insumos del servicio de radiología (2007-2009).

<sup>15</sup> Subdirección de Conservación y Mantenimiento del INR. Costos por consumo eléctrico del INR (2007-2009).

<sup>16</sup> Subdirección de Investigación Tecnológica. Costos por contratos anuales de mantenimiento, pruebas de control de calidad y refacciones (2007-2009).



El resultado del análisis anterior se muestra en las figuras 3.4 y 3.5, de las cuales se puede precisar lo siguiente:

- La demanda de horas de mantenimiento de los sistemas de revelado de RV en comparación con los digitalizadores e impresoras en RC, disminuyó de 453.05 a 39.5 horas.
  - La demanda de horas de mantenimiento de los sistemas de revelado de RV en comparación con RD, disminuyó de 201 a 5.5 horas.
4. Lo anterior permitió que al conocer el salario diario integrado de los ingenieros biomédicos [46] se calculara el costo anual del DIB en la atención a mantenimientos o supervisiones de la tecnología radiológica evaluada.

El salario diario integrado se dividió entre 8 horas de trabajo, con esto se obtuvo el salario por hora, y finalmente se multiplicó por el número de horas totales de mantenimiento y supervisión que se describen en las figuras 3.4 y 3.5, obteniendo así el costo anual del DIB.

5. Se describe a continuación el análisis realizado para el cálculo del costo por consumo eléctrico de la tecnología radiológica evaluada en cada periodo:
- a) Se identificaron características técnicas del equipo médico [47] (corriente (A) y/o potencia (KW)). Se midieron las corrientes de consumo<sup>17</sup> de los equipos que -por sus características eléctricas- así lo permitieron (impresoras y estaciones de digitalización).
  - b) Se analizaron las órdenes de servicios preventivos y correctivos [45] para determinar las horas en que los equipos médicos estuvieron fuera de servicio (***T<sub>m</sub>***).

---

<sup>17</sup> Se utilizó un amperímetro marca FLUKE 36 clamp meter.

- c) Con base en los horarios de trabajo del servicio de radiología, se determinaron las horas totales de trabajo para cada tecnología radiológica ( $T_t$ ).

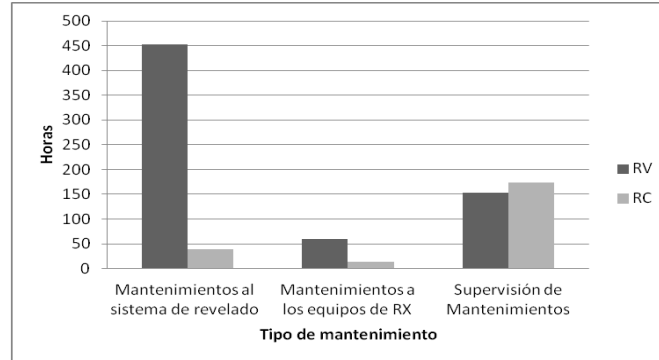


Figura 3.4 Horas de mantenimiento del Departamento de Ingeniería Biomédica con Radiología convencional (RV) y computada (RC).

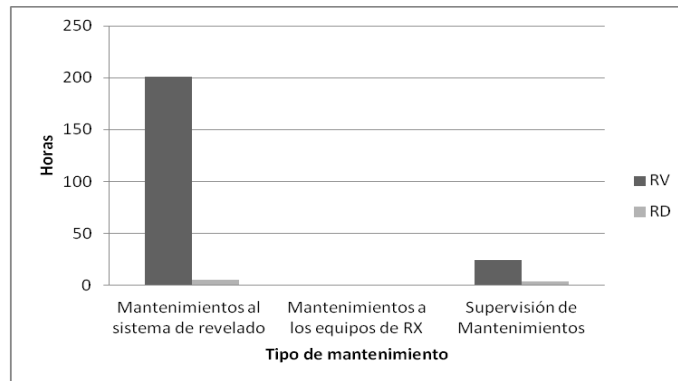


Figura 3.5 Horas de mantenimiento del Departamento de Ingeniería Biomédica con Radiología convencional (RV) y digital (RD).

- d) Con la información obtenida anteriormente, se calculó el tiempo efectivo de uso de la tecnología radiológica ( $T_e$ ), definiéndolo como:

$$T_e = T_t - T_m \quad (3.9)$$

En la tabla 3.15 se presentan los tiempos efectivos de uso ( $T_e$ ) anuales obtenidos de la sala 1 a la 5 en la utilización de RV. El cálculo también fue realizado para RC y RD.

Los elementos comunes que pueden ser usados tanto en RV, RC o RD han sido excluidos, ya que sus costos no dependen del tipo de radiología que se esté utilizando [7]; algunos ejemplos son: dosimetría personal, papelería, ropería, lavandería, etc.

Tabla 3.15 Tiempo efectivo ( $T_e$ ) anual para RV.

SALA	$T_t$ (h)	$T_m$ (h)	$T_e$ (h)
Sala 1	1204	23.5	1180.5
Sala 2	602	24	578
Sala 3	1810	40	1770
Sala 4	1204	33.25	1170.75
Sala 5	1204	31.5	1172.5

Fuente: Órdenes de servicio de mantenimientos preventivos y correctivos del INR (2007-2009) [47]

$T_t$ = Tiempo total de horas de trabajo por tecnología radiológica

$T_m$ = Tiempo en que la tecnología médica estuvo fuera de servicio

El costo asociado al servicio Integral, considerado como elemento relevante para RC y RD, incluye la sala digital de RX Urgencias, estaciones de digitalización, impresoras térmicas, servicios preventivos y correctivos al equipo médico anteriormente mencionado, capacitación al personal médico y técnico, así como las licencias del software de las estaciones de digitalización y del RIS.

En el anexo 3 se muestran los diagramas de los elementos relevantes por tipo de estudio y radiología utilizada, a partir de los cuales se ha generado el “**Costo por estudio radiológico realizado ( $CE$ )**”, definido como la suma de los costos anuales de los elementos relevantes ( $C_i$ ) entre el número de estudios realizados ( $E$ ) por tipo [41].

$$CE = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{E} \quad (3.10)$$

En la tabla 3.16 se muestran los costos de los estudios realizados por tecnología, en donde cada uno de ellos obedece a un periodo de evaluación diferente.

Tabla 3.16 Costo por estudio radiológico realizado (CE).

Aplicación clínica	RV	RC	RD
Estudio Simple de Consulta Externa	\$88.48	\$156.39	
Estudio Simple de Hospitalización	\$215.14	\$245.22	
Estudio Especial	\$890.20	\$1,392.33	
Estudio Simple de Quirófanos	\$88.52	\$147.93	
Estudio Simple de Urgencias	\$49.54		\$92.52

RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

## B) DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD INTERMEDIA.

La determinación de la efectividad intermedia incidió directamente en la calidad de la atención que se presta al paciente, por lo que en este caso de estudio, se calculó el número de estudios radiológicos repetidos por paciente (**ERP**) con procedimientos convencionales, computados y digitales, mediante un análisis del desecho de placa radiográfica.

Este cálculo implicó un análisis de la información de la placa total utilizada en el Instituto [48]. La placa radiográfica total ( $P_t$ ) está compuesta por la placa útil ( $P_u$ ) y la de desecho ( $P_d$ ), como lo indica la ecuación 3.11.

$$P_t = P_u + P_d \quad (3.11)$$

La placa radiográfica de desecho ( $P_d$ ) en RV y RC es debida a tres factores reportados [50]:

- Desecho por mantenimiento de equipo de RX ( $P_m$ ),
- Desecho por fallas de procesadoras de placas o digitalizadores ( $P_r$ )
- Otras ( $P_o$ ).

En RD, el desecho de placa se limita tan sólo a  $P_m$  y  $P_o$ , ya que la imagen adquirida se digitaliza y pasa directamente a la estación de trabajo, por lo que  $P_r$  no interviene.

A continuación se define el indicador de efectividad intermedia. Mostrando en la tabla 3.17 la información utilizada para el cálculo y en las figuras 3.6 y 3.7 la probabilidad de ocurrencia de dicha información.

Tabla 3.17 Información analizada para el cálculo de la efectividad intermedia.

Información analizada	RV	RC	RD (Estudio Simple de Urgencias)
Placa total ( $P_t$ )	116749	82910	24359
Placa desecho ( $P_d$ )	11111	1649	471

Fuente: Reporte de placa radiográfica del servicio de radiología del INR (2007-2009) [48]  
RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

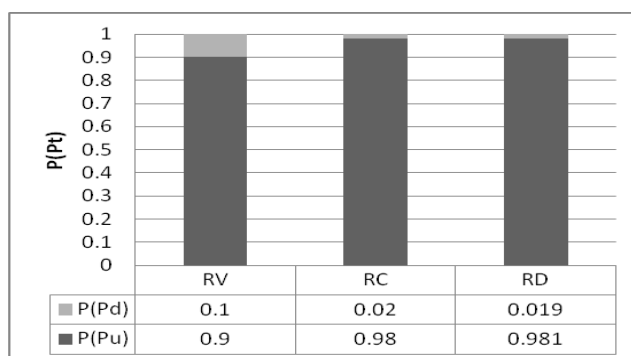


Figura 3.6 Probabilidad de ocurrencia de la placa total en el INR  $P(P_t)$ .

Donde  $P(P_d)$  = Probabilidad de ocurrencia de la placa de desecho,  $P(P_u)$  = Probabilidad de ocurrencia de la placa útil, RV= Radiología convencional, RC= Radiología computada y RD= Radiología digital.

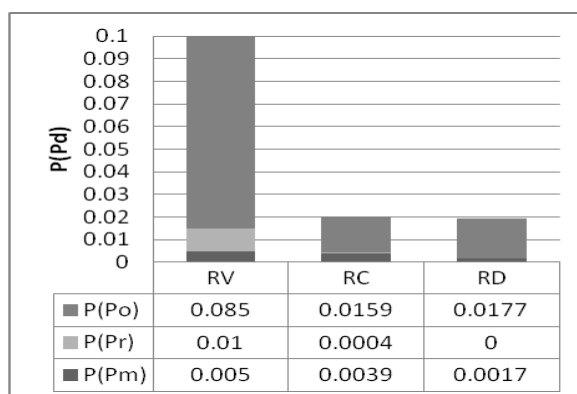


Figura 3.7 Probabilidad de ocurrencia de la placa de desecho en el INR  $P(P_d)$ .

Donde  $P(P_o)$  = Probabilidad de ocurrencia de otras causas de desecho de placa,  $P(P_r)$  = Probabilidad de ocurrencia de la placa de desecho por procesadoras de placas o digitalizadores,  $P(P_m)$  = Probabilidad de ocurrencia de la placa de desecho por mto. a equipo de RX, RV= Radiología convencional, RC= Radiología computada y RD= Radiología digital.

Para el cálculo de la efectividad intermedia, se definen los siguientes conceptos:

- a) Número de placas por estudio radiológico realizado (*PER*). Definido como el número de placas útiles (*Pu*) entre el número de estudios realizados (*E*) por tipo de estudio.

$$PER = \frac{P_u}{E} \quad (3.12)$$

- b) Número de placas de desecho por repetición de estudios radiológicos (*PDR*). Es el número de placas de desecho (*Pd*) menos las placas por mantenimiento de equipo de RX (*Pm*).

$$PDR = P_d - P_m \quad (3.13)$$

- c) Número de estudios radiológicos repetidos (*ER*). Definido como el número de placas de desecho por repetición (*PDR*), entre el número de placas por estudio realizado (*PER*) por tipo.

$$ER = \frac{PDR}{PER} \quad (3.14)$$

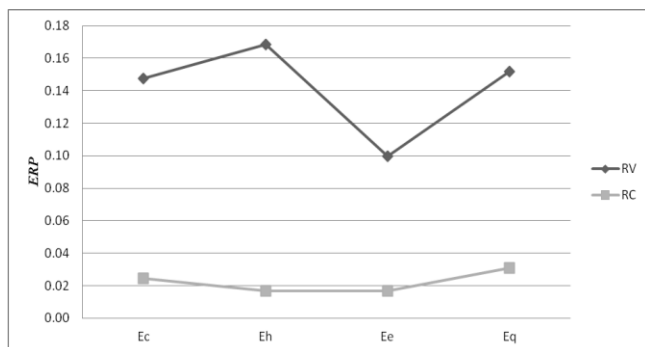
- d) Estudios radiológicos repetidos por paciente (*ERP*). Definido como estudios repetidos (*ER*) entre el número de pacientes atendidos (*Pa*) por tipo de estudio.

$$ERP = \frac{ER}{P_a} \quad (3.15)$$

En la figura 3.8 A y B se muestran la efectividad intermedia obtenida por tecnología radiológica, donde el eje “y” representa a *ERP* y el eje “x” el tipo de estudio realizado.

Los resultados mostrados en las figuras 3.8 y 3.9 fueron ponderados tomando en cuenta las probabilidades de ocurrencia mostradas en las figuras 3.2, 3.6 y 3.7, por lo que los estudios radiológicos repetidos por paciente (*ERP*) de RV a RC disminuyeron de 0.12 a 0.03, mientras que de RV a RD fue de 0.13 a 0.02 (Tabla 3.18).

A



B

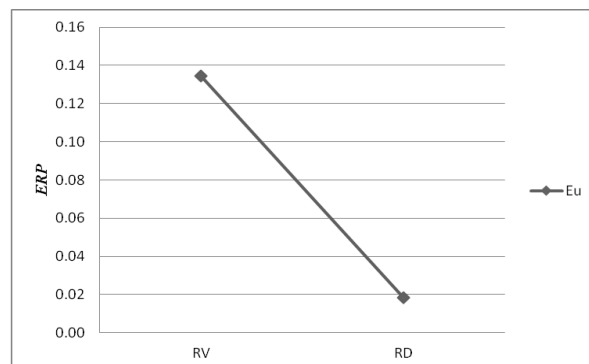


Figura 3.8 Estudios radiológicos repetidos por paciente de RV a RC y de RV a RD.

Tabla 3.18 Efectividad intermedia (ERP)

<i>Aplicación clínica</i>	<b>RV</b>	<b>RC</b>	<b>RD</b>
Estudio Simple de Consulta Externa	0.15	0.02	
Estudio Simple de Hospitalización	0.17	0.02	
Estudio Especial	0.10	0.02	
Estudio Simple de Quirófanos	0.15	0.03	
<b>Estudio en general</b>	<b>0.12</b>	<b>0.03</b>	
Estudio Simple de Urgencias	0.13		0.02

ERP= Estudios radiológicos repetidos por paciente,  
RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

### C) COSTOS POR ESTUDIO RADIOLÓGICO REPETIDO (C<sub>PER</sub>).

A partir de la efectividad intermedia, se calculó bajo los mismos métodos de análisis de costos descrito en el inciso A, el costo asociado a los estudios radiológicos repetidos (C<sub>PER</sub>). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.19.

Tabla 3.19 Costos por estudios radiológicos repetidos (*CPER*).

