

# Metodología para la selección de una máquina de megavoltaje para el servicio de radioterapia en un hospital del sector salud

Marco Antonio Bracamontes M. y Juan José Padilla Y.

**Resumen**— El presente trabajo se desarrolló en el Hospital General Regional No.1 del Instituto Mexicano del Seguro Social de Cd. Obregón, Sonora, y cuyo objetivo fue aplicar una metodología para la selección de una máquina de megavoltaje para el servicio de radioterapia dentro del departamento de oncología ya que hasta el año 2007 la máquina de cobalto 60 empleada para el tratamiento de cáncer contaba con 21 años de operación, lo que rebasaba el tiempo de vida útil recomendado por el fabricante. Se aplicó una metodología que permite evaluar técnica y económicamente las alternativas tecnológicas existentes en el mercado para lo cual se determinaron las especificaciones técnicas de la máquina de megavoltaje, se realizó una evaluación costo/beneficio y se generó la propuesta tecnológica.

La evaluación económica durante los 12 años de vida útil del equipo, dio como resultado que el proyecto no es rentable económicamente dentro del horizonte del proyecto, mas sin embargo el proyecto cumple con el desarrollo sustentable en lo social, ambiental, tecnológico y normativo por lo cual se justifica y se recomienda llevar a cabo la inversión en el proyecto. En primer término se debe llevar a cabo la licitación del acelerador lineal equipo y accesorios, y en segundo lugar se recomienda la licitación de la obra civil.

**Palabras clave**—Administración de la Tecnología, máquina de megavoltaje, radioterapia.

## I. INTRODUCCIÓN

Los servicios de radioterapia son un importante auxiliar para la salud, ya que permiten brindar esquemas curativos o paliativos a pacientes con neoplasias malignas o algunas entidades clínicas benignas no susceptibles de ser tratadas con otros procedimientos. El servicio de radioterapia podrá estar integrado o no a un hospital. En los hospitales formará parte de los servicios auxiliares de diagnóstico y tratamiento

Manuscrito recibido el 6 de diciembre de 2007. Este trabajo fue respaldado por el departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora.

**Marco Antonio Bracamontes Morales.** Desde Enero de 2002 hasta la fecha desempeña el cargo de Físico Médico y encargado de seguridad radiológica en el Departamento de Oncología del Hospital General Regional No.1 del IMSS, desde 2004 a la fecha presta los servicios como profesor auxiliar del ITSON. (e-mail [marco.bramontes@imss.gob.mx](mailto:marco.bramontes@imss.gob.mx)).

**Juan José Padilla Ybarra.** Se ha desempeñado como profesor investigador de tiempo completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica desde 1993 hasta la fecha (e-mail [jpadilla@itson.mx](mailto:jpadilla@itson.mx)).

y se coordinará con el servicio de oncología [1].

La modalidad de tratamiento para combatir el cáncer es utilizando la radioterapia (teleterapia, braquiterapia y terapia superficial) combinada con cirugía y/o quimioterapia [2].

La teleterapia es la forma de radioterapia a distancia por medio de radiación gamma, rayos X o electrones provenientes de un equipo especialmente diseñado para esto, puede ser una unidad de teleterapia con cobalto 60, acelerador de partículas o unidad de terapia superficial. Los equipos de terapia se colocarán dentro de una instalación especialmente diseñada para brindar atención a los pacientes y seguridad adecuada al público y a los trabajadores; se le denomina "cuarto de tratamiento de teleterapia"[1].

La elección del sistema de radioterapia depende del rango de energías requeridas y de la facilidad de configuración del paciente. Las recomendaciones del instituto de investigación de cuidados de emergencia (ECRI Institute) se dividen en cuatro tipos de máquina de megavoltaje[2]:

- a) Unidad de radioterapia cobalto 60.
- b) Aceleradores lineales de baja energía.
- c) Aceleradores lineales de media energía.
- d) Aceleradores lineales de alta energía.

