



# UNIVERSIDAD ESPECIALIZADA DE LAS AMÉRICAS

Decanato de Postgrado

Trabajo de Grado para obtener el grado de Maestría en

Protección Radiológica

TESIS

Sistema Digital de Seguimiento y Monitoreo del Transporte de  
Material Radiactivo (SDSM)

Presentado por:

Herrera Aguirre, Luis Alberto 8-739-1641

Velázquez Bedoya, José Ángel 8-851-0241

Asesor:

Ing. Nadja Benson

Panamá, 2020

## DEDICATORIA

**A Dios**, por darnos la vida, salud y sabiduría a la largo del estudio de la Maestría.

**A la Familia**, sin ella no podríamos haber logrado la meta, el entusiasmo que nos brindaron fue valioso para seguir adelante y no desmayar.

**A los profesores**, por el tiempo y esfuerzo en compartir sus conocimientos.

Ing. Luis Alberto Herrera Aguirre  
Ing. José Ángel Velázquez Bedolla

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios Todopoderoso, por darnos fortaleza para poder terminar esta Maestría.

A nuestras familias, por el tiempo que nos brindaron y no pudimos estar con ellos por los estudios.

A los profesores, por dedicar su tiempo en enseñarnos.

A los compañeros, el compartir con ustedes fue enriquecedor.

A la NCR de Estados Unidos, por brindarnos esta oportunidad de ampliar nuestro conocimiento y a UDELAS, por prestar sus instalaciones pensando en el futuro del país.

Ing. Luis Alberto Herrera Aguirre  
Ing. José Ángel Velázquez Bedolla

## **RESUMEN**

### **Sistema Digital de Seguimiento y Monitoreo de Transporte de Material Radiactivo**

Diseñamos un sistema digital de seguimiento y monitoreo de transporte de material radiactivo, definiendo el campo de aplicación en el país, identificando los indicadores que más dificultan el proceso de la AR.

La propuesta funcional del sistema digital, optimizará el seguimiento y monitoreo del TMR, se plantearán las fases para manejar la implementación y el beneficio que conllevaría para la AR.

Este proyecto se considera factible debido a que, por su propia naturaleza, el TMR conlleva el riesgo de accidentes y la posibilidad de que se produzca una exposición radiológica que pueda afectar la seguridad de las personas, los bienes y el medio ambiente.

La AR, entidad en la cual se centra nuestra investigación, recibe una demanda grande de solicitudes, debido a las funciones que debe realizar; no se limita solo al TMR, también es la encargada a nivel nacional de todo lo referente a la protección y seguridad radiológica. Adicionalmente, debe mantener herramientas tecnológicas. Esta propuesta en la cual se basa nuestra investigación ayudaría a salvaguardar la seguridad en el transporte, minimizar el robo, accidentes y el sabotaje que pudiera darse durante el TMR.

Con la implementación de un sistema digital de monitoreo y seguimiento de transporte de material radiactivo, la AR tendrá un mejor control de los diferentes tipos de TMR, su monitoreo y vigilancia.

**Palabras claves:** Vigilancia, monitoreo, material radiactivo, sistema digital, protección radiológica, seguridad física.

## **ABSTRACT**

### Digital System for Tracking and Monitoring of Transport of Radioactive Material

Design of a digital system for monitoring and monitoring the transport of radioactive material, defining the field of application in the country, identifying the indicators that make the Regulatory Authority process more difficult.

The functional proposal of the digital system, will optimize the monitoring of the transport of radioactive material, will consider the phases to be managed for the implementation and the benefit that would lead to the regulatory authority.

This project is considered feasible because, by its very nature, the transport of radioactive materials carries the risk of accidents and the possibility of a radiological exposure that may affect the safety of people, property and the environment ambient.

The regulatory authority, an entity on which our research is focused, receives a large demand for applications, due to the functions it must perform, it is not limited only to the transport of radioactive material, it is also in charge of everything related to Radiation protection and safety. Additionally, it must maintain technological tools, this proposal on which our research is based, would help to safeguard transport safety, minimize theft, accidents and sabotage that could occur during the transport of radioactive material.

With the implementation of a digital system for monitoring and tracking the transport of radioactive material, the Regulatory Authority will have a better control of the different transport of Radioactive Material, its monitoring and surveillance.