<i>CPER</i>	<i>RV</i>		<i>RC</i>		<i>RD</i>	
	<i>CE</i>	<i>CPER</i>	<i>CE</i>	<i>CPER</i>	<i>CE</i>	<i>CPER</i>
Aplicación clínica						
Estudio Simple de Consulta Externa	\$88.48	<b>\$87.76</b>	\$156.39	<b>\$113.37</b>		
Estudio Simple de Hospitalización	\$215.14	<b>\$175.77</b>	\$245.22	<b>\$165.16</b>		
Estudio Especial	\$890.20	<b>\$541.83</b>	\$1,392.33	<b>\$100.60</b>		
Estudio Simple de Quirófanos	\$88.52	<b>\$86.79</b>	\$147.93	<b>\$101.37</b>		
Estudio Simple de Urgencias	\$49.54	<b>\$47.94</b>			\$92.52	<b>\$51.63</b>

*CE* = Costo por estudio radiológico realizado

*CPER* = Costo por estudio radiológico repetido

*RV* = Radiología convencional, *RC* = Radiología computada, *RD* = Radiología digital

## D) ANÁLISIS COSTO-EFECTIVIDAD (ACE).

El impacto de la efectividad intermedia en los costos derivó en la definición del concepto de costo intra-hospitalario (*CIH*). El cuál matemáticamente se definió como la diferencia del costo total (*CT*) y los ahorros obtenidos por tecnología radiológica, entre el número de estudios radiológicos realizados (*E*) (ecuación 3.16).

$$CIH = \frac{CT - A}{E} \quad (3.16)$$

El costo total por tecnología radiológica evaluada en el instituto, se definió como la suma del costo asociado a la realización de estudios radiológicos (*CTE* = *CE* \* *E*) y el costo asociado a la repetición de estudios (*CTER* = *CPER* \* *ER*) por tipo (ecuación 3.17).

$$CT = CTE + CTER \quad (3.17)$$

Los ahorros obtenidos se muestran en la diferencia del costo asociado a la repetición de estudios (*CTER*) de la radiología convencional y la radiología computada o digital por tipo (ecuación 3.18).

$$A = CTER_{RV} - CTER_{RC / RD} \quad (3.18)$$



En la tabla 3.20 se presenta el cuadro comparativo de costos, en el que se muestra el *CIH* obtenido.

Considerando que los periodos de evaluación de las tecnologías radiológicas son diferentes, fue preciso ajustar los costos obtenidos a un mismo periodo de tiempo, para ello se eligió Octubre del 2009 ya que fue la fecha del término del análisis en el Instituto.

Se utilizaron los índices de precios (IPC) del Banco de México [22], que se muestran en la tabla 3.21. Se aplicó la ecuación 3.19 para los ajustes a *CE*, *CPER* y *CIH*, los resultados se presentan en la tabla 3.22.

Tabla 3.20 Cuadro comparativo de costos

Tipo de estudio	RV			RC			RD		
	<i>CE</i>	<i>CPER</i>	<i>CIH</i>	<i>CE</i>	<i>CPER</i>	<i>CIH</i>	<i>CE</i>	<i>CPER</i>	<i>CIH</i>
Simple de Consulta externa	\$88.48	\$87.76	<b>\$97.23</b>	\$156.39	\$113.37	<b>\$152.11</b>			
Simple de Hospitalización	\$215.14	\$175.77	<b>\$232.68</b>	\$245.22	\$165.16	<b>\$232.94</b>			
Estudio Especial	\$890.20	\$541.83	<b>\$944.27</b>	\$1,392.33	\$100.60	<b>\$1,233.71</b>			
Simple de Quirófano	\$88.52	\$86.79	<b>\$97.18</b>	\$147.93	\$101.37	<b>\$143.47</b>			
Simple de Urgencias	\$49.54	\$47.94	<b>\$54.32</b>				\$92.52	\$51.63	<b>\$89.71</b>

*CE* = Costo por estudio radiológico realizado  
*CPER* = Costo por estudio radiológico repetido  
*CIH* = Costo intra-hospitalario  
RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

Tabla 3.21 Índice de Precios (IPC) del Banco de México.

Fecha	Índice (IPC)	Tecnología evaluada
Dic-07	<b>125.56</b>	Radiología Convencional (RV)
Abr-09	<b>135.61</b>	Radiología Computada (RC)
Jun-09	<b>135.47</b>	Radiología Digital (RD)
Oct-09	<b>137.26</b>	Octubre 2009

BASE 2ª. QUINCENA DE JUNIO DE 2002

$$CIH_{Oct-2009} = CIH_{fecha} * \frac{IPC_{(Oct-2009)}}{IPC_{(fecha)}} \quad (3.19)$$

Tabla 3.22 Cuadro comparativo de costos a una misma temporalidad (Octubre 2009).

Tipo de estudio	Radiología convencional			Radiología computada			Radiología Digital		
	<i>CE</i>	<i>CPER</i>	<i>CIH</i>	<i>CE</i>	<i>CPER</i>	<i>CIH</i>	<i>CE</i>	<i>CPER</i>	<i>CIH</i>
Simple de Consulta externa	\$96.72	\$95.94	\$106.29	\$158.29	\$114.74	\$153.96			
Simple de Hospitalización	\$235.18	\$192.14	\$254.35	\$248.19	\$167.16	\$235.77			
Estudio Especial	\$973.11	\$592.29	\$1,032.21	\$1,409.22	\$101.82	\$1,248.67			
Simple de Quirófano	\$96.77	\$94.87	\$106.24	\$149.73	\$102.60	\$145.21			
Simple de Urgencias	\$54.15	\$52.41	\$59.38				\$93.74	\$52.31	\$90.90

*CE* = Costo por estudio radiológico realizado

*CPER* = Costo por estudio radiológico repetido

*CIH* = Costo intra-hospitalario

RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

### 3.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### A) MODELADO ECONÓMICO.

A partir de los costos y consecuencias, se desarrolló un modelo basado en árboles de decisión en donde se representa de forma gráfica la elección de cada alternativa tecnológica (RV, RC o RD) en la realización de estudios radiológicos de hospitalización y de urgencias en el INR, para ello se establecieron las probabilidades del modelo, la cual incide directamente en la incidencia de repetición de un estudio en el INR  $P(ER)$  y se muestran en la tabla 3.23.

Tabla 3.23 Probabilidades del modelo

$P(ER) = ER/E$	RV	RC	RD
Estudio repetido de hospitalización	0.1005	0.0198	
Estudio repetido de urgencias	0.0962		0.0150

Fuente: Datos propios del INR (Sección 3.3.2-B)

RV= Radiología convencional, RC= Radiología computada,

RD= Radiología digital

La figura 3.9- A muestra el árbol de decisión elaborado para el estudio simple de hospitalización. Como puede apreciarse, realizar este estudio con RV implica una probabilidad de repetición de estudios de 0.1005 y el costo asociado a la repetición del estudio (Octubre 2009) es de \$192.14. No repetir un estudio de hospitalización en el INR con RV corresponde a  $1-0.1005 = 0.8995$  [7], y el costo asociado (*CIH* a Octubre 2009) es de \$254.35.

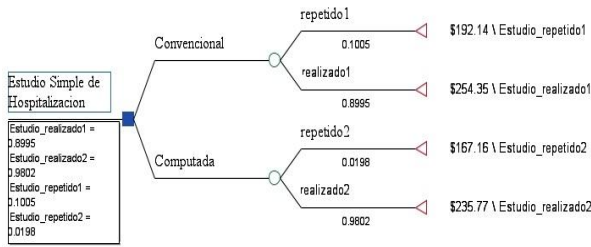
Realizar el estudio simple de hospitalización con RC implica una probabilidad de repetición de estudios de 0.0198 y el costo asociado a la repetición del estudio (Octubre 2009) es de \$167.16. No repetir un estudio de hospitalización en el INR con RC corresponde a  $1-0.0198 = 0.9802$  [7], y el costo asociado (*CIH* a Octubre 2009) es de \$235.77.

Se realizó posteriormente la gráfica de ACE para cada aplicación clínica, esta gráfica representó el plano de la costo-efectividad en el cuál se encontró ubicada la tecnología radiológica evaluada [7].

En la figura 3.9-B, la radiología computada respecto a la convencional en el estudio simple de hospitalización, es menos costosa y más efectiva, esto permite calificar a la tecnología nueva como dominante respecto a la anterior, sugiriendo que la radiología computada puede reemplazar a la radiología convencional en la realización de este tipo de estudio (punto 7 de la tabla 3.24).

La figura 3.10-A muestra el árbol de decisión elaborado para el estudio simple de urgencias. Como puede apreciarse, realizar este estudio con RV implica una probabilidad de repetición de estudios de 0.0962 y el costo asociado a la repetición del estudio (Octubre 2009) es de \$52.41. No repetir un estudio de hospitalización en el INR con RV corresponde a  $1-0.0962 = 0.9038$  [7], y el costo asociado (*CIH* a Octubre 2009) es de \$59.38.

A



B

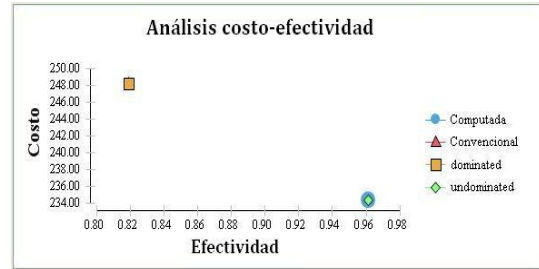
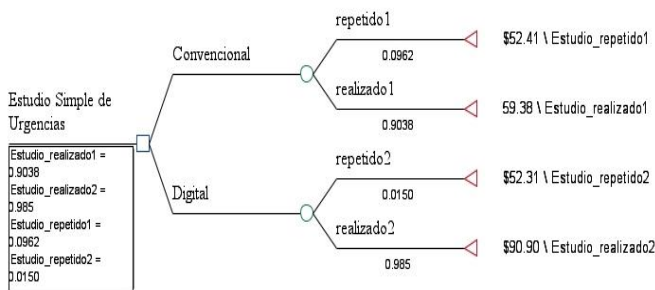


Figura 3.9 Árbol de decisión y ACE para Estudio Simple de Hospitalización.

Realizar el estudio simple de urgencias con RD implica una probabilidad de repetición de estudios de 0.0150 y el costo asociado a la repetición del estudio (Octubre 2009) es de \$52.31. No repetir un estudio de urgencias en el INR con RC corresponde a  $1 - 0.0150 = 0.985$  [7], y el costo asociado (*CIH* a Octubre 2009) es de \$90.90.

En la figura 3.10-B, la radiología digital respecto a la convencional en el estudio simple de urgencias, es más costosa y más efectiva, esto permite calificar a la tecnología nueva como no dominante respecto a la anterior, por lo que la radiología digital no domina a la radiología convencional, para la realización de este tipo de estudio (punto 9 de la tabla 3.24).

A



B

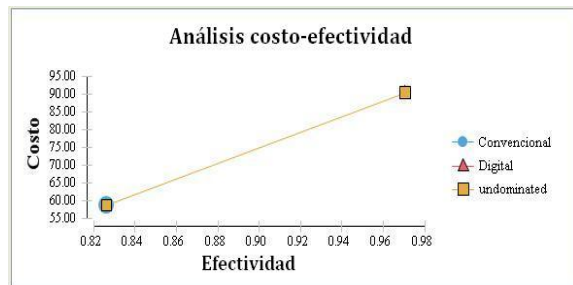


Figura 3.10 Árbol de decisión y ACE para Estudio Simple de Urgencias.

Tabla 3.24 Tabla de decisión de costo-efectividad [2,7].

Tecnología nueva (n) VS Tecnología anterior (a)	Menor efectividad $E_n < E_a$	Misma efectividad $E_n = E_a$	Mayor efectividad $E_n > E_a$
Menos costo $C_n < C_a$	1. Decisión no clara -No dominante	4. Tecnología nueva domina a la anterior. Introducir la tecnología nueva	7. Tecnología nueva domina a la anterior. Introducir la tecnología nueva.
Mismo Costo $C_n = C_a$	2. Tecnología anterior domina a la nueva	5. Las tecnologías son igualmente buenas	8. Tecnología nueva domina a la anterior. Introducir la tecnología nueva.
Mayor Costo $C_n > C_a$	3. Tecnología anterior domina a la nueva	6. Tecnología anterior domina a la nueva	9. Decisión no clara. -No dominante

## B) GESTIÓN POR PROCESOS.

El efecto de la medición de la efectividad intermedia en la tecnología radiológica evaluada, se vio reflejada tanto en los índices de flujo de trabajo (Figura 3.11 y 3.12), como en los indicadores de gestión por procesos (Tablas 3.25, 3.26 y 3.27), por lo que se realizó finalmente un cuadro comparativo que muestra los cambios obtenidos de RV a RC y de RV a RD tomando en cuenta los estudios repetidos (Tabla 3.28).

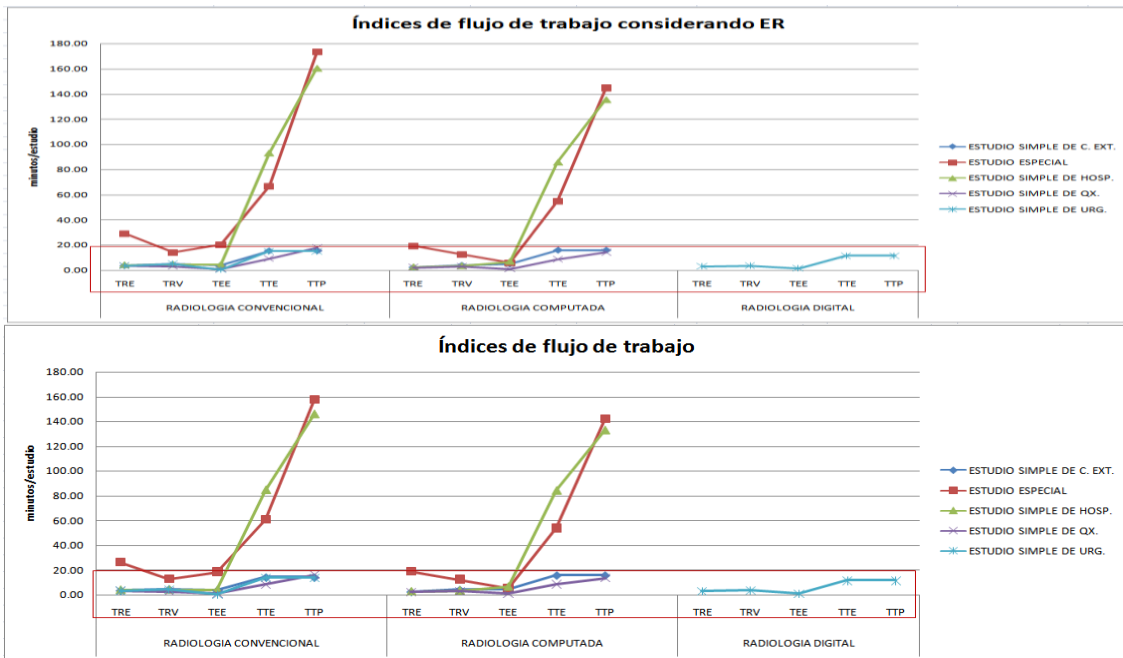


Figura 3.11 Comparativo de índices de flujo de trabajo.