Las principales diferencias entre los aceleradores lineales son los rangos de energía del fotón y el electrón, y los compradores deben determinar los principales usos de la unidad, para saber cuál es el que satisface la necesidad. Las unidades de radioterapia con cobalto 60 son análogas a los aceleradores lineales de baja energía, que se usan primeramente para tratar el cáncer de hueso y tumores de cabeza, cuello y mama. Los aceleradores lineales de alta energía se utilizan para tratar neoplasias de localización profunda como tumores de pelvis y tórax. Éstos también pueden producir haces de baja energía y, por lo tanto, son aptos para más aplicaciones que los de baja energía. Sin embargo, son significativamente más costosos [2].

Como los tumores cancerosos se presentan a diferentes profundidades y localizaciones en el cuerpo, la radioterapia requiere un rango de energía de fotón y electrón, y de tamaños de campo de tratamiento. Aproximadamente 60% de los pacientes requieren terapia de baja energía, 25% de energía media a alta y 15% un haz de electrón de alta energía [2].

Tomando en cuenta la realidad de que muchos países en vía de desarrollo cuentan con sólo una gama limitada de equipos la Agencia Internacional de Energía Atómica ha clasificado los centros de radioterapia en cuatro niveles:

- a) Nivel 0, departamentos con máquinas de cobalto 60 y/o aceleradores lineales de una sola energía como modalidad principal de tratamiento y un radio oncólogo.
- b) Nivel 1, departamentos con aceleradores lineales de alta energía y capacidad para planificación computarizada de tratamientos más compleja, sistema de inmovilización de pacientes, un radio oncólogo y un físico médico.
- c) Nivel 2, contempla los niveles anteriores, además debe de contar con sistema de simulación, posibilidad de construcción de protecciones personalizadas.
- d) Nivel 3, contempla los niveles anteriores, además de ofrecer técnicas de radioterapia por intensidad modulada (IMRT), radiocirugía o radioterapia intraoperatoria [3].

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomiendan que deba existir una máquina de megavoltaje por cada millón de habitantes [4]. La norma europea específica que debe existir una máquina de teleterapia por cada 250,000 habitantes [5]. Así mismo en Estados Unidos, por cada 250 casos nuevos de cáncer se adquiere una máquina de megavoltaje [6].

La selección de la unidad de terapia con radiaciones debería ser realizada de acuerdo a necesidades clínicas en mente. El equipo de radioterapia representa una inversión importante para cualquier institución de salud. Por consiguiente, es esencial escoger una unidad versátil, que llene las necesidades de la entidad [2].

## II. DESARROLLO

A continuación se presenta la metodología utilizada para el desarrollo del trabajo la cual consta de las siguientes fases:

1. Determinación de especificaciones técnicas de la máquina de megavoltaje.
2. Evaluación costo/beneficio.
3. Generación de la propuesta.

### 1. Determinación de especificaciones técnicas de la máquina de megavoltaje.

Para determinar las especificaciones técnicas de la máquina de megavoltaje se hizo una junta con el jefe de servicio de oncología Dr. Ramon Cabello Molina, el oncólogo radioterapeuta Dr. Pedro Lucero Díaz responsable de la planeación y prescripción de tratamientos con la unidad de cobalto 60, y el Ing. Marco Antonio Bracamontes Morales físico médico y responsable de la seguridad radiológica quedando asentado mediante una minuta las características técnicas primarias del equipo descritas a continuación:

- a) Energía en fotones y electrones.
  - Tasa de dosis ajustable al isocentro.
  - Niveles de energía.
  - Terapia en Arco.
- b) Mesa.
  - Carga soportada.
  - Con facilidad de movimientos.
- c) Colimadores con facilidad de movimientos.
- d) Gantry con facilidad de movimientos.
- e) Isocentro con distancia fuente eje (DFE).
- f) Control mediante computadora personal (PC).