**Keywords:** Surveillance, Monitoring, Radioactive Material, digital system, radiation protection, physical security.

## CONTENIDO GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	13
1.1 Planteamiento del Problema.....	13
1.2 Problema de Investigación.....	13
1.3 Justificación .....	14
1.4 Objetivos .....	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos .....	15
1.5 Tipo de Investigación .....	15
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	17
2.1 Transporte de material radiactivo.....	17
2.1.1 Tipo de transporte .....	17
2.1.2 Aplicación .....	18
2.2 Autoridad Reguladora .....	18
2.3 Radiactividad.....	18
2.4 Material Radiactivo .....	19
2.5 Radioisótopo.....	19
2.6 Tipos de Material Radiactivo.....	20
2.6.1 Baja Actividad Específica.....	20
2.6.2 Objetos Contaminados Superficialmente (OCS).....	20
2.6.3 Forma Especial.....	20
2.6.4. Fisionables .....	20
2.6.5. Baja dispersión .....	21
2.7 Embalaje .....	21
2.8 Bultos.....	21
2.8.1 Exceptuados .....	21
2.8.2 Industrial tipo 1 .....	21
2.8.3 Industrial tipo 2 .....	21
2.8.4 Industrial tipo 3 .....	22
2.8.5 Tipo A.....	22
2.8.6 Tipo B.....	22

2.8.6.1 Tipo B (U) .....	22
2.8.6.2 Bultos tipo B (M) .....	22
2.8.7 Tipo C .....	23
2.9 Dosimetría.....	23
2.10 Magnitudes y Unidades .....	23
2.10.1 Actividad .....	23
2.10.2 Exposición .....	23
2.10.3 Dosis Absorbida .....	23
2.10.4 Dosis Equivalente .....	24
2.10.5 Dosis Efectiva .....	24
2.11 Seguridad Física.....	24
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
4.1 Login del SMTMR.....	33
4.2 Pantalla Principal .....	33
4.3 Módulo Administrador .....	34
4.4 Módulo Personal de Transporte .....	35
4.5 Módulo Empresa de Transporte.....	37
4.6 Módulo Fuente Radiactiva.....	39
4.7 Módulo Transporte .....	39
4.8 Módulo de Seguimiento .....	40
4.9 Reportes.....	42
4.10 Tasa de Dosis .....	42
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>44</b>
<b>RECOMENDACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO No. 1 .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO No. 2 .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO No. 3 .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXO No. 4 .....</b>	<b>57</b>

<b>ANEXO No. 5</b> .....	60
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	62
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	63

## INTRODUCCIÓN

Los materiales radiactivos se transportan por vía aérea, terrestre, acuática, tal como indican los reglamentos internacionales y nacionales en rigor. Aunque estos reúnen la máxima seguridad que se puede considerar, siempre hay un riesgo que queden expuestos a las radiaciones el medio ambiente, y las personas relacionadas con esta actividad.

El establecimiento de una cultura de seguridad y protección radiológica, es uno de los principios para salvaguardar la seguridad en el transporte de material radiactivo. Es decir, que se deben utilizar los métodos de seguridad física disponibles, incluyendo la tecnología a la mano para minimizar el robo, accidentes y el sabotaje de los materiales radiactivos durante su transporte.

El presente trabajo de tesis tiene como principal objetivo proponer un sistema digital para seguimiento y monitoreo del TMR; dicho proyecto reemplazaría el sistema manual que actualmente se ejecuta en la autoridad reguladora para agilizar y facilitar el proceso de visualización y monitoreo de TMR.

# CAPÍTULO I

## **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

A nivel global, se transportan por día miles de remesas de materiales radiactivos. Forman una gran variedad, desde los radiofármacos y compuestos marcados utilizados en medicina nuclear para diagnóstico hasta los desechos y el combustible agotado de muy alta actividad. (G.E. Swindell, *El transporte de los materiales radiactivos*. OIEA. web: <https://www.iaea.org>)

Con la construcción de nuevos hospitales, se prevé un incremento en el TMR. Adicionalmente, las obras de infraestructura en la construcción y en la industria en el país se proliferan, creciendo la cantidad de empresas que le dan uso a equipos con materiales radiactivos y están en constante movimiento. El transporte en Panamá está enfocado al campo médico, industrial e investigación.

Con el aumento de uso de sustancias radiactivas, ha aumentado la frecuencia y el volumen de las expediciones y el transporte de estas; es fundamental velar por la seguridad en todas las fases de transporte.

Gran cantidad de estos productos disponibles dependen de los transportes tecnológica y físicamente seguros y fiables y su debido seguimiento (monitoreo) desde el fabricante (nacional e internacional) hasta el usuario final.