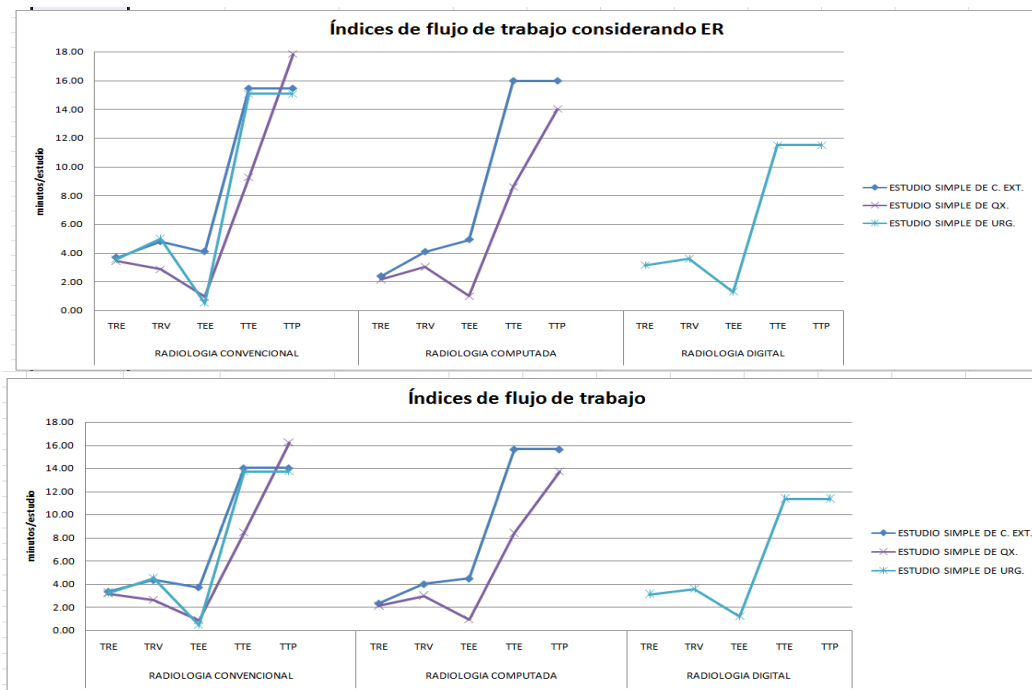


Figura 3.12 Comparativo de índices de flujo de trabajo.

Tabla 3.25 Tabla comparativa de productividad efectiva por tecnología radiológica evaluada en el INR ( $PAH_{efectiva}$ ).

Pacientes/hora	RV		RC		RD	
	$PAH_{efectivo}$	$PAH_{efectivo}$ (considerando ER)	$PAH_{efectivo}$	$PAH_{efectivo}$ (considerando ER)	$PAH_{efectivo}$	$PAH_{efectivo}$ (considerando ER)
Estudio simple de consulta externa	1.59	1.45	1.44	1.41		
Estudio Especial	0.55	0.50	0.61	0.60		
Estudio simple de hospitalización	0.23	0.21	0.39	0.38		
Estudio simple de Quirófano	2.58	2.34	2.13	2.08		
<b>Estudio en general</b>	<b>1.25</b>	<b>1.14</b>	<b>1.45</b>	<b>1.42</b>		
Estudio simple de Urgencias	1.79	1.63			2.18	2.16

RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

$PAH$  = Tasa de pacientes atendidos por hora

$PAH_{efectiva}$  = Tasa de pacientes atendidos por hora considerando factores de productividad de los técnicos radiólogos

Tabla 3.26 Tabla comparativa del rendimiento efectivo por tecnología radiológica evaluada en el INR (*TREH efectivo*).

<i>Estudios/hora</i>	<b>RV</b>		<b>RC</b>		<b>RD</b>	
	<i>TREH efectivo</i>	<i>TREH efectivo (Considerando ER)</i>	<i>TREH efectivo</i>	<i>TREH efectivo (Considerando ER)</i>	<i>TREH efectivo</i>	<i>TREH efectivo (Considerando ER)</i>
Estudio simple de consulta externa	9.84	8.94	14.14	13.86		
Estudio Especial	1.26	1.15	1.76	1.73		
Estudio simple de hospitalización	8.61	7.83	13.01	12.75		
Estudio simple de Quirófano	10.52	9.56	15.56	15.25		
<b>Estudio en general</b>	<b>7.66</b>	<b>6.97</b>	<b>14.24</b>	<b>13.96</b>		
Estudio simple de Urgencias	10.14	9.22			10.56	10.46

RV = Radiología convencional, RC= Radiología computada, RD= Radiología digital

*TREH* = Estudios radiológicos realizados por hora

*TREH efectivo*= Estudios radiológicos realizados por hora considerando factores de productividad de los técnicos radiólogos

Tabla 3.27 Tabla comparativa del tiempo promedio de estudio radiológico disponible por tecnología radiológica evaluada en el INR (*TED*).

<i>Minutos/estudio</i>	<b>RV</b>		<b>RC</b>		<b>RD</b>	
	<i>TED</i>	<i>TED (Considerando ER)</i>	<i>TED</i>	<i>TED (Considerando ER)</i>	<i>TED</i>	<i>TED (Considerando ER)</i>
Estudio simple de consulta externa	8.08	8.89	8.48	8.65		
Estudio Especial	30.93	34.02	17.50	17.85		
Estudio simple de hospitalización	8.15	8.97	9.64	9.83		
Estudio simple de Quirófano	3.48	3.83	3.90	3.98		
<b>Estudio en general</b>	<b>6.03</b>	<b>6.63</b>	<b>8.02</b>	<b>8.18</b>		
Estudio simple de Urgencias	5.01	5.51			4.74	4.79

Tabla 3.28 Tabla comparativa de la tecnología radiológica evaluada en el INR.

Indicadores	Comparativo	Sin considerar la repetición de estudios (ER) sección 3.3.1.	Considerando la repetición de estudios radiológicos (ER)
		Resultados parciales	Resultados finales
Rendimiento efectivo <i>TREH efectiva</i> (estudios/hora)	RV RC	El rendimiento efectivo se incrementó de 7.66 a 14.24 estudios/hora	El rendimiento efectivo se incrementó de 6.97 a 13.96 estudios/hora
	<b>RV RD</b>	El rendimiento efectivo se incrementó de 10.14 a 10.56 estudios/hora	<b>El rendimiento efectivo se incrementó de 9.22 a 10.46 estudios/hora</b>
Productividad efectiva <i>PAH efectiva</i> (Pacientes/hora)	RV RC	La productividad efectiva se incrementó de 1.25 a 1.45 pacientes/hora	La productividad efectiva se incrementó de 1.14 a 1.42 pacientes/hora
	<b>RV RD</b>	La productividad efectiva se incrementó de 1.79 a 2.18 pacientes/hora	<b>La productividad efectiva se incrementó de 1.63 a 2.16 pacientes/hora</b>
Tiempo de estudio disponible <i>TED</i> (minutos /estudio)	RV RC	El tiempo en el que se tiene disponible un estudio radiológico incrementó de 6.03 a 8.02 minutos/estudio	El tiempo en el que se tiene disponible un estudio radiológico incrementó 6.63 a 8.18 minutos/estudios
	<b>RV RD</b>	El tiempo en el que se tiene disponible un estudio radiológico disminuyó de 5.01 a 4.74 minutos/estudio	<b>El tiempo en el que se tiene disponible un estudio radiológico disminuyó de 5.51 a 4.79 minutos/estudio</b>
Estudios repetidos por paciente <i>ERP</i> (ER/Pa)	RV RC		Los estudios radiológicos repetidos por paciente disminuyó de 0.12 a 0.03
	<b>RV RD</b>		<b>Los estudios radiológicos repetidos por paciente disminuyó de 0.13 a 0.02</b>

A continuación se enlistan beneficios adicionales obtenidos de RV a RC y de RV a RD:

- El INR ya no genera desecho contaminante al medio ambiente como los químicos y la placa radiográfica y el espacio que se utilizaba para el almacenaje de los químicos y para las reveladoras, puede ser utilizado para un cuarto de interpretación de imágenes digitales o para la instalación de otro equipo o para lo que consideren pertinente.
- Los técnicos radiólogos y los ingenieros biomédicos ya no se encuentran expuestos a los gases químicos que pueden dañar su salud.
- Los estudios radiológicos digitales que se almacenaron en los digitalizadores y en el equipo de radiología digital, facilitaron la disponibilidad de la información tanto en discos fijos como portátiles.



## CAPÍTULO 4 DISCUSIÓN

Este capítulo presenta la discusión de los resultados obtenidos durante la realización de la metodología y su aplicación en el Instituto Nacional de Rehabilitación, así como limitaciones encontradas, consideraciones metodológicas adicionales y perspectivas que se vislumbran a futuro.

### 4.1 METODOLOGÍA

La aplicación de esta metodología puede brindar a las instituciones de salud una herramienta para evaluar la incorporación de una nueva tecnología médica, tomando en cuenta los aspectos clínicos, tecnológicos y económicos, mediante la aplicación del modelado de procesos, análisis económico y gestión por procesos.

El modelado de procesos en el ámbito hospitalario genera índices de flujo de trabajo que permite analizar los procedimientos clínicos donde se encuentra involucrado el equipo médico evaluado, también propicia la creación de indicadores de gestión por procesos en donde se puede medir tanto el rendimiento de los equipos, así como la productividad de los servicios médicos y facilita la identificación de los aspectos tecnológicos y económicos a partir de la descripción de los elementos relevantes de los que se deriva la realización del análisis de costos.

La integración del análisis de costos basado en la efectividad intermedia permite la realización del análisis costo-efectividad (ACE) en equipos médicos, dando origen al concepto de costo intra-hospitalario (*CIH*), el cual refleja los beneficios económicos reales del desempeño del equipo médico en la institución de salud.

La metodología integra varias disciplinas por lo que resulta conveniente la creación de grupos multidisciplinarios, en donde el economista participe en los análisis y

modelados económicos; los jefes de servicio (tomadores de decisiones) colaboren con el ingeniero biomédico (evaluador) en la identificación de las causas que originan problemas existentes en los flujos de trabajo, para lograr así mejoras a los procesos para incrementar la calidad de la atención a los pacientes y disminuir costos.

## **4.2 APLICACIÓN METODOLÓGICA EN EL INR**

Durante el desarrollo del proyecto hubo aspectos que se presentaron y que se consideran importantes para la obtención de la información y su posterior análisis, a continuación se describen estos aspectos.

### ***Obtención de la información.***

La información solicitada al personal del INR y al Instituto Federal de Acceso a la Información (IFAI), como se muestra en la figura 2.8, debe cumplir con el horizonte temporal y la perspectiva elegida inicialmente para poder ser analizada así como se describe en la sección 3.3.2.

Para la obtención de la información durante la realización de la estancia hospitalaria en el servicio de radiología, se tuvo que informar al personal adscrito acerca de la importancia de su cooperación en la investigación, ya que, de no tomarse estas medidas de sensibilización, se corría el riesgo de que el personal creyera que se trataba de un ejercicio de supervisión, reaccionando en este caso de manera negativa.

Debido a la estrecha comunicación con el personal (técnicos radiólogos, médicos radiólogos, enfermeras, recepcionistas y jefe de servicio), se pudo contar con una inmejorable retroalimentación, tanto para el análisis del flujo de trabajo como para la medición de los tiempos de los procesos.

### ***Equipos médicos evaluados.***

La tecnología radiológica convencional tanto fija como móvil, durante la realización del proyecto, contaba con más de diez años de funcionamiento, esto se tomó en cuenta para el análisis de costos, ya que fue indispensable contar con los costos originales de adquisición.

### ***Modelado y gestión por procesos.***

El indicador de gestión por procesos y el índice de flujo de trabajo en la realización del estudio simple de consulta externa en el servicio de radiología del INR (Figura 3.1) consideraron el tiempo de utilización del módulo de citas del Sistema de Información Radiológica (RIS, por sus siglas en inglés) en la evaluación de RC, en comparación con RV en donde sólo se consideró el tiempo de la realización de las citas en una bitácora.

Para el cálculo de los indicadores e índices efectivos no se contó con un estudio situacional que mostrara los factores que intervienen en la productividad del técnico radiólogo en el INR, por lo que este trabajo tomó en cuenta un caso de estudio del Department of Radiology St. Vincent Hospital Worcester, Massachusetts. Lo anterior generó un área de oportunidad para realizar un estudio situacional no solo en el servicio de radiología del INR, sino en otras instituciones de salud.

Las probabilidades de ocurrencia de las figuras 3.2 y 3.3, fueron indispensables para ponderar con base en la capacidad operativa de la tecnología radiológica evaluada el “Estudio en general” que se muestra de la tabla 3.9 a la 3.11 y de la 3.25 a la 3.27. Esto sugiere que no es recomendable tan sólo promediar para obtener el resultado general ya que no se estaría considerando la capacidad operativa de la tecnología médica evaluada.

El tiempo promedio de estudio radiológico disponible *TED* (Tabla 3.11) para RD muestra una disminución de tiempos de procesamiento y entrega del estudio respecto a la RV. En comparación con la RC en donde se incrementó, debido a que se considera en la digitalización de estudios, las etapas de captura de datos del paciente a las estaciones de digitalización, post procesamiento de la imagen e impresión de placa. Por lo anterior se detectó que la radiología digital tiene disponible un estudio radiológico en menor tiempo que la radiología computada en el instituto.

### ***Análisis de costos.***

Un componente del análisis de costos es el cálculo del costo anual equivalente [7], para el que se consideraron los costos originales de adquisición de los equipos médicos y una vida útil completa, la cual pudo obtenerse mediante la asesoría de los ingenieros de servicio, así como de los especialistas de producto de las diferentes marcas de equipos radiológicos evaluados.

Los resultados mostrados en la tabla 3.19 (costo por estudio radiológico repetido *CPER*) consideró el flujo de trabajo y el tiempo estimado para la repetición de estudios radiológicos. Sin embargo las causas de repetición de estudios radiológicos no fueron analizadas por cuestiones de tiempo, así que se abre en términos generales, un área de oportunidad para continuar este análisis más adelante.

### ***Efectividad intermedia.***

En la determinación de la efectividad intermedia “Estudios Repetidos por Paciente (*ERP*)”, la aplicación de las probabilidades de ocurrencia de las figuras 3.6 y 3.7 permitió ponderar la información global del desecho de placa radiográfica por tipo de estudio radiológico. Resulta adecuada la consideración anterior para realizar el

cálculo del costo asociado a los estudios radiológicos repetidos por paciente (*CPER*).