Descritas las características primarias se investigaron en publicaciones como Bentel [7], OIEA [8], Khan [9] así como catálogos de SIEMENS, ELEKTA, VARIAN por mencionar algunas, las características de ingeniería enunciadas a continuación:

- a) Características de haz de radiación.
  - Energía fotones (MV)
  - Tasa de dosis fotones (UM/min)
  - Tasa de dosis electrones (UM/min)
  - Energía electrones (MeV)
- b) Características de la mesa gantry y colimador.
  - Vertical (cm)
  - Lateral (cm)
  - Longitudinal (cm)
  - Distancia (cm)
  - Rotacional (°)
  - Peso (kg)
  - Eje X (cm)
  - Eje Y (cm)
- c) Características de la consola de control.
  - Procesador (GHz)
  - Memoria RAM (MB)
  - Disco duro (GB)
  - Monitor plasma (píxeles)

Para visualizar la relación existente entre los atributos del cliente y las características de ingeniería se elaboró la casa de calidad, así mismo se hizo una ponderación de la importancia relativa de cada atributo. Se evaluaron las características del equipo a diseñar con otros tres equipos denominados A, B y C. Por último se evaluó la dificultad técnica, el costo estimado y la importancia atribuida con una ponderación cuya suma debe ser de 10.

El jefe del departamento de física del Hospital de Oncología del Centro Médico Nacional XXI del IMSS validó los requerimientos y especificaciones de la máquina de megavoltaje obtenidas de la casa de calidad descritas a continuación:

- a) Del haz de radiación.
  - Energía en fotones 6-25 MV y tasa de dosis  $\geq 300$  UM/min ajustada al isocentro.
  - Energía en electrones 4-22 MeV y tasa de dosis  $\geq 300$  UM/min ajustada al isocentro.
- b) Terapia en arco.
  - Con fotones.
  - Con electrones.
- c) Mesa de tratamiento.
  - Peso soportado  $\geq 200$  kg.
  - Movimientos motorizados ajustados al isocentro.
    - Vertical de 65 hasta 175 cm tomando como referencia el piso 0 cm.
    - Lateral de 0 hasta  $\pm 25$  cm.
    - Longitudinal de 0 hasta  $\pm 45$  cm.
    - Rotacional de 0 hasta  $\pm 95^\circ$ .
  - Indicadores visuales de movimientos de la mesa.
  - Compatibles con accesorios de inmovilización.
- d) Colimadores.

TABLA I. COTIZACIÓN DE MÁQUINA MEGAVOLTAJE.

COMPañÍA	Total
A	\$ 85,353,345.00
B + constructora	\$ 55,535,377.23

- Movimientos simétricos motorizados ajustados al isocentro en el eje X y en el eje Y con campos cuadrados hasta 40 x 40 cm.
  - Movimientos asimétricos motorizados ajustados al isocentro en el eje X y en el eje Y.
  - Movimiento rotacional de 0 hasta  $\pm 90^\circ$ .
  - Indicadores visuales del tamaño de campo.
  - Luz de simulación del haz de radiación.
- e) Gantry.
- Movimientos rotacional de 0 hasta  $\pm 180^\circ$ .
  - Indicadores visuales de angulación del gantry.
- f) Isocentro.
- Distancia fuentes eje (DFE)  $\geq 100$  cm.
  - Indicador visual de DFE.
- g) Control por computadora.
- Con procesador cuya velocidad  $\geq 1$ GHz.
  - Con memoria RAM  $\geq 500$  MB.
  - Con disco duro  $\geq 60$  GB.
  - Con unidad de CD RW.
- h) Con interfaz para comunicarse con el sistema de planeación.
- i) Con sistemas de seguridad.

## 2. Evaluación costo/beneficio

### A) Evaluación financiera

Con la finalidad de establecer un marco presupuestal para la inversión que se realizará en la adquisición de la máquina de megavoltaje, así como los accesorios y equipo adicional se solicitó cotización a dos empresas denominadas A y B así mismo se solicitó cotización de la obra civil a una constructora.