### **1.2 Problema de Investigación**

Con relación al punto anterior, es importante conocer el seguimiento actual en nuestro país del TMR desde el fabricante hasta el usuario final; las rutas de transporte; qué impacto radiológico se genera en el medio ambiente.

Actualmente, la AR, maneja esta información de forma manual (Correspondencia) y vía correo electrónico. Toda compañía que se dedique al TMR debe llenar el formulario TMR-100, adicional del IMR-100 y EXIM si va a importar o exportar

respectivamente y enviarlo por los medios de comunicación antes descritos.  
*Anexo 1, 2.*

Dentro del proceso que se maneja actualmente del TMR, la AR no tiene manera de ver el recorrido del transporte enviado en el formulario(s) por las empresas que transportan Material Radiactivo. Esta información se lee del formulario, se verifica que la empresa cuente con todos los permisos y requerimientos y que haya llenado el o los formularios correctamente; se registra y en casos especiales se autoriza la exportación o importación.

Cabe resaltar, que esta información se debe enviar 24 horas antes a la Autoridad Reguladora. El proceso puede demorar más de 24 horas en la respuesta y confirmación de recibido.

### 1.3 Justificación

Por su propia naturaleza, el TMR conlleva el riesgo de accidentes y la posibilidad de que se produzca una exposición radiológica que pueda afectar a la seguridad de las personas, los bienes y el medio ambiente. (OIEA, *Transporte de materiales radiactivos*. Web: <https://www.iaea.org/es>)

Si bien la responsabilidad principal de la seguridad y de mantener un programa de protección radiológica para el TMR, recae en las organizaciones encargadas del mismo e instalaciones (fabricante y usuario final), la autoridad reguladora de Panamá, debe dar la reglamentación, autorización, licencia, seguimiento e inspección al TMR en todas sus fases.

En la actualidad, la Autoridad Reguladora recibe una demanda grande de solicitudes, ya que no se limita solo al transporte de material radiactivo, también es la encargada a nivel nacional de todo lo referente a la protección radiológica.  
*Anexo 3 (Funciones de la AR).*

Es importante que la AR, mantenga herramientas tecnológicas; entre éstas proponemos un sistema digital para el seguimiento y monitoreo de material radiactivo, ésta sería una opción a analizar para salvaguardar la seguridad en el transporte, minimizar el robo, accidentes y el sabotaje que pudieran darse durante su transporte.

Este sistema digital de seguimiento y monitoreo de TMR (SDSM), iría acorde a la misión y visión que tiene la autoridad nacional para la innovación gubernamental del gobierno de la República de Panamá. Anexo 5.

## 1.4 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Proponer un sistema digital para seguimiento y monitoreo del TMR.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Definir el campo de aplicación del sistema digital en el país.
- b. Identificar los indicadores e información que se incluirán en el sistema digital.
- c. Identificar el proceso para la comunicación y uso del sistema digital.
- d. Elaborar una propuesta funcional del sistema digital, para el seguimiento y monitoreo del TMR.

## 1.5 Tipo de Investigación

La investigación es de tipo DESCRIPTIVA, realizada por una investigación de campo, donde se propone una propuesta final para solucionar un problema de tipo práctico. No necesariamente se debe ejecutar la propuesta, pero comprende el diseño de la propuesta y lineamientos.

# **CAPÍTULO II**

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Transporte de material radiactivo

Las aplicaciones del material radiactivo se dan en el campo médico, industrial y nuclear, el transporte se da desde los fabricantes a la instalación o usuario final. El envío de materiales nucleares y radiactivos se mantiene en el 2% de los traslados globales de mercancías peligrosas. La mayor parte de éstos materiales radiactivos se usan con fines de diagnóstico para la medicina y en menos escala en la parte industriales o con fines de investigación. Hay envíos de fuentes radiactivas que contienen una actividad alta, utilizadas en la terapia contra el cáncer. (CRPA. *What is radioactive material?*, Canadian Radiation Protection Association Sitio web: [https://crpa-acrp.org/home/?wp\\_super\\_faq=what-is-radioactive-material](https://crpa-acrp.org/home/?wp_super_faq=what-is-radioactive-material)).