Durante los periodos de evaluación elegidos, el INR reveló en placa radiográfica e imprimió en placa térmica todos sus estudios radiológicos realizados tanto para la radiología convencional, como para la computada y digital, por ello es relevante la determinación de *ERP* en este trabajo, ya que no se consideró en esta evaluación, un sistema de almacenamiento y distribución de imágenes (PACS, por sus siglas en inglés).

### ***Modelado económico.***

El modelado económico realizado mediante árboles de decisión, representa de forma gráfica cada una de las alternativas tecnológicas en la realización de estudios radiológicos en el INR, este modelado integra probabilidades del modelo (Tabla 3.23), y los costos intra-hospitalarios y de repetición de estudios, los cuales han sido ajustados a un mismo año (2009), el resultado gráfico obtenido (Figuras 3.9 y 3.10) permitió analizar a las alternativas tecnológicas mediante la aplicación de conceptos tales como el plano de la costo-efectividad [7] y de la tabla de decisión (Tabla 3.24).

### **4.3 LIMITACIONES.**

La principal limitante encontrada tanto para el desarrollo de la metodología como para su aplicación en el INR, fue la disponibilidad de la información, además de los tiempos de espera para obtenerla, por lo que se tuvieron que implementar estrategias de búsqueda de información que hizo posible la realización de este estudio.

#### 4.4 CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS ADICIONALES.

De la experiencia adquirida durante la realización de la metodología y de su aplicación en el INR, se describen a continuación algunas consideraciones metodológicas adicionales:

El modelado de procesos puede aplicarse a los flujos de trabajo generales de los servicios médicos de las instituciones de salud, lo cual permitiría identificar al personal involucrado y su interrelación. Esto tiene dos ventajas considerables: la identificación de las causas que originan problemas existentes en los flujos de trabajo dentro de los mismos servicios, con la finalidad de realizar mejoras a los procesos y puede tomarse como referencia para la realización o actualización de los manuales de procedimientos de cada servicio médico.

Adicionalmente, el uso del modelado de procesos para el análisis de flujo de trabajo de los procedimientos clínicos resulta conveniente para desarrollar las bases sobre las cuales se describan los procesos; de esta manera se pueden desarrollar y documentar con facilidad los elementos que solicitan los diversos procedimientos de certificación y calidad del Sector Salud<sup>18</sup>.

Los resultados obtenidos en la etapa de análisis de costos pueden considerarse como referencia en la realización de estudios de minimización de costos de equipo médico, además de facilitar la actualización de cuotas de recuperación de los institutos.

Finalmente, esta metodología puede ser aplicada tanto en la evaluación de equipo médico propiedad de los institutos, así como en los que se encuentran en calidad de servicios integrales y brinda de forma sistemática, cuantitativa y estandarizada herramientas que permiten la obtención de evidencia que puede ser empleada para

---

<sup>18</sup> Navor N. P, Martínez F, Gutiérrez J. Molina R. “Metodología para el análisis de costos del servicio de radiología convencional”. Memorias del Primer Congreso de Bioingeniería. Costa Rica 2009.

justificar y/o propiciar la incorporación de equipo médico a institutos de salud donde se demande.

#### **4.5 PERSPECTIVAS**

La figura 4.1 muestra las perspectivas a futuro de la propuesta metodológica y del caso de estudio del INR, a continuación se describen detalladamente:

- La metodología propuesta puede ser aplicada para realizar una evaluación tecnológica completa o parcial. Por ejemplo el modelado de procesos puede aplicarse para visualizar la calidad de atención que se brinda a los pacientes en cualquier nivel de atención en salud.
- A partir del modelado, se pueden realizar mejoras a los procesos hasta incrementar la calidad de atención a los pacientes y, para tal fin, el área de la reingeniería de procesos y de la metodología SPC (Statistical Process Control), constituyen un campo por explorar para su aplicación en el ámbito hospitalario.
- La medición de la efectividad intermedia de los equipos médicos en las instituciones de salud, es un campo por explorar en la ingeniería biomédica, así como la aplicación de software de modelado económico.
- De la aplicación de la metodología en el INR, se sugiere como seguimiento al presente proyecto, realizar un análisis de los flujos de trabajo ya modelados, para detectar factores que deban corregirse y así realizar mejoras directas para la integración de la radiología computada/digital en el INR y disminuir costos.

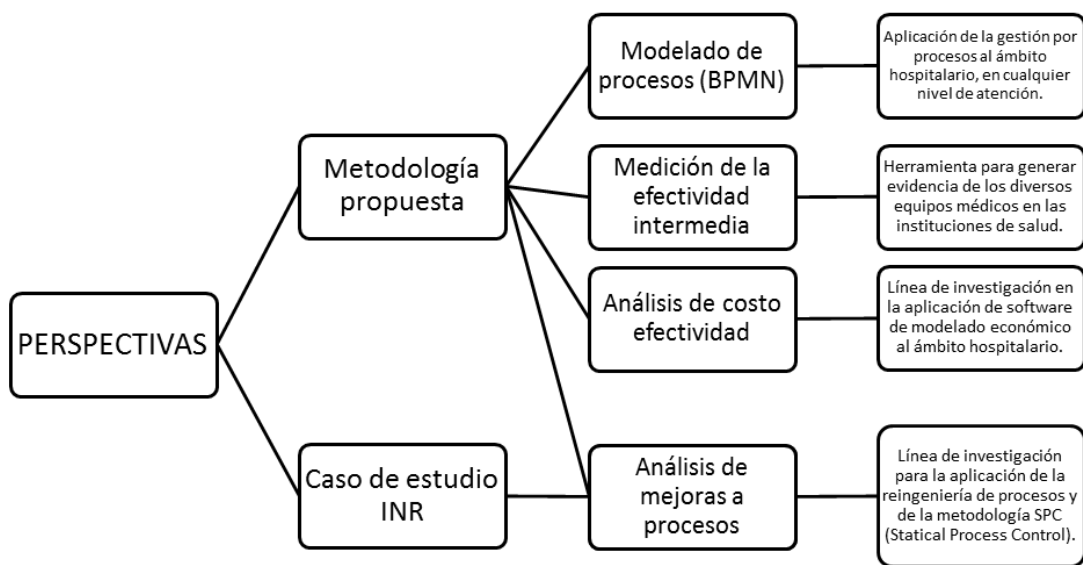


Figura 4.1 Perspectivas



## CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

- Se desarrolló una metodología que integra herramientas que permiten la generación de evidencia en aspectos clínicos, tecnológicos y económicos en la evaluación de equipos médicos.
- El uso del modelado de procesos de negocios (BPMN) permitió analizar los procedimientos clínicos en donde se encuentra involucrado el equipo médico, propiciando la generación de índices de flujo de trabajo, además de la realización de un análisis estadístico de tiempos de los procesos modelados.
- A partir de la generación de índices de flujo de trabajo, se definieron los indicadores de gestión por procesos, con los cuales se midió el impacto del cambio tecnológico en el instituto.
- Se identificaron elementos relevantes para la realización del análisis costo-efectividad, del cual se derivan los conceptos de efectividad intermedia y costo intra-hospitalario (CIH) en la evaluación de equipo médico.
- De la comparación entre RC y RV en el INR se obtuvo que: *disminuyó la repetición de los estudios radiológicos a pacientes de 0.12 a 0.03 ER/Pa, incrementó el rendimiento efectivo de los equipos médicos de 6.97 a 13.96 estudios/hora, incrementó la productividad efectiva en el servicio de radiología de 1.14 a 1.42 pacientes/hora. El tiempo en el que se tiene disponible un estudio radiológico incrementó de 6.63 a 8.18 minutos/estudio.*
- De la comparación entre RD y RV en el INR se obtuvo que: *disminuyó la repetición de los estudios radiológicos a pacientes de 0.13 a 0.02 ER/Pa, incrementó el rendimiento efectivo de los equipos médicos de 9.22 a 10.46 estudios/hora, incrementó la productividad efectiva en el servicio de*

*radiología de 1.63 a 2.16 pacientes/hora. El tiempo en el que se tiene disponible un estudio radiológico disminuyó de 5.51 a 4.79 minutos/estudios.*

- Se determinó que a partir del cálculo del costo intra-hospitalario (CIH) y del modelado económico de las tecnologías radiológicas evaluadas, *la radiología computada es más costo efectiva que la convencional*, en la realización de estudios simples a pacientes de hospitalización.
- La radiología digital (RD) en el INR tiene disponible un estudio radiológico en menor tiempo que la radiología computada.
- La evaluación realizada a las tecnologías radiológicas del INR entrega información muy cercana a la realidad del servicio de radiología, misma que servirá de apoyo al tomador de decisiones en la migración hacia un servicio de radiología digital.

## GLOSARIO

**Análisis costo-beneficio.** En el análisis de costo-beneficio se requiere que las ganancias en salud se expresen en términos monetarios, para lo cual se requiere valorar cada estado de salud en términos monetarios.

**Análisis costo-efectividad.** Considera la comparación de alternativas con una única medida de resultado. Los resultados finales son medidos en unidades naturales como casos encontrados, vidas salvadas, años de vida ganados, etc., y los resultados son expresados como un costo por unidad de resultado. Es útil para evaluar aquellos casos donde la efectividad de las intervenciones no es equivalente, pero también puede medirse la efectividad en término de unidades intermedias, siempre y cuando sea justificado.

**Análisis de minimización de costos.** Aplica cuando las alternativas a evaluar demuestran con evidencia científica, que ofrecen igualdad tanto en beneficios como en desventajas; al presentar ambas la misma efectividad, resulta entonces más atractiva la de menor costo.

**Análisis costo-utilidad.** Este método presta especial atención a la calidad del estado de salud. El costo de una intervención es comparado con la mejora en el estado de salud atribuible a dicha intervención. Por lo general esta mejora es medida en términos de años de vida ganados ajustados por calidad (QALYS por sus siglas en inglés). Es útil para evaluar aquellos casos donde las unidades de medida de resultado de las intervenciones no son equivalentes. Este estudio es realizado para complementar los análisis de costo-efectividad, con mediciones finales. A continuación se resumen los criterios para seleccionar el tipo de evaluación económica.

**Business Process Modeling Notation (BPMN).** El modelado de procesos de negocio es la base para comprender mejor la operación de una organización, documentar y publicar los procesos buscando una estandarización y eficiencia.

**Costo anual equivalente.** Es el costo equivalente por año de poseer un activo durante toda su vida.

**Costos fijos.** Costos que no varían con la cantidad de salida a corto plazo (en torno a un año).

**Costos variables.** Costos que varían con el nivel de salida, por ejemplo, los suministros, las refacciones, etc.

**Efectividad.** Es el resultado o beneficio obtenido de una determinada práctica, actuación o actividad hospitalaria en condiciones habituales de aplicación, es decir, en la aplicación real diaria.

**Flujo de trabajo.** Analiza una actividad de trabajo: cómo se estructuran las tareas, cómo se realizan, cuál es su orden, cómo se sincronizan, cómo fluye la información que soporta las tareas y cómo se le da seguimiento al cumplimiento de las tareas.

**Función de producción.** La función de producción relaciona la cantidad de factores productivos utilizados (mano de obra, maquinaria, materia prima, otros suministros, etc.) con la producción obtenida de un determinado bien.

**Gestión.** Es el conjunto de actividades de decisión que tienen lugar dentro de una empresa o en términos más generales, una organización. Gestionar consiste en seleccionar ciertas acciones, partiendo de diversa información.

**Gestión por procesos.** Aporta una visión y herramientas con las que se puede mejorar y rediseñar el flujo de trabajo para hacerlo más eficiente y adaptarlo a las necesidades del servicio médico.

**Índice.** Es una medida de valoración (usualmente cuantitativa) que varía con el tiempo como resultado de cambios en determinados factores de un proceso o de las actividades desarrolladas.

**Indicador.** Es un aspecto observable y medible de un atributo de interés, que varía con el desempeño o funcionamiento del sistema.

**Macro costeo (top-down).** Puede involucrar el uso de datos ya existentes sobre el costo total o promedio, así como la aportación de estos últimos en la opción que está siendo evaluada. Con esta técnica los costos no son descompuestos en sus componentes constitutivos de cantidades y precios.

**Micro costeo (bottom-up).** Con esta técnica se identifican cantidades y el valor de los recursos en una forma desagregada, por lo que cada elemento del costo es estimado de manera individual y al final se suman todos los costos.

**Procedimiento.** Es el modo de ejecutar determinadas acciones que suelen realizarse de la misma forma, con una serie común de pasos claramente definidos, que permiten realizar una ocupación, trabajo, investigación, o estudio.

**Proceso.** Un proceso comprende una serie de actividades realizadas por diferentes departamentos o servicios de una institución, que añade valor y que ofrecen un servicio a su cliente. Este cliente podrá ser tanto un “cliente interno” (otro servicio) como un “cliente externo” (paciente).

**Radiología Computada (RC).** Los rayos X inciden en una placa de sensores fotoestimulables de fósforo en donde se produce una imagen latente que se almacena hasta ser estimulada por luz láser en un digitalizador.

**Radiología Digital (RD).** Los rayos X son digitalizados dentro del detector en sí, ofreciendo una total e inmediata fidelidad de imagen, que puede visualizarse en un monitor.

**Servicio integral.** El servicio integral proporciona el soporte técnico, es decir, el mantenimiento, la asesoría y la capacitación para mantener en funcionamiento al

100% el servicio de Radiología e Imagen, así como garantizar que las licencias de todo el software instalado se encontrarán vigente hasta el término del contrato.

## ANEXO 1. MODELADO DE PROCESOS

Business Process Modeling Notation (BPMN) es una notación gráfica que describe la lógica de los pasos de un proceso de negocio. Esta notación ha sido especialmente diseñada para coordinar la secuencia de los procesos y los mensajes que fluyen entre los participantes de las diferentes actividades. Esta notación proporciona un lenguaje común para que las partes involucradas puedan comunicar los procesos de forma clara, completa y eficiente [16].

La figura A1.1 muestra la relación del servicio de radiología con las áreas médicas que demandan estudios radiológicos en el INR, tanto para este modelado como para el que se muestra de las figuras A1.2 a la A1.5 se realizó el siguiente método:

- Identificar nomenclatura de la notación BPMN.
- Identificar equipos médicos a evaluar y su aplicación a los pacientes del INR.
- Identificar personal involucrado en la utilización de los equipos médicos.
- Identificar áreas médicas en relación directa con el servicio de radiología.
- Identificar los procesos.
- Desarrollar el mapa de procesos.
- Describir procesos.
- Desarrollar los diagramas de los procesos.
- Revisar los diagramas de procesos con el personal médico involucrado, para realizar las correcciones correspondientes.
- Finalizar diagramas de procesos.
- Tomar tiempos de los procesos.
- Analizar estadísticamente los tiempos de los procesos.