La empresa A cotizó un proyecto integral que consta de la máquina de megavoltaje, equipo, accesorios, capacitación de personal y obra civil con un costo de \$ 85,353,345.00 pesos. La empresa B cotizó un proyecto que consta de la máquina de megavoltaje, equipo, accesorios, capacitación de personal con un costo de \$ 51,113,475.00 pesos y la constructora cotizó la obra civil por un monto de \$ 4,421,902.23 pesos, los dos escenarios de inversiones en el proyecto, que incluyen la máquina de megavoltaje, el equipo y accesorios, la capacitación del personal y la obra civil se muestran en la Tabla 1.

De acuerdo a lo anterior el invertir en el proyecto integral de la compañía A representa un costo del 53.69 % más (\$ 29,817,967.77 pesos) comparándolo con la cotización presentada por la compañía B más el de la constructora.

Para el cálculo de la depreciación anual del MOI (Monto Original de la Inversión) del equipo y obra civil se utilizó el método de depreciación en línea recta dentro del horizonte del proyecto, el porcentaje de depreciación anual es de 8.33% dentro de los 12 años de evaluación. El MOI tendrá una depreciación de \$ 7,109,933.63 pesos en forma anual

Sesiones de radioterapia (2004-2006)

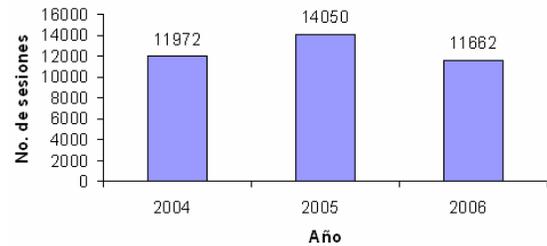


Fig. 1 Productividad en el proceso de teleterapia.

TABLA II. COSTO DE SUBROGACIÓN ESTIMADO.

Pacientes	562
Costo de simulación /paciente	\$ 2,000.00
Sesiones/año	14,050
Costo por sesión de teleterapia	\$ 560.00
Costo anual	\$ 8,992,000.00

con la compañía A y de \$ 4,626,096.92 pesos con la compañía B y la constructora. Por lo cual no hay valor de rescate una vez concluido el tiempo de vida útil del equipo.

### B) Estudio de subrogación

La subrogación es el gasto generado a una institución por referir a los pacientes a otra unidad por carecer de algunos servicios. Dentro de este estudio se realizó un análisis de las alternativas que se tienen para poder seguir atendiendo a los pacientes que requieren del servicio de radioterapia en su modalidad teleterapia. Actualmente es el único servicio de radioterapia que atiende a la población derechohabiente dentro del estado de sonora, más sin embargo en la capital existe el Hospital Oncológico del estado de Sonora (HOES) que ofrece este servicio así como la clínica Fátima en la ciudad de los Mochis del estado de Sinaloa. Para la realización de este estudio se solicitó cotización de los costos de subrogación por servicio de teleterapia a ambos hospitales teniendo respuesta únicamente del HOES. El costo por sesión de teleterapia es de \$ 560.00 pesos y el costo de simulación por paciente de \$ 2,000.00 pesos.

En la figura 1 se muestran los datos estadísticos de la productividad en los últimos tres años tomando como referencia el año 2005 para ese estudio.

Considerando una simulación por paciente, un promedio de 25 sesiones por paciente y un total de 14,050 sesiones al año se obtuvo un promedio anual de 562 pacientes. Los cálculos de gastos de subrogación por atender a los pacientes se muestran en la Tabla 2.

Por tal motivo el hospital desembolsará la cantidad de \$ 8,992,000.00 pesos, por la subrogación del servicio al año en caso de no contar con la máquina de teleterapia.

La Tabla 3 muestra los gastos que se generarán en viáticos por enviar al HOES a los pacientes que atiende el servicio de radioterapia. Los viáticos son aquellos gastos que se generan en la empresa y que no tienen que ver directamente con la operación del equipo. Se tomó el costo máximo de viáticos por día \$63.00 y de \$1144.00 pesos en pasajes por paciente y acompañante y un promedio de

TABLA III. CÁLCULO DE GASTOS POR VIÁTICOS.