En Panamá el transporte de material radiactivo está regido por la Resolución N°7 de 8 de julio de 1996 “Emite las normas 120 para el transporte seguro de material radiactivos en acatamiento y uso de las facultades que le confiere el Decreto Ejecutivo N°1194 de 3 de diciembre de 1992, de normas para el transporte seguro de materiales radiactivos”

#### 2.1.1 Tipo de transporte

El TMR se puede llevar a cabo mediante medio terrestre, acuático y aéreo.

Los transportes a nivel global utilizan en primera instancia la vía aérea, por el material radiactivo para aplicaciones médicas, este sufre un decaimiento muy rápido. Una vez en el país para llegar a los centros hospitalarios, estos materiales, son transportados por carretera. El transporte marítimo este asociado al ciclo de combustible nuclear. (CRPA. *What is radioactive material?*, Canadian Radiation Protection Association Sitio web: [https://crpa-acrp.org/home/?wp\\_super\\_faq=what-is-radioactive-material](https://crpa-acrp.org/home/?wp_super_faq=what-is-radioactive-material)).

### 2.1.2 Aplicación

El transporte de material radiactivo tiene varias aplicaciones dentro de las cuales se destacan las siguientes:

- Producción de radioisótopos
- Fabricación de fuentes selladas
- Radiografía industrial
- Combustibles para reactores
- Minería
- Medicina
- Instalaciones fraccionadoras

### 2.2 Autoridad Reguladora

La AR es la entidad, secretaria o departamento reconocida por el país para los fines regulatorios asociados a la protección y seguridad radiológica durante el transporte de material radiactivo o cualquier actividad que involucre radiaciones ionizantes. Las funciones de la AR de Panamá se pueden visualizar en el Anexo 4.

En Panamá, la protección radiológica se fundamenta bajo el Decreto Ejecutivo 770 del 16 de agosto de 2010.

### 2.3 Radiactividad

La radiactividad, es el proceso por el cual un núcleo atómico inestable pierde energía mediante la emisión de radiación, como una partícula alfa, partícula beta con neutrino o solo un neutrino en el caso de la captura electrónica, o un rayo gamma o electrón en el caso de conversión interna.

## 2.4 Material Radiactivo

En el TMR, se consideran materiales radiactivos aquellos cuya actividad sobrepasa al valor de exención fijados para cada radionúclido, actividad específica o remesa. El riesgo de accidente de los materiales radiactivos a transportar obedece a:

- Los radionúclidos.
- La actividad
- La cantidad
- El estado físico

En cuanto más peligroso sea el material por transportar, más estrictos deben ser los requisitos de seguridad y normativos a seguir, así como los controles de la calidad. (*Consejo de Seguridad Nuclear. (2013). Curso de Supervisores de Instalaciones Radiactivas (IR) Modulo Básico. España: CSN.*)

## 2.5 Radioisótopo

Los radioisótopos es la estructura variable del elemento que emite radiación para transformarse en su estructura permanente. Esta cualidad hace que los radioisótopos sean beneficiosos en la medicina, la industria e investigación. (*Organismo Internacional de Energía Atómica. (2019). Radioisótopos. OIEA. Sitio web: <https://www.iaea.org/es/temas/radioisotopos>.*)

De la tabla periódica, 94 elementos son naturales e isótopos estables alrededor de 254. De los isótopos 84 se observan en la naturaleza. La radiación que emiten es energética y puede ser alfa, beta y gamma.

La cualidad de cada radionucleido es importante para su desenvolvimiento y utilización en la medicina, industria e investigación. La productividad de radionucleidos con gran calidad requiere contar profesionales, estructura e instalaciones especializadas, para garantizar el control de calidad. (*Organismo Internacional de Energía Atómica. (2019). Radioisótopos. OIEA. Sitio web: <https://www.iaea.org/es/temas/radioisotopos>*).

## 2.6 Tipos de Material Radiactivo

Existen 5 tipos de materiales radiactivos:

### 2.6.1 Baja Actividad Específica

Tienen una actividad específica limitada, o se le da un parámetro de actividad únicas.

### 2.6.2 Objetos Contaminados Superficialmente (OCS)

Son sólidos no radiactivos, con restos de materiales radiactivos distribuidos en la superficie.

### 2.6.3 Forma Especial

Sólidos no radiactivos por sí mismos, pero que tienen materiales radiactivos repartidos por la superficie.

### 2.6.4. Fisionables

Entran en este grupo el uranio 233, uranio 235, plutonio 239, plutonio 241 o cualquier combinación de estos, no se incluye el uranio natural e empobrecido.