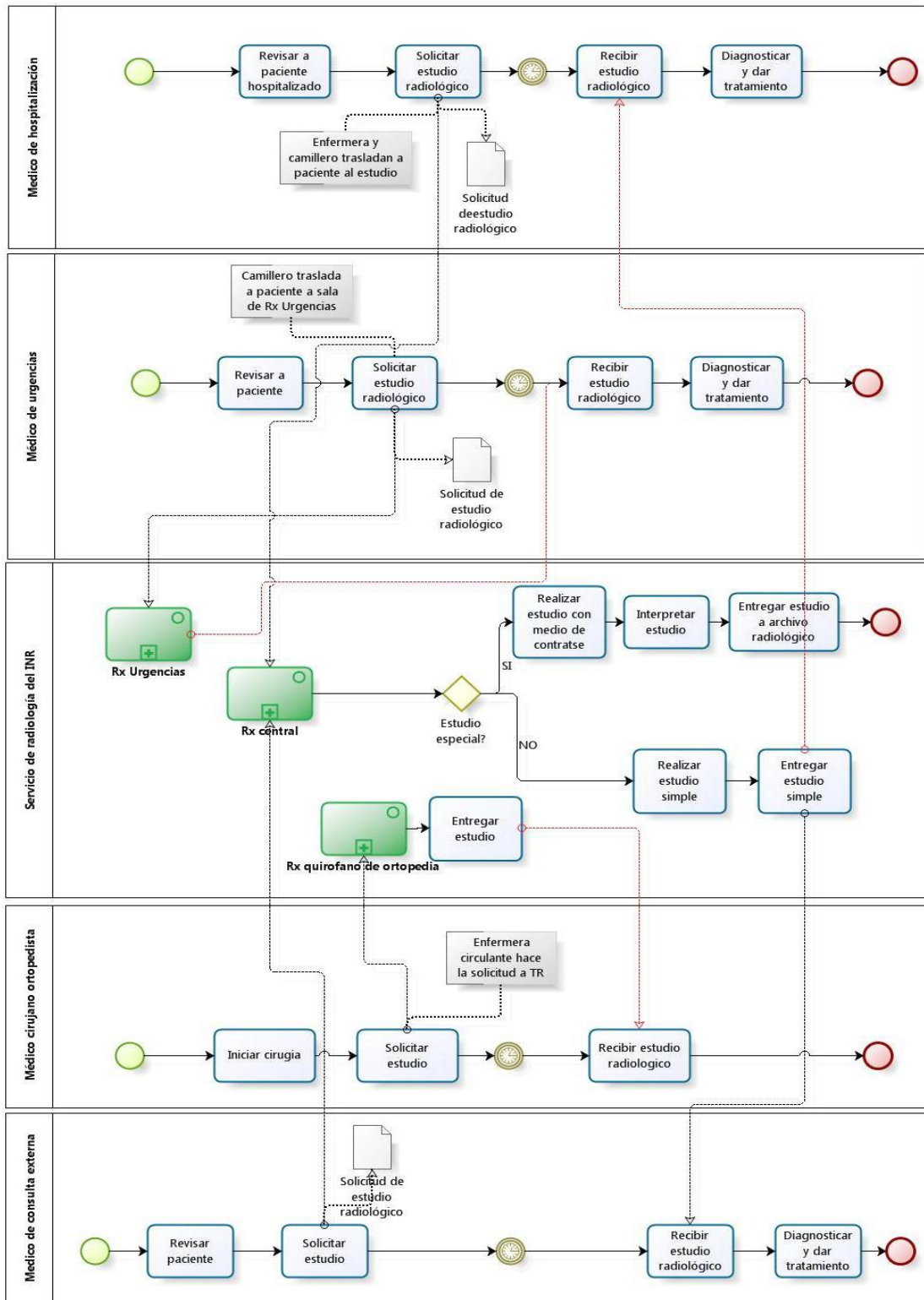


Figura A1.1 Modelado BPMN del uso de la radiología en el INR



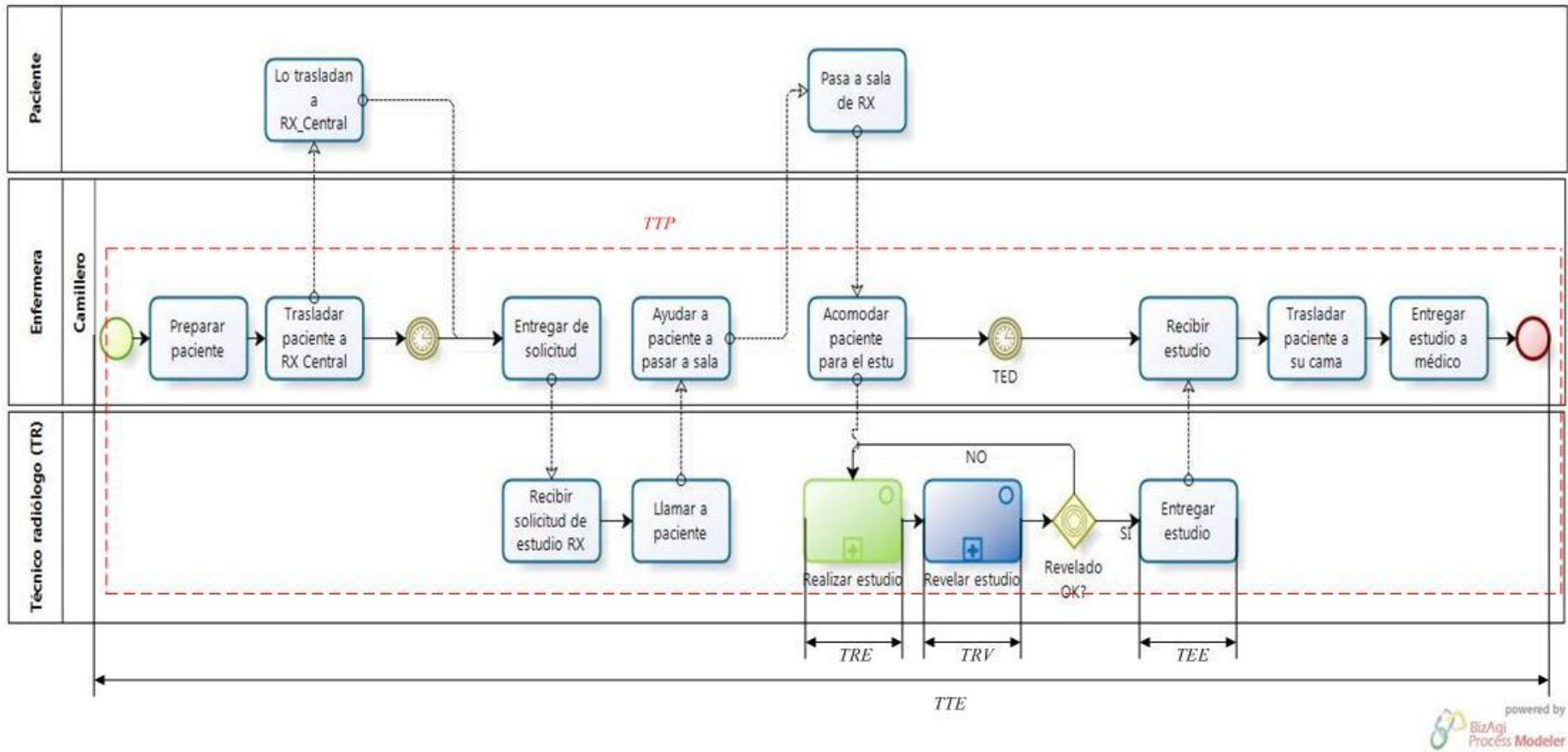


Figura A1.2 Modelado BPMN del estudio simple de hospitalización con RV

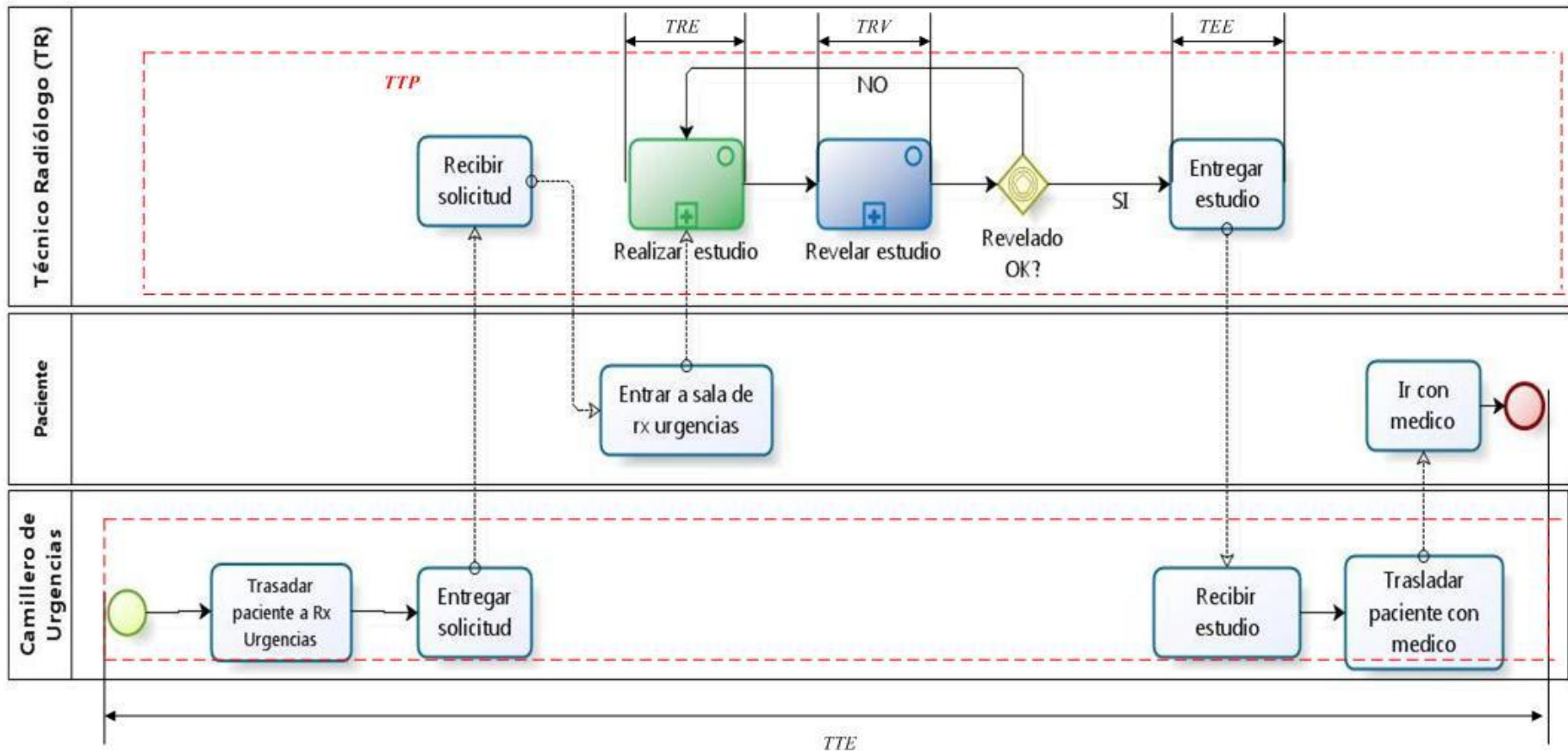


Figura A1.3 Modelado BPMN del estudio simple de urgencias con RV

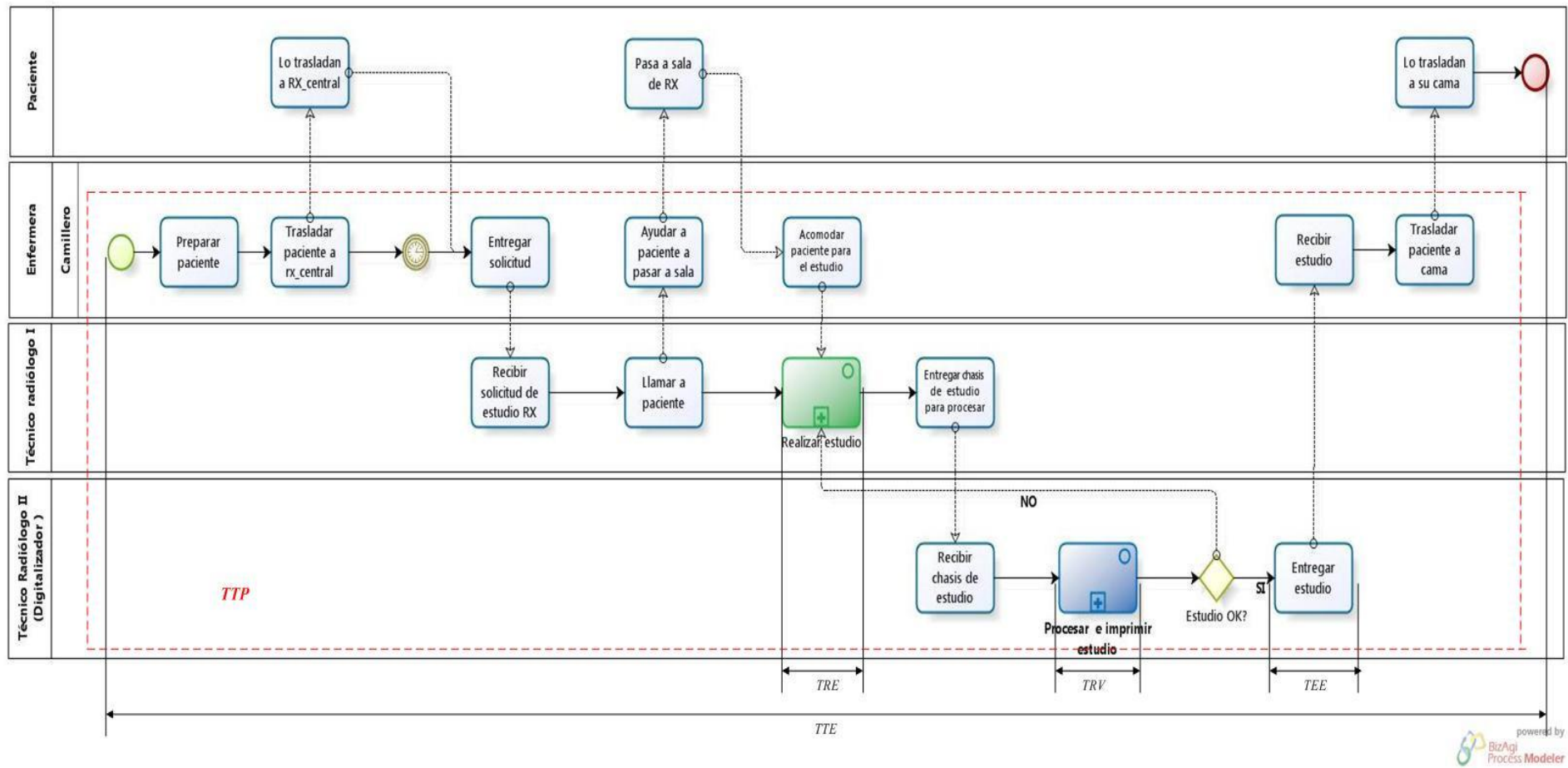


Figura A1.4 Modelado BPMN del estudio simple de hospitalización con RC

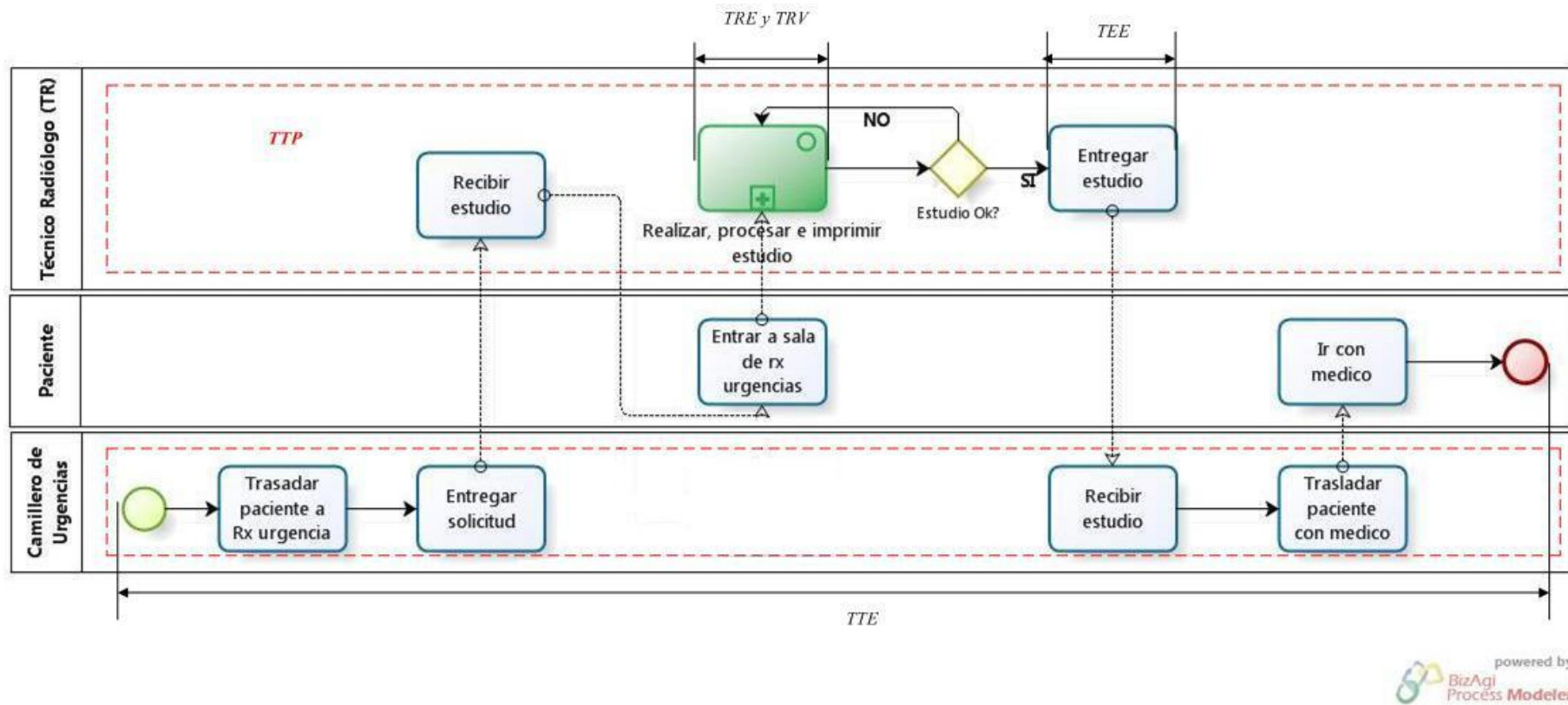


Figura A1.5 Modelado BPMN del estudio simple de urgencias con RD

## ANEXO 2. CÁLCULO DE MUESTRA ESTADÍSTICA

Cálculo de muestra estadísticamente significativa para la adquisición de tiempos de estudios radiológicos

Tabla A2.1 Estudios radiológicos realizados con RV, RC y RD.

	Radiología convencional (RV) (Enero 2007 - Dic 2007) $\chi \pm \sigma$	Radiología computada (RC) (Mayo 2008 - Abril 2009) $\chi \pm \sigma$	Radiología digital (RD) (Julio 2008 - Julio 2009) $\chi \pm \sigma$	$\sigma$ máxima	Total de estudios realizados $\chi \pm \sigma$
CONSULTA EXT	4692 ± 539.82	5094.67 ± 623.31		623.31	4893.58 ± 581.56
HOSPITALIZACION	209.33 ± 39.15	206.33 ± 54.46		54.46	207.83 ± 46.80
ESPECIALES	37.67 ± 6.34	12.67 ± 5.19		6.34	25.17 ± 5.77
QUIROFANO	625.75 ± 123.81	690.17 ± 60.99		123.81	657.96 ± 92.40
<b>URGENCIAS</b>	<b>1550 ± 167.19</b>		<b>1758.42 ± 202.98</b>	<b>202.98</b>	<b>1659.08 ± 185.08</b>

$\chi$ = Promedio mensual de estudios realizados en el periodo de evaluación.  
 $\sigma$ = Desviación estándar.

La muestra estadísticamente significativa de estudios realizados, se calculó mediante las ecuaciones A2.1, A2.2, A2.3 [49], utilizando la información de los estudios radiológicos realizados mostrados en la tabla A2.1, en donde el promedio mensual y su desviación estándar ha sido calculada por tipo de estudio.