Viáticos/día	\$ 63.00
Días	33
Pacientes al año	562
Gastos de viáticos al año	\$1,168,398.00
Gasto en pasajes/paciente	\$ 1144.00
Gastos en pasajes al año	\$ 642,928.00
<b>Gastos totales</b>	<b>\$1,811,326.00</b>

TABLA IV. EVALUACIÓN DE VARIABLES ECONÓMICAS.

VARIABLES ECONÓMICAS	Compañía A	Compañía B + Constructora
Valor Presente Neto(VPN)	-\$58,808,488.00	-\$28,965,815.00
Costo Beneficio (BC)	0.3 veces	0.5 veces

estancia de 33 días, bajo el supuesto que todos los pacientes son foráneos y todos vienen del lugar más remoto.

Los gastos generados por el pago de viáticos en forma anual para el hospital son en promedio \$ 1,811,326.00 pesos.

### C) Evaluación económica

En esta parte del proyecto se evaluaron bajo el método del valor del dinero en el tiempo los resultados obtenidos en la evaluación financiera, esto para traerlos a pesos constantes y poder tomar decisiones en tiempo real. En la Tabla 4 se muestran las variables económicas consideradas para la evaluación económica.

El valor presente neto nos indica al ser negativo que no se recupera la inversión dentro del horizonte del proyecto el cual es de 12 años, mientras que el costo/beneficio nos dio menor a uno esto significa que los ingresos no pueden cubrir los egresos ni la inversión ya que para proyectos sociales el  $C/B \geq 1$ . Estos valores son los resultados de evaluar el proyecto de inversión tomando los resultados de la evaluación financiera (egresos más la inversión) y el estudio de subrogación (ingresos) y darle un costo oportunidad al proyecto, con la finalidad de determinar la rentabilidad económica del proyecto.

### D) Análisis de sensibilidad

En el caso de que el hospital ofrezca los servicios al público en general como una clínica privada contemplando el mismo comportamiento anual de pacientes atendidos por el equipo actual, en el equipo nuevo se puede determinar el mínimo número de pacientes particulares que se requieren para recuperar la inversión (ver Tabla 5), considerando un promedio de 25 sesiones por paciente, el costo por sesión de teleterapia de \$560.00 pesos y el costo de simulación por paciente de \$2,000.00 pesos.

Con un mínimo de 2 pacientes no derechohabientes de primera vez canalizados diariamente que se sumen a la productividad promedio por año se puede asegurar recuperar la inversión con la compañía A y en caso de realizar la inversión con la compañía B y la constructora con un mínimo de 1 paciente no derechohabiente se puede asegurar recuperar la inversión.

### E) Impactos del proyecto.

TABLA V. PACIENTES NO DERECHOHABIENTES REQUERIDOS DENTRO DEL HORIZONTE DEL PROYECTO.

Proyecto	Pacientes de primera vez atendidos /año	Pacientes totales /año	Pacientes de primera vez requeridos/día	Costo anual/tratamientos
Compañía A	562	1118	2	\$ 17,888,000
Compañía B + Constructora	562	836	1	\$ 13,376,000

El proyecto cumple con el desarrollo sustentable en lo social, ambiental, tecnológico y normativo por lo que a continuación describiremos los beneficios del proyecto:

- Aplicación de técnicas complejas de radioterapia que actualmente no se practican, que permiten mediante el uso de altas energías, fraccionamientos especiales (hiper-fraccionamiento, fraccionamiento acelerado, entre otras), arreglo de campos.
- Aumentar el control local de los tumores y mejorar la tasa de curación en cáncer.
- Disminuir tasa de complicaciones tardías.
- Entregar una alta dosis al tumor con mínimo daño al tejido sano que lo rodea.
- Mayor precisión y menor toxicidad.
- Se tendrá sistema colimador multi-hojas y cortador de moldes para proteger tejidos sanos, así como sistemas de fijación para asegurar la reproducibilidad durante el tiempo de tratamiento.
- Se tendrá un sistema de planeación computarizado para realizar dosimetría de pacientes lo que permite tener un mejor control sobre la dosis que se libera al tumor y órganos vecinos.
- Por ser un equipo generador de radiación artificial se calibra para tener una tasa de dosis constante lo que nos permite tratar todo el tiempo la misma cantidad de pacientes o más.
- No se tiene el problema de los cambios de fuente radiactiva cada 12 años como en el cobalto 60 por lo cual no existe la probabilidad de poder contaminar el medio ambiente.

Por el tipo de proyecto y los impactos que tendría en la sociedad se recomienda hacer la inversión justificado por los beneficios sociales a pesar de no ser rentable económicamente.

## 3. Generación de la propuesta.

### A) Licitaciones recomendadas

La licitación es someter a concurso público las adquisiciones del Gobierno Federal con el propósito de obtener la mejor oferta en calidad y precio de los proveedores. Para llevar a cabo lo anterior se recomienda económicamente realizarlo de la siguiente manera:

- Primero debe licitarse el acelerador lineal de alta energía, equipos y accesorios.
- En segundo, una vez que se tengan todas las características electrotécnicas del acelerador lineal comprado, se debe llevar a cabo la licitación de la obra civil.

Actualmente, de acuerdo a las normas oficiales mexicanas NOM-002-SSA2-1993 y NOM-032-NUCL-1997 en el mes de febrero del 2011 el equipo de cobalto 60 actualmente utilizado quedará fuera de operación. Se recomienda que la programación del presupuesto se realice con 3 años de anticipación, en el segundo año sea ejercido el presupuesto ya que desde la adjudicación del proyecto al proveedor hasta la puesta en marcha del servicio se contempla un periodo de 1.5 a 2 años, de no planearse así el proyecto posiblemente se tenga que subrogar el servicio de teleterapia por un periodo indefinido.

### B) Características técnicas de la licitación.

En primer lugar para llevar a cabo la remodelación integral en el servicio de radioterapia del departamento de oncología en el hospital se recomienda que se licite un acelerador lineal cuyo haz de radiación tenga una energía en fotones de 6-25 MV y en electrones 4-22 MeV y tasa de dosis  $\geq 300$  UM/min, colimadores con movimientos simétricos y asimétricos ajustados al isocentro en el eje X y en el eje Y con campos cuadrados hasta 40 x 40 cm, colimador multihojas  $\geq 120$  hojas, así como los equipos y accesorios. Se debe incluir la capacitación del personal y una garantía de 3 a 5 años del acelerador y equipos que forman parte de la licitación a partir de la puesta en marcha de operación de la instalación en aplicaciones médicas, por lo cual las recomendaciones anteriores se deben tomar como un sólo paquete para la licitación de equipamiento.

En segundo lugar para la licitación de la obra civil mínimo debe contar con la sala de espera, recepción de pacientes, consultorios, vestidores, cuarto de aseo, sanitarios, cuarto de teleterapia cuarto del simulador virtual, física médica, fabricación de moldes, sala de juntas. El cuarto de teleterapia debe construirse de acuerdo a memoria analítica diseñada en base al acelerador lineal comprado y el material con el que se construya concreto y/o plomo debe cumplir con ciertos espesores y densidades. Antes de iniciar la obra civil se debe tener licencia de construcción avalada por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguarda (CNSNS) y el permiso municipal.

### III. CONCLUSIONES

El sector salud en la actualidad constantemente se está modernizando en las instalaciones adquiriendo tecnología de última generación, lo que permite automatizar los procesos y hace más eficientes los diferentes servicios que se ofrecen. En este trabajo se aplicó una metodología que permite llevar a cabo una selección adecuada de tecnologías y una evaluación correcta de proyectos de inversión. Los pasos que la integran son fáciles de reproducir de tal manera que pueda emplearse en proyectos futuros.