### 2.6.5. Baja dispersión

En este grupo están los radiactivos sólidos o acondicionados en cápsula sellada con poca dispersión y que no presentación en polvo.

## 2.7 Embalaje

Elementos utilizados para guardar el material radiactivo. Está formado por uno o más recipientes, materiales de blindaje, absorbentes, estructuras mecánicas, aislantes térmicos, entre otros.

## 2.8 Bultos

Es el embalaje con el contenido radiactivo. En el TMR se consideran los siguientes tipos:

### 2.8.1 Exceptuados

Contiene materiales radiactivos exceptuados.

### 2.8.2 Industrial tipo 1

Es el embalaje o contenedor que incluye materiales BAE o OCS. Si el contenido radiactivo es líquido el transporte debe ser manejado como uso exclusivo. La dimensión es mayor de 10 cm.

### 2.8.3 Industrial tipo 2

Es el embalaje o contenedor que incluye materiales BAE (tipo II) o OCS (tipo II). La dimensión es mayor de 10 cm y tienen que soportar fenómenos naturales y accidentes sin pérdida de material radiactivo y sin que aumente la radiación de la superficie.

#### 2.8.4 Industrial tipo 3

Es el embalaje o contenedor que incluye materiales BAE (tipo III) u otros que no entran en los bultos tipo 1 y 2. La dimensión es mayor de 10 cm y tienen que soportar fenómenos naturales y accidentes sin pérdida de material radiactivo y sin que aumente la radiación de la superficie..

#### 2.8.5 Tipo A

Están fabricados para soportar transporte de índole normal, pueden resultar dañados en caso de accidente. Tiene un máximo de actividad permitido por bulto.

#### 2.8.6 Tipo B

Es el embalaje o contenedor que incluye materiales de actividad superior a los valores máximos en bultos tipo A, En los bultos tipo B no hay límite en si sobre la actividad que puede contener. Los Bultos se fabrican de acuerdo al material a transportar y su actividad. Entre estos están:

##### 2.8.6.1 Tipo B (U)

Debe ser aprobado su diseño, únicamente, por la AR del país del que es originario. El certificado de aprobación de un bulto Tipo B (U) es aceptado por los países, está plasmado en el acuerdo internacional en el que se regula el TMR.

##### 2.8.6.2 Bultos tipo B (M)

Debe ser aprobada su utilización por la AR de los países implicados en el TMR. Es decir, multilateralmente por los país (originario, expedidor, receptor y todos los incluidos en la ruta a seguir).

### 2.8.7 Tipo C

Es un tipo de bulto destinado a contener materiales con actividades altas para su transporte.

## 2.9 Dosimetría

Las mediciones de dosis también son necesarias para monitorizar a las personas que pueden estar expuestas a la radiación en su trabajo o a las personas del público. (*Echanique, R.E. (2017). Protección Radiológica Programada. Ecuador: Edifarm*)

## 2.10 Magnitudes y Unidades

### 2.10.1 Actividad

Se mide en bequerels, que equivalen a una desintegración nuclear por segundo. Es la unidad para medir cuanto radionúclido hay. (*Echanique, R.E. (2017). Protección Radiológica Programada. Ecuador: Edifarm*)

### 2.10.2 Exposición

Es la magnitud que evalúa la intensidad de un campo de radiación.

### 2.10.3 Dosis Absorbida

Es la magnitud que indica la cantidad de energía depositada o que es irradiada al objeto o persona.

#### 2.10.4 Dosis Equivalente

La magnitud es derivada de la dosis absorbida promedio en un tejido o órgano específico.

#### 2.10.5 Dosis Efectiva

Es la magnitud que se le ha adjudicado un factor de peso a cada órgano.

Actualmente los límites de dosis se muestran en la siguiente Tabla. Estos son internacionales, pero también rigen en Panamá.

**Cuadro N°1. Límites de Dosis**

LÍMITES DE DOSIS			
Magnitud		Exposición ocupacional (mS/año)	Exposición del público (mS/año)
Dosis Efectiva		20 (el promedio en 5 años) No debe exceder los 50 mSv en un año	1 (el promedio en 5 años)
Dosis equivalente	Ojos	150	15
	Piel	500	50
	Extremidades	500	50

#### 2.11 Seguridad Física

El establecimiento de una cultura de seguridad física y protección radiológica es uno de los pilares para salvaguardar la seguridad en el transporte de material radiactivo. Es decir, que se deben utilizar los métodos de seguridad física disponible para minimizar el robo, accidentes y el sabotaje de los materiales radiactivos durante su transporte.