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} \quad (A2.1)$$

$$n_o = \left[ \frac{Z^* \sigma}{E} \right]^2 \quad (A2.2)$$

$$E = \frac{\sigma_{\max ima}}{\sqrt{a}} \quad (A2.3)$$

Donde:

$\sigma$  máxima = desviación estándar máxima por tipo de estudios.

$E$  = error estándar.

$a$  = 12, número de meses considerados como periodo de evaluación.

$Z$  = 1.96, relativo al intervalo de confianza del 95%.

$n_o$  = tamaño teórico de la muestra.

$N$  = promedio total de estudios realizados.

El resultado obtenido representa el valor mínimo de estudios radiológicos que deben muestrearse para asegurar un intervalo de confianza del 95%.

Tabla A2.2. Muestra estadística por tipo de estudio radiológico

Tipo de Estudio	$E = \frac{\sigma_{\max\ima}}{\sqrt{a}}$	$n_o = \left[ \frac{Z * \sigma}{E} \right]^2$	$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}}$
CONSULTA EXT	170.94	44.47	<b>44.07</b>
HOSPITALIZACION	14.93	37.73	<b>31.93</b>
ESPECIALES	1.74	42.24	<b>15.77</b>
QUIROFANO	33.95	28.45	<b>27.27</b>
URGENCIAS	55.67	42.47	<b>41.41</b>

### ANEXO 3. ELEMENTOS RELEVANTES

Los elementos comunes que pueden ser usados tanto en RV, RC o RD, han sido excluidos, ya que sus costos no dependen del tipo de radiología que se esté utilizando [7]; algunos ejemplos son: dosimetría personal, papelería, ropería, lavandería, etc. En las figuras A3.1, A3.2, A3.3. y A3.4 se muestran los elementos relevantes identificados por tecnología radiológica evaluada en el INR.

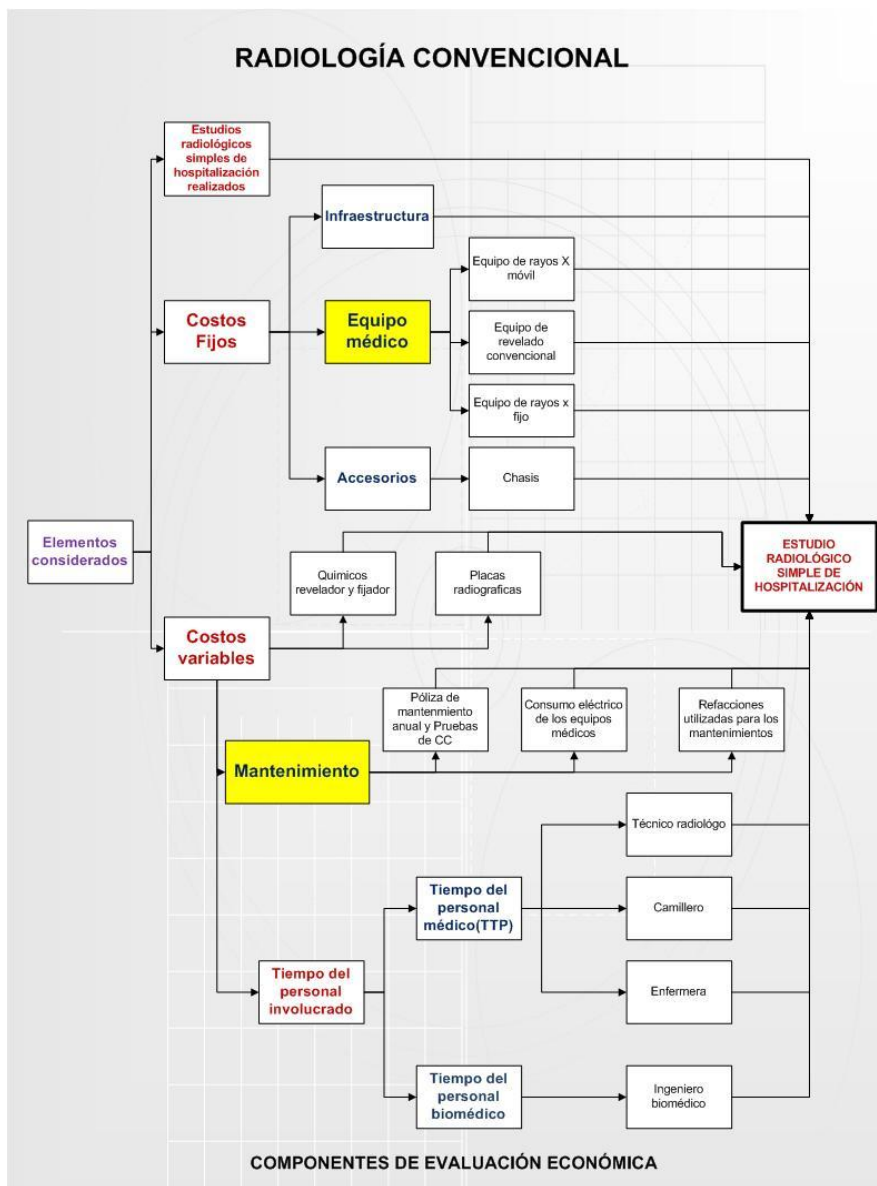


Figura A3.1 Elementos relevantes del estudio simple de hospitalización con RV

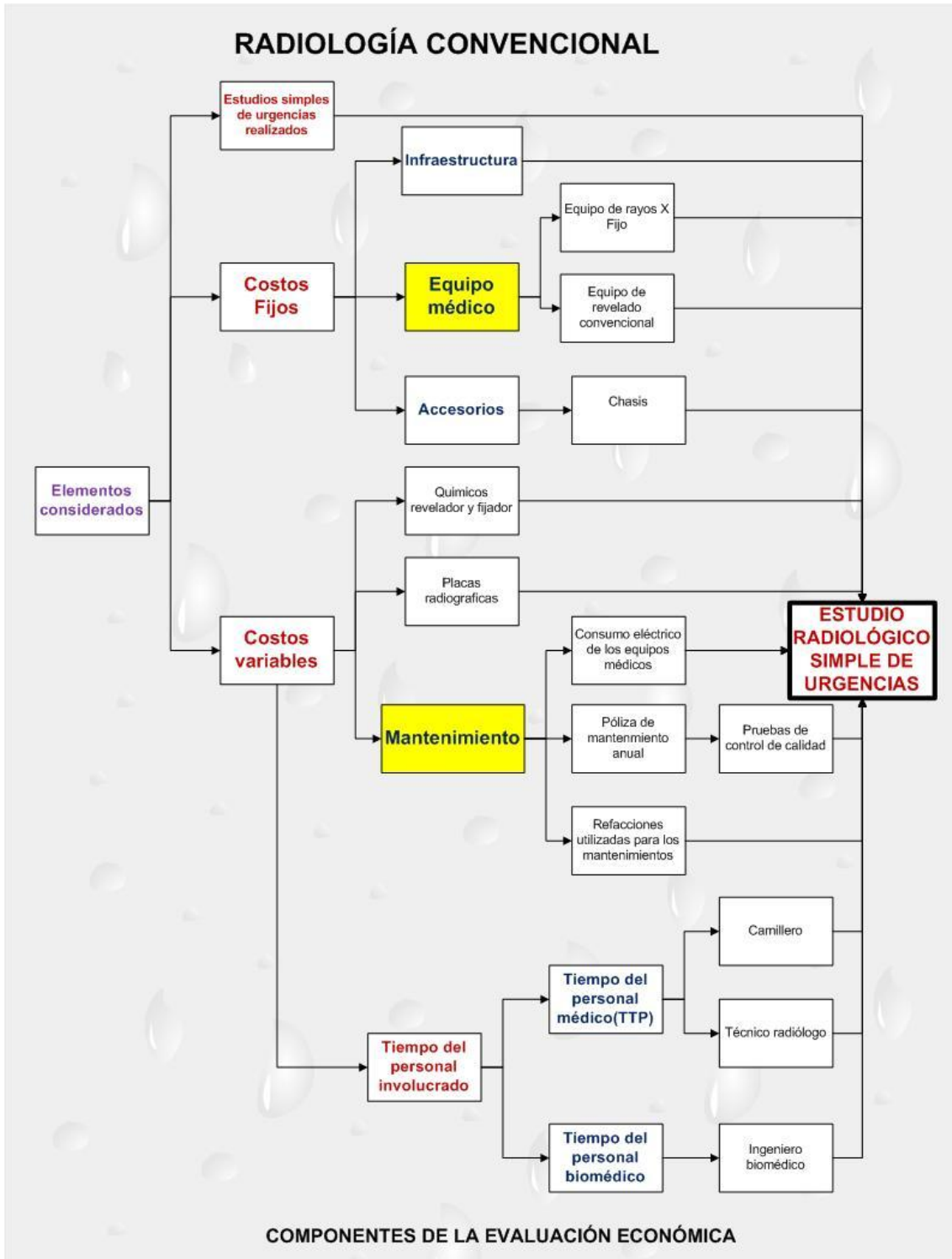
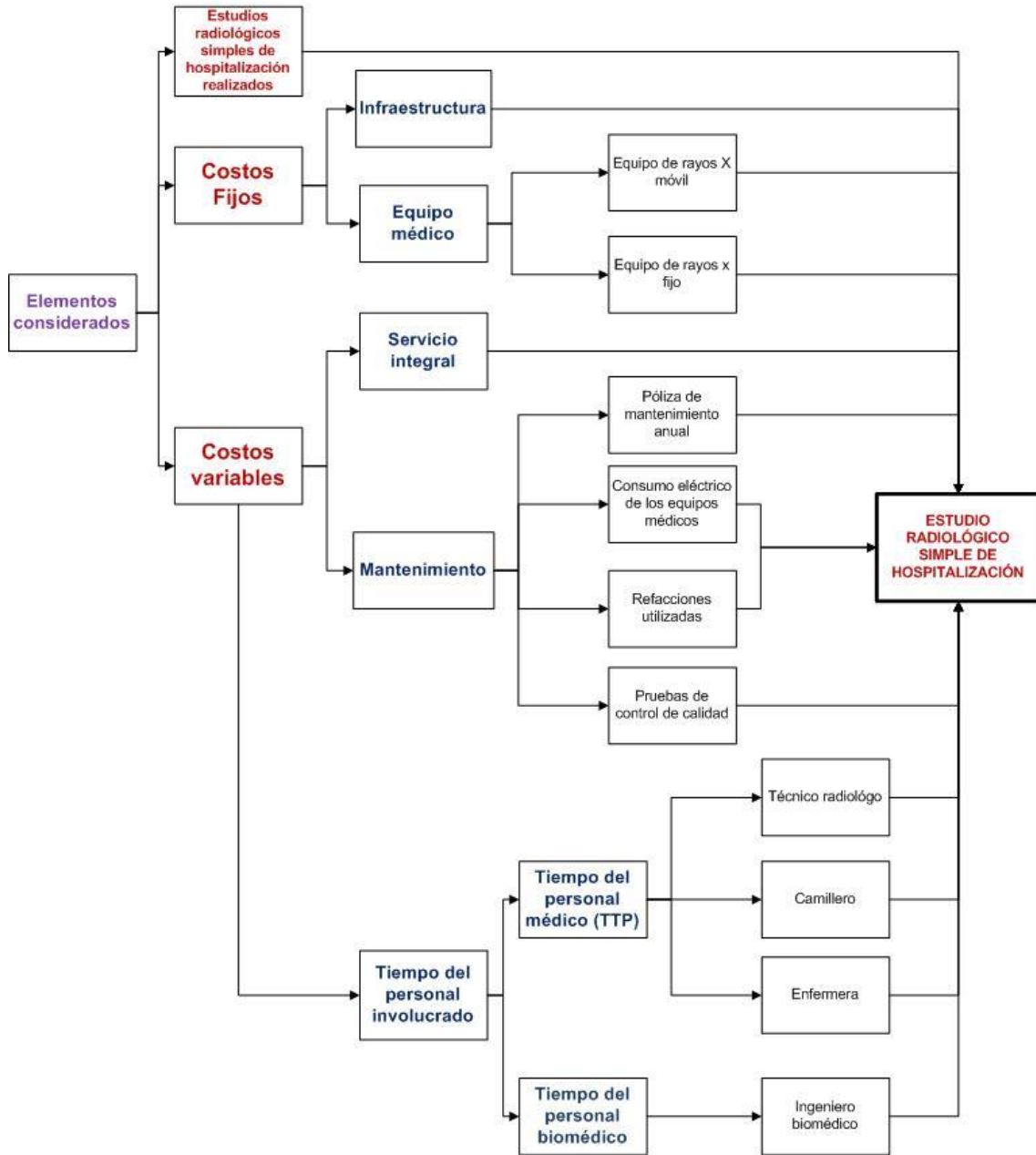