La metodología aplicada fue una mezcla de diferentes metodologías. Métodos como la casa de calidad utilizada en ingeniería para la selección e innovación de tecnologías y lo tradicional aplicado en la evaluación de proyectos de inversión, permitieron llevarnos al resultado de cómo llevar el proceso de licitación para tener una buena planeación del proyecto de radioterapia y que la transición entre la tecnología utilizada actualmente y la recomendada para sustituirla no afecte el servicio de radioterapia.

La tecnología propuesta para este proyecto cumple con las necesidades actuales y futuras de los oncólogos radioterapeutas y del servicio de radioterapia ya que la máquina de megavoltaje propuesta puede actualizarse conforme avanza la ciencia y tecnología en los tiempos presentes.

### REFERENCIAS

- [1] NOM-002-SSA2-1993 "Para la organización, funcionamiento e ingeniería sanitaria del servicio de radioterapia", Norma Oficial Mexicana, México.
- [2] ECRI (2004) "Linear Accelerators; Radiotherapy Units, Cobalt", USA.
- [3] IAEA (2005) "Design and implementation of a radiotherapy programme: clinical, medical physics, radiation protection and safety aspects". International Atomic Energy Agency (IAEA-TECDOC-1040), Viena.
- [4] Castellanos Esperanza, (2006), "New technologies: needs and challenges in radiotherapy in Latin America", Revista panamericana de la salud, vol. 20 No. 2, Colombia.
- [5] Levin Vic, (2001) "Mejor Atención del Cáncer", Boletín, OIEA, Viena.
- [6] Amaldi Ugo (1996) "Accelerators for Medical Applications", switzerland and TERA foundation, Italia.
- [7] Bentel C. Gunilla, (1996) . "Radiation Therapy Planning", 2da. edición, McGrawHill, USA, ISBN 0-07-005115-1.
- [8] OIEA, (2000). "Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia: protocolo de control de calidad. Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena. [http://www-iaea.org/tcweb/tcprogramme/recipients/latinamerica/arcaldocs/ARC\\_ALXXX\\_TechDoc\\_radioterapia.pdf](http://www-iaea.org/tcweb/tcprogramme/recipients/latinamerica/arcaldocs/ARC_ALXXX_TechDoc_radioterapia.pdf)
- [9] FAIZ M. KHAN, (1994) "The Physics Radiation Therapy", 2da. edición, Willians and willkins, USA.
- [10] NOM-032-NUCL-1997, "Especificaciones técnicas para la operación de unidades para teleterapia que utilizan material radiactivo", Norma Oficial Mexicana, México.



**Marco A. Bracamontes Morales.** Nacido el 20 de agosto de 1978 en Cd. Obregón Sonora México. Egresado del Instituto Tecnológico de Sonora Como Ingeniero en Electrónica en el 2001. Maestro en Ingeniería en Administración de la Tecnología Eléctrica por el Instituto Tecnológico de Sonora en el 2007.

El Desde Enero de 2002 hasta la fecha desempeña el cargo de Físico Médico y encargado de seguridad radiológica en el Departamento de Oncología del Hospital General Regional No.1 del IMSS, desde 2004 a la fecha presta los servicios como profesor auxiliar del ITSON. (e-mail [marco.bracamontes@imss.gob.mx](mailto:marco.bracamontes@imss.gob.mx) ).



**Juan José Padilla Ybarra.** Egreso del Instituto Tecnológico de Sonora, como Ingeniero en electrónica en 1991; En 1995 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Bioelectrónica en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN en Mexico D.F; En 1999 obtuvo el grado de Doctor del INPL con especialidad en Automatización y Procesamiento Digital de Señales en Institut National Polytechnique de Lorraine, Francia.

El se ha desempeñado como profesor investigador de tiempo completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica desde 1993 hasta la fecha (e-mail [jipadilla@itson.mx](mailto:jipadilla@itson.mx) ).