Al decidir las normas de seguridad física que se deben aplicar al TMR, se debe tener en cuenta puntos específicos para que no se dé el acceso de personas no autorizadas, robo u otras actividades de índole que atente contra la integridad del

TMR. (OIEA. (2013). *La Seguridad Física en el Transporte de Materiales Radiactivos*. Viena: OIEA).

El TMR es por lo general un provisional entre la producción, utilización, almacenamiento y disposición final. La eficiencia a nivel internacional de los parámetros de seguridad puede alcanzarse mejorando la seguridad actual con parámetros adicionales de seguridad física y aplicando medidas que puedan tomarse en cada país dependiendo de la AR interna.

## **CAPÍTULO III**

### **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

En Panamá, como se ha indicado el TMR se realiza todos los días. Se transporta tanto en el campo médico, industrial y de investigación. Para este transporte es necesario cumplir con requisitos exigidos por la AR, que incluyen el o los formularios según amerite el caso (TMR100, IMR100, EXIM), donde se detalla el material radiactivo a transportar, importar o exportar. Anexo 1, 2.

Este formulario(s) con la información solicitada se le debe enviar a la AR, 24 horas antes. Las compañías deben llenarlo manualmente y enviarlo al correo electrónico previsto por la AR.

#### **Fase I**

El actual volumen de solicitudes de transporte de MR, añadido al resto de las funciones que tiene la AR (Anexo 3), conlleva a que tenga dificultad para la visualización, procesamiento, registro y seguimiento del transporte de MR. Esto debido a lo manual que está el proceso. Los procesos manuales, actualmente por su propia naturaleza son tediosos y hacen ralentizar el servicio.

Analizando los procesos que realizan las empresas dedicadas al TMR, en sus diversas etapas: cómo se recolecta, se procesa la información, se llena el o los formularios, el proceso de envío a la AR y el tiempo que demoran en recibir la respuesta de parte de la AR.

Analizando también el proceso por parte de la AR que realiza desde que se recibe electrónicamente o manual el o los formularios, su revisión, validación, procesamiento, registro de la información y el tiempo que se maneja, hasta dar la respuesta de la información recibida a la empresa. Este proceso se maneja manualmente.

La información enviada a la AR es un recurso vital, se requiere mejorar la eficiencia y agilizar el proceso de visualización, seguimiento del transporte de MR a la AR por medio del TMR100. En la primera fase nos centraríamos en el campo

médico, por motivo del realce de éste para tratamientos, detección y diagnóstico de enfermedades para el ser humano.

## **Fase II**

Cuando se requiere transportar MR internamente en Panamá el TMR100, es el formulario utilizado para informar a la AR. Este formulario consta de campos donde se requieren diversos datos sobre el transporte. Anexo 1

Este formulario se debe digitalizar en todo su contexto, incluyendo la información que debe añadir para optimizar el proceso.

En el punto III del formulario “TMR100” las empresas deben incluir la información del transporte en forma escrita, se debe mencionar la fecha de transporte, la vía a utilizar (terrestre, marítima o aérea) y detalles del recorrido (fecha, hora y descripción).

En nuestro análisis, este punto es vital para el seguimiento y monitoreo. Se contempla la modificación para poder visualizar este punto en una salida por pantalla (Mapa digital).

Adicional, se está tomando en consideración, que todo material radiactivo, irradia por más pequeña que sea la actividad. Por eso es importante tomar en cuenta la tasa de dosis recibida por el conductor y su ayudante en el TMR, para seguimiento y monitoreo, ésta actualmente no se está tomando en cuenta. En el anexo 4 se muestra una estimación de dicho cálculo a utilizar.

## **Fase III**

Teniendo en cuenta la fase anterior y aportando la experiencia obtenida en la práctica profesional en diversas empresas de transporte y en la autoridad reguladora, se necesita optimizar y digitalizar la información actual para un mejor manejo, seguimiento y monitoreo del transporte de material radiactivo.

## **Fase IV**

La digitalización y recolección de datos será un trabajo en equipo de la AR y las empresas que prestan el servicio de transporte de MR.

Se debe coordinar y trazar un plan de trabajo dirigido a hacer el cambio lo más rápido posible, para no parar el trabajo del día a día que se maneja actualmente.