Figura A3.2 Elementos relevantes del estudio simple de urgencias con RV



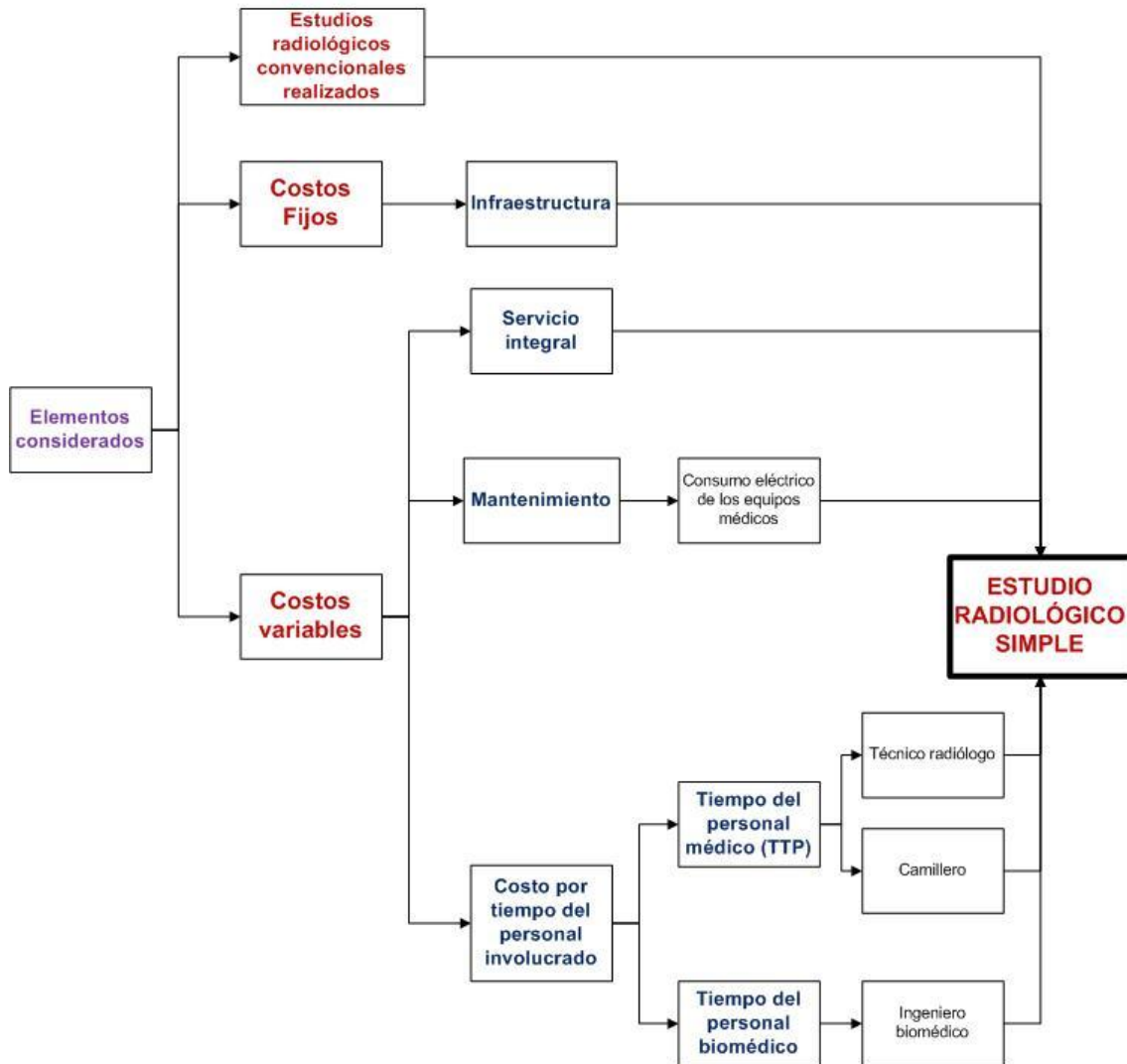
## RADIOLOGÍA COMPUTADA



### COMPONENTES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

Figura A3.3 Elementos relevantes del estudio simple de hospitalización con RC

## RADIOLOGÍA DIGITAL (URGENCIAS)



### COMPONENTES DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

Figura A3.4 Elementos relevantes del estudio simple de urgencias con RD

Las figuras A3.5, A3.6, A3.7 y A3.8 muestran el porcentaje de participación de cada elemento relevante en el análisis de costos de la tecnología radiológica evaluada en el INR (% de participación =  $(Ci/CE) \cdot 100\%$ ), donde  $CE$  es el costo asociado a la aplicación clínica del equipo médico radiológico evaluado y  $Ci$  es el costo del elemento relevante.

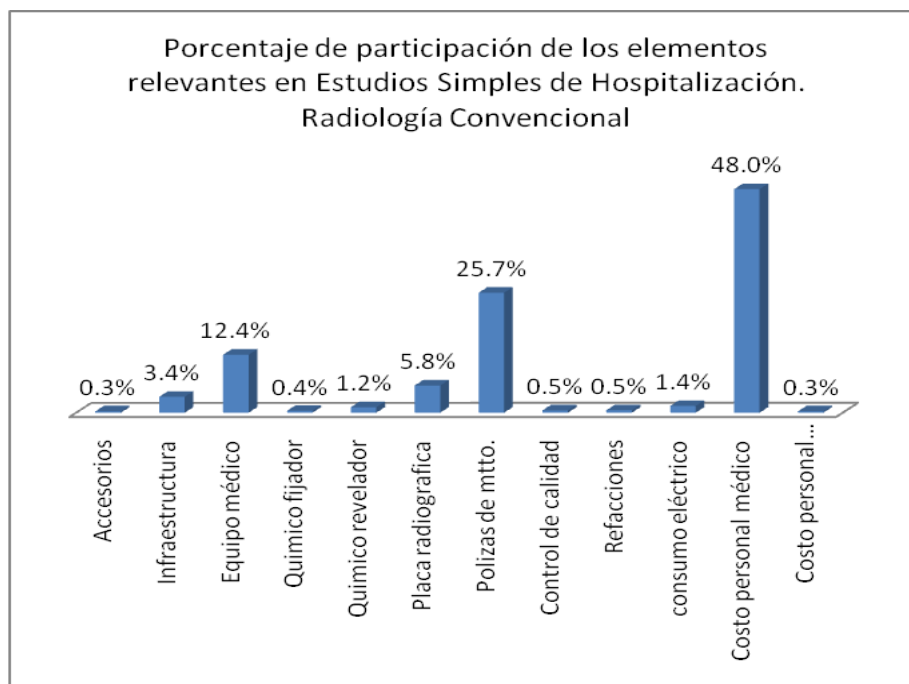


Figura A3.5 Porcentajes de participación de los elementos relevantes de estudio simple de hospitalización con RV

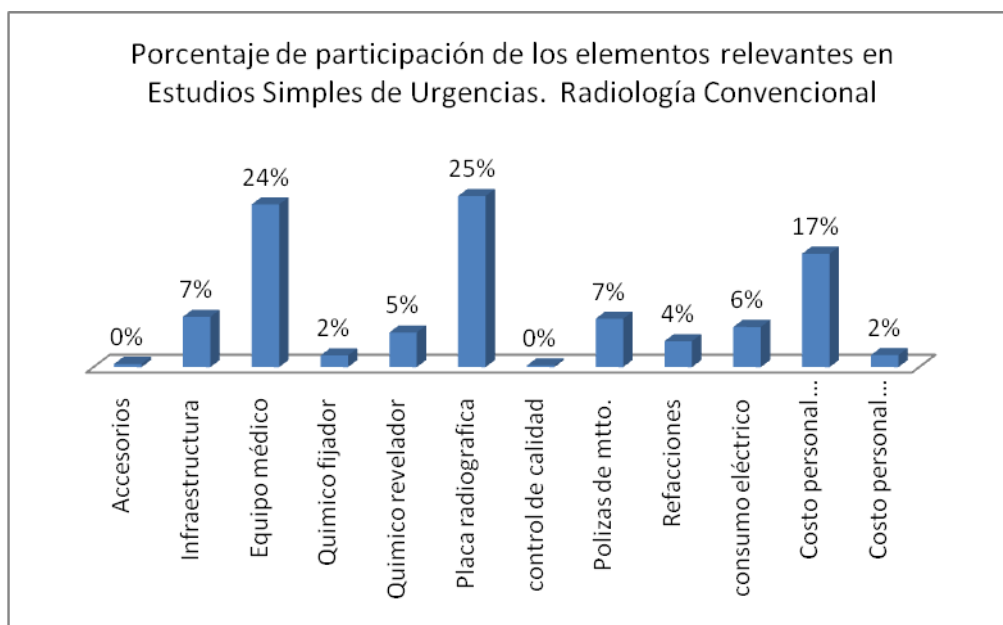


Figura A3.6 Porcentajes de participación de los elementos relevantes del estudio simple de urgencias en RV

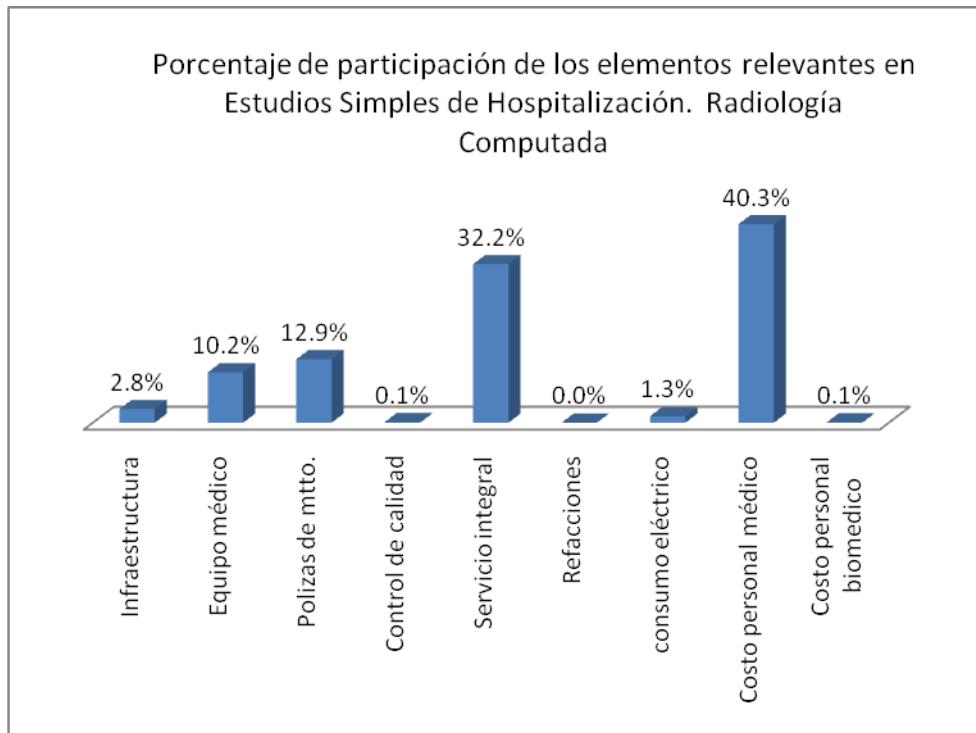


Figura A3.7 Porcentajes de participación de los elementos relevantes de estudio simple de hospitalización en RC