La información para alimentar a la base de datos, se debe manejar en un principio por la registrada previamente en los formularios, una vez se ingrese la información, cada empresa podrá verificarla, modificarla o actualizarla, por medio de un interfaz de inicio (log in), específico para ella.

El SDSM, es un sistema digital para llevar a cabo por módulos, la recolección de la información para la base de datos; y en fases la implementación, para crear un periodo propicio para familiarizarse, y poder realizar los cambios o arreglos a los problemas que se puedan constatar, para la eficiencia del mismo.

Los módulos se detallan a continuación:

*Módulo I*, Se ingresarán los datos e información de las compañías con menor y mediana demanda en el campo médico de transporte de MR, y se incluyen las compañías que requieren cambios de fuentes por su tiempo de decaimiento que realizan transporte de 1 a 2 veces por año.

*Módulo II*, Se ingresarán los datos e información de las compañías con un volumen alto de transporte de MR.

En cada módulo, las compañías trabajarán de la mano con la AR para cualquiera información que haya que actualizar.

En las fases se contemplan los procesos a realizar para la puesta en marcha del sistema digital.

*Fase I*, implementación de la base de datos y pruebas con la interfaz de salida impresa o de pantalla, se termina una vez se comprueba que el SDSM está corriendo en óptima funcionalidad con lo deseado y puede procesar óptimamente los datos e información.

*Fase II*, desarrollo y puesta en marcha de los reportes basados en los requerimientos de la AR.

*Fase III*, una vez el sistema digital esté en óptimo funcionamiento, se procederá a incluir a empresas que transportan MR en el campo industrial e investigación.

# **CAPÍTULO IV**

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

La propuesta que se plantea ha sido elaborada por medio de una investigación de campo para dar una solución a la dificultad del proceso práctico de seguimiento y monitoreo del MR actual, que mantiene la AR y proporcionar los elementos que se requieren para mejorar la cultura de seguridad física y protección radiológica, que es uno de los principios para salvaguardar la seguridad en el transporte de MR.

Se han tomado en cuenta puntos críticos donde se enfocará esta propuesta, los cuales se describen a continuación, con cada uno de sus componentes y luego se harán sus respectivos análisis y beneficios al proceso actual.

El SDSM, constará de una interface web con su respectivo log in por empresa y el administrador la AR. Se manejará por medio de módulo a llenar con un ID para cada transporte realizado.

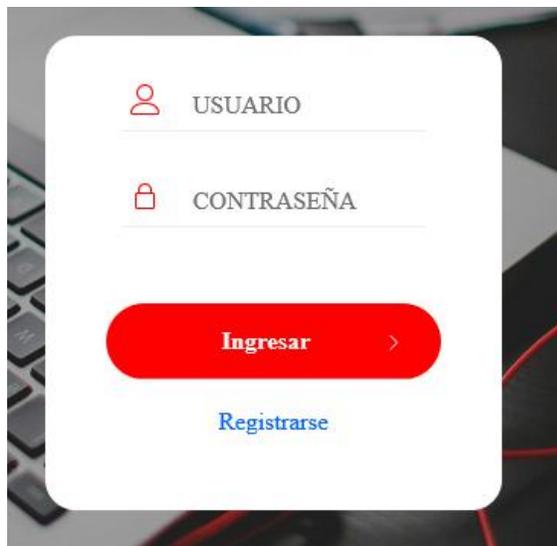
Toda la información suministrada será documentada y grabada en una base de datos, propia de la AR donde se mantendrá confidencial y con seguridad. Esta base de datos le ayudará a la AR a poder realizar reportes y brindar información de una manera óptima y rápida para mejor seguridad, protección, seguimiento y monitoreo del TMR.

Todas las rutas registradas se podrán observar en un mapa digital, donde se apreciará la ruta a tomar, se podrá observar individualmente por empresa o en total de todas las empresas por día. Estas rutas al ser registradas por medio del SDSM, se tendrá la opción no sólo de ver el día a día, sino también buscar fechas anteriores para seguimiento y monitoreo.

#### 4.1 Login del SMTMR

En el primer paso, las empresas que se encargan del TMR, tendrán un usuario y contraseña única. Esto ayudará a mantener la información confidencial de cada una, a la vez que podrán modificar, actualizar o agregar información interna de la empresa sobre el transporte de MR.

Figura 1. Log in



Paralelamente, la AR tendrá también su acceso, pero éste sería como administrador.

#### 4.2 Pantalla Principal

La Pantalla Principal mostrará los puntos que se incluían en el TMR100, de forma gráfica por módulos y accesible cada uno por separado. Adicionalmente, se podrá interactuar dentro de cada módulo con otros. Adicionalmente, se tendrá un menú desplegable a la mano izquierda.

La pantalla difiere con respecto de las empresas. Las empresas no tendrán la opción de administradores; éste módulo es exclusivo para la AR, donde se manejarán los registros y usuarios.

Figura 2. Pantalla Principal AR



#### 4.3 Módulo Administrador

Esta pantalla de uso exclusivo para la autoridad reguladora, tiene la opción de crear un nuevo registro, editar o borrar usuarios. Adicional de ver toda la información de cada empresa.

Figura 3. Módulo de Administrador

The screenshot displays the 'ADMINISTRADOR' module within the 'SISTEMA (SDSM)' interface. The top navigation bar includes the system name, a search icon, a power icon, and a user greeting 'BIENVENIDO LUISHERRERA!'. The sidebar on the left contains the 'salud' logo and a list of menu items: INICIO, ADMINISTRACION, PERSONAL DEL TRANSPORTE, EMPRESA DE TRANSPORTE, FUENTE RADIATIVA, TRANSPORTE DEL MATERIAL RADIATIVO, and SEGUIMIENTO MAPS. The main content area features a 'LISTADO' table with the following data:

Id	Usuario	E-mail	Contraseña	Editar	Eliminar
1	LuisHerrera	saldradiologica@minsa.gob.pa	admin		
7	henry	henrywj2@gmail.com	mariajose2		

Below the table, there is a contact section 'ESCRIBENOS AL:' with the email 'saldradiologica@minsa.gob.pa' and a social media section 'SIGUENOS EN:' with icons for 'Redes Sociales', Facebook, and Twitter. The footer contains the copyright notice '© 2019 SISTEMA DIGITAL DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO (SDSM)'.

#### 4.4 Módulo Personal de Transporte

En este módulo, para la empresa estará la lista de los transportistas y ayudantes que la misma utiliza para el transporte y que están autorizados por la AR. La empresa podrá borrar o editar la información del personal utilizado.

Adicionalmente, podrá agregar nuevo personal que necesite en la pestaña Nuevo Personal de Transporte y la AR recibirá un mensaje con la actualización.

Por parte de la AR, tendrá acceso a la lista completa de todo el personal que presta servicio de transporte de MR por empresa. Esta información ayudará a mantener un registro actualizado en la AR para esta actividad.

Figura 4. Módulo de Personal de Transporte

SISTEMA (SDSM) BIENVENIDO!

PERSONAL DE TRANSPORTE

Inicio [Nuevo Personal de Transporte](#)

TRANSPORTE SEGURO DE MATERIAL RADIATIVO

INICIO

ADMINISTRACION

PERSONAL DEL TRANSPORTE

EMPRESA DE TRANSPORTE

FUENTE RADIATIVA

TRANSPORTE DEL MATERIAL RADIATIVO

SEGUIMIENTO MAPS

LISTADO

Id	Nombre	Celula	Licencia	Ocupacion	Iditar	Eliminar
1	Luis Herrera	8-739-1641	45687589	Chofer		
2	Jose Velazquez	8-851-0241	12456	Chofer		

ESCRIBENOS AL: [saludradiologica@minsa.gob.pa](mailto:saludradiologica@minsa.gob.pa)

SIGUENOS EN: [Redes Sociales](#)

© 2019 SISTEMA DIGITAL DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO (SDSM)

Figura 5. Ventana para Añadir Nuevo Personal de Transporte

SISTEMA (SDSM)

PERSONAL DE TRANSPORTE

Inicio / Lista de Personal de Transporte / Nuevo Personal de Transporte

Agregar un nuevo Personal de Transporte

✓ Nombre del Usuario  
Emanuel

✓ Nombre del Cedula  
Nro 23879202

✓ Nro de Licencia  
78907090

✓ Su Ocupacion  
Chofer de carga pesada

[Limpiar](#) [Guardar](#)

## 4.5 Módulo Empresa de Transporte

En este módulo, para la empresa aparecerá la información de la misma con su número de licencia y fecha de expiración.

En la pestaña de nuevo transporte, la empresa podrá agregar un nuevo envío; al momento de hacer clic, se desplegará una ventana donde se debe agregar la información del envío.

Para la AR, en este módulo se podrán apreciar todas las compañías registradas con sus respectivas licencias para cotejar y monitorear la fecha