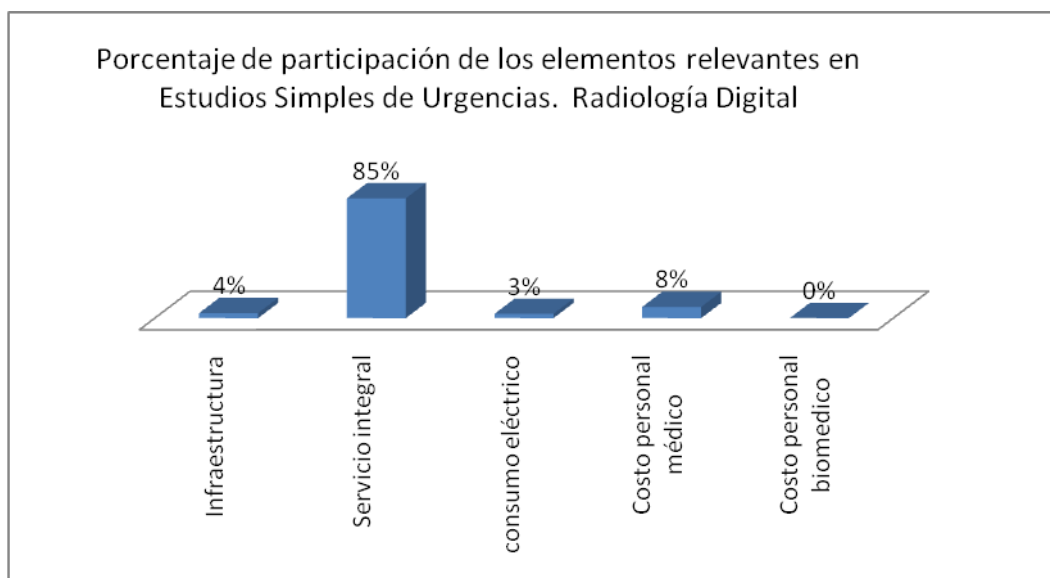


Figura A3.8 Porcentajes de participación de los elementos relevantes del estudio simple de urgencias en RD

## REFERENCIAS

- [1] Office of Technology Assessment. *Assessing the efficacy and safety of medical technologies*. Washington. DC.: Government Printing Office, 1978. Publicación No. OTA-H-75.
- [2] Kristensen F.B., Bonnevie Birgitte M., Eriksen J., Sigmud H., Ejdrup Andersen S. & Andersen S. *Health Technology Assessment Handbook*. 2007. Available from:  
[http://www.sst.dk/publ/Publ2008/MTV/Metode/HTA\\_Handbook\\_net\\_final.pdf](http://www.sst.dk/publ/Publ2008/MTV/Metode/HTA_Handbook_net_final.pdf).
- [3] 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.
- [4] Pichon R. *Evaluación de la Tecnología Sanitaria y Políticas de Salud*. presentado en el 2do Foro Nacional de Tecnología para la Salud. México; 2006. Disponible en: [www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/](http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/).
- [5] Jiménez C. *Revisión Sistemática y Efectividad Clínica*. Presentado en el 3er Foro Nacional de Tecnología para la Salud. México; 2007. Disponible en: [www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/](http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/).
- [6] Secretaría de Salud / Subsecretaría de innovación y calidad. *Programa de acción específico 2007-2012. Evaluación de tecnologías para la Salud*, ISBN. 978-607-460-002-5. Disponible en:  
<http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/PAES/ETES.pdf>.
- [7] Drummond M.F., O'Brien B. J., Stoddart G. L. & Torrance G. W. *Métodos para la Evaluación Económica de los Programas de Asistencia Sanitaria*. Diaz de Santos, 2001. 2a. ed. ISBN: 8479785020.

- [8] Duran L. *Retos de la Seguridad Social en Salud en el Siglo XXI (Evaluación y gestión tecnológica)*. Instituto Mexicano del Seguro Social 2002. ISBN. 968-7346-88-4. Disponible en: <http://www.imss.gob.mx/NR/rdonlyres/1BA3186D-C5F6-4F13-8AB9-68C94D32A18C/0/RetosdelaseguridadsocialensaludenelsigloXXI0.pdf>
- [9] Tan-Torres E. T., Baltussen R., Adam T., Hutubessy R., Acharya A., Evans D.B. & Murray C.J.L. *WHO guide to effectiveness analysis*. World Health Organization 2003. Available from: [http://www.who.int/choice/publications/p\\_2003\\_generalised\\_cea.pdf](http://www.who.int/choice/publications/p_2003_generalised_cea.pdf).
- [10] Hjelmgren J., Berggren F. & Andersson F. *Health Economic Guidelines-Similarities. Differences and Some implications*. Value in Health. 2001 May-Jun, 4(3). pp: 225-250.
- [11] Guia S-47 Process Modeling Guidelines. *Canada 2002*. Available from: <http://www.for.gov.bc.ca/his/datadmin/s47.pdf>.
- [12] Reiner Bruce I. & Siegel Elliot L. Charter 5. *Reengineering workflow: A Focus on personnel and Process (A PACS guide to the Digital Revolution)*. Springer 2006. Pp: 73-95. Available from: <http://gen.lib.rus.ec/get?nametype=orig&md5...>
- [13] Kenneth R.S. Charter 10. Modeling for Health Care. (Person-Centered Health Records). Springer 2006. pp: 125-146.
- [14] Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC), *Evaluación de tecnologías para la salud (Documento metodológico)*. 12 – Mayo-2009. Disponible en: [http://www.cenetec.salud.gob.mx/.../Metodologia\\_ETES\\_CENETEC\\_mayo21\\_2.pdf](http://www.cenetec.salud.gob.mx/.../Metodologia_ETES_CENETEC_mayo21_2.pdf).

- [15] Dirección General adjunta de priorización comisión interinstitucional del cuadro básico de insumos del Sector Salud. *Guía para la conducción de estudios y evaluación económica para la actualización del cuadro básico de insumos del Sector Salud en México*. Agosto 2008. Disponible en: [http://www.csg.salud.gob.mx/.../cuadro\\_basico/GUxA\\_EVAL\\_ECON25082008\\_2\\_ech.pdf](http://www.csg.salud.gob.mx/.../cuadro_basico/GUxA_EVAL_ECON25082008_2_ech.pdf).
- [16] Owen M. & Popkin R. *BPMN Business Process Management, Introduction to the New Business Process Modeling Standard*. Available from: [http://www.omg.org/bpmn/Documents/6ADSD16960.BPMN\\_and\\_BPMN.PDF](http://www.omg.org/bpmn/Documents/6ADSD16960.BPMN_and_BPMN.PDF). consultada en mayo de 2009.
- [17] White Stephen A. *Process Modeling Notations and workflow patterns*. IBM Corporation, United States. Available from: [http://www.omg.org/bpmn/Documents/Notation\\_and\\_workflow\\_patterns.pdf](http://www.omg.org/bpmn/Documents/Notation_and_workflow_patterns.pdf).
- [18] BizAgi Process Modeler V.1.5.0.1. December 24 2009. Available from: <http://www.bizagi.com>
- [19] Larson Harold J. *Introducción a la teoría de las probabilidades e inferencia estadística*. 9ª reimpresión Ed. Limusa, México 1992.
- [20] Samuelson P.A., Nordhaus W.D., Pavon L.I., Blanco C. & Deras A. *Microeconomía con aplicaciones a Latinoamérica*. Segunda edición. Editorial McGraw-Hill, 2004.
- [21] Krugman P. & Wells Robin R. *Introducción a la Economía - Microeconomía*. Reverté, 2006.
- [22] Banco de México. *Índice Nacional de Precios*. Consultado el 05 de Diciembre del 2009. Disponible en: <http://www.banxico.org.mx>

- [23] Reiner Bruce I., Siegel E.L., Hooper F.J., Siddiqui K.M., Musk A. & Walker Larry C.A. *Multi-institutional Analisis of Computed and Direct Radiography Part. I. Technologist Productivity*. Radiology 2005,236. pp:413-419.
- [24] Reiner Bruce I., Siegel E.L., Carrino J.A. & Goldburgh M.M. *SCAR Radiologic Technologist Survey: Analysis of the Impact of Digital Technologies on Productivity*. Journal of Digital Imaging. September 2002. Vol. 5; No. 3, pp: 132-140.
- [25] Tellis Wyatt M., Andriole K.P., Jovais C.S. & Avrin D.E. *RIS Minus PACS Equals Film*. Journal of Digital Imaging. 2002. Vol. 15 Suppl 1, pp: 20-26.
- [26] Andriole K.P. *Productivity and Cost Assessment of Computed Radiography, Digital Radiography, and Screen-Film for Outpatient Chest Examinations*. Journal of Digital Imaging. September 2002. Vol. 15, No. 3, pp: 161-169.
- [27] Nitrosi A., Borasi G., Nicoli F., Modigliani G., Botti A., Bertoloni M. & Notari P. *A Filmless Radiology Department in a Full Digital Regional Hospital: Quantitative Evaluation of the Increased Quality and Efficiency*. Journal of Digital Imaging. June 2007. Vol. 20, No. 2, pp: 140-148.
- [28] Reiner Bruce I., Siegel E.L., Hooper F.J. & Glasser D. *Effect of Film-based versus filmless operation on the productivity of CT technologist*. Radiology. 1998. (207), pp: 481-485.
- [29] Martínez Lemus C., Ortiz Posadas M.R. Y Pimentel A.B. *Indicators to Estimate Radiographic film savings due to a PACS in a Mexican Health Institute. 30<sup>th</sup> Annual international IEEE Embsconference Vancouver,, Canada. August 20-24, 2008*.
- [30] Osorio J. y Paredes E. *Reingeniería de procesos en los hospitales públicos: ¿Reinventando la rueda?*, Revista Española de Salud Pública 2001; Vol. 75; No. 3, pp: 193-206.



- [31] Andriole K. P., Luth D.M. & Gould R.G. *Workflow Assessment of Digital versus Computed Radiography, and Screen-Film in the Outpatient Environment*. Journal of Digital Imaging. 2002. Vol. 15, Suppl 1, pp: 124-126.
- [32] Wideman C. & Gallet J. *Analog to Digital workflow improvement: A Quantitative Study*. Journal of Digital Imaging. 2006. Vol. 19, Suppl 1, pp: 29-34.
- [33] Colin C., Vergnon P., Guibaud L., Borson O., Pina Udeau D., et-al *Comparative Assessment of Digital and Analog Radiography: diagnostic accuracy, cost analysis and quality of care*. European Journal of Radiology. 1998. Vol. 26 No. 3 pp: 226-234.
- [34] Saini S., Seltzer S.E., Bramson R.T., Levine L.A., Kelly P., et-al. *Technical Cost of Radiologic Examinations: Analysis across Imaging Modalities*. Radiology. 2000. (216), pp: 269-272.
- [35] Blackmore C. Craing, & Magid D.J. *Methodologic Evaluation of the Radiology Cost-Effectiveness Literature*. Radiology. 1997. (203), pp: 87-91.
- [36] Powe N.R. *Economic and Cost-Effectiveness Investigations of Radiologic Practices*. Radiology. 1994, (192), pp: 11-18.
- [37] Singer Mendel E. & Applegate K.E. *Cost-Effectiveness Analysis in Radiology*. Radiology. 2001. (219), pp: 611-620.
- [38] Hunink Maria G.M. *Outcomes research and cost-effectiveness analysis in radiology*. European Journal of Radiology. 1996. Vol. 6, no. 3, pp: 615-620.
- [39] Scott Gazelle G., Mcmanon Pamela M., Slebert U. & Beinfeld Molly T. *Cost-effectiveness analysis in the Assessment of Diagnostic Imaging Technologies*. Radiology. 2005. Vol. 235, pp: 361-370.

- [40] Departamento de ingeniería biomédica. Tiempos de revelado radiográfico de procesadoras automáticas Sigex Multi-V-45x. (Manual de servicio).
- [41] De Orbe Rueda A., Fraile Moreno E., Jiménez Fernández Blanco J.R., Madrid García G., Pérez Higuera A., Pinto Valeria I., et-al. *Guía de Gestión de los Servicios de Radiología*. Sociedad Española de Radiología Médica (SERAM).  
Disponible en: [http://seram.es/attachments/427\\_guiadegestion.pdf](http://seram.es/attachments/427_guiadegestion.pdf).
- [42] Janower Murray M.L. *Productivity standards for technologist: How to use them*. Radiology. 1988. (166), pp: 276-277.
- [43] Servicio de Radiología del INR. *Reporte de estudios radiológicos realizados por área (2007- 2009)*.
- [44] Servicio de Radiología del INR. *Reporte de pacientes atendidos por área (2007- 2009)*.
- [45] Departamento de Ingeniería Biomédica del INR. *Ordenes de servicio de equipo médico del servicio de radiología (2007- 2009)*.
- [46] Instituto Federal de Acceso a la Información (IFAI). *Tabulador único del personal de la Secretaría de Salud. Vigente (2007- 2009)*.
- [47] Departamento de Ingeniería Biomédica del INR. *Manuales de Servicio de Equipo Médico*.
- [48] Servicio de Radiología del INR. *Reporte de placas radiográficas (2007- 2009)*.
- [49] García Peña J. *Introducción a la estadística en las ciencias biomédicas*. 1ª edición Ed. Alambra, México 1988.



Casa abierta al tiempo

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

Fecha : 22/11/2012  
Página : 1/1

**CONSTANCIA DE PRESENTACION DE EXAMEN DE GRADO**

La Universidad Autónoma Metropolitana extiende la presente CONSTANCIA DE PRESENTACION DE EXAMEN DE GRADO de MAESTRA EN CIENCIAS (INGENIERIA BIOMEDICA) de la alumna NORMA PATRICIA NAVOR GALEANA, matrícula 208180204, quien cumplió con los 132 créditos correspondientes a las unidades de enseñanza aprendizaje del plan de estudio. Con fecha veintitrés de noviembre del 2012 presentó la DEFENSA de su EXAMEN DE GRADO cuya denominación es:

METODOLOGIA SUSTENTADA EN GESTION ECONOMICA POR PROCESOS: EVALUACION DE LA TRANSICION HACIA UN SERVICIO DE RADIOLOGIA DIGITAL.

Cabe mencionar que la aprobación tiene un valor de 60 créditos y el programa consta de 192 créditos.

El jurado del examen ha tenido a bien otorgarle la calificación de:

Aprobar

**JURADO**

**Presidenta**

DRA. MARIA DEL ROCIO ORTIZ PEDROZA

**Secretaria**

MTRA. FABIOLA MARGARITA MARTINEZ  
LICONA

**Vocal**

MASS. SYLVIA RODRIGUEZ ALFARO

**UNIDAD IZTAPALAPA**

**Coordinación de Sistemas Escolares**

Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, México, DF, CP 09340 Apdo. Postal 555-320-9000, Tels. 5804-4880 y 5804-4883 Fax: 5804-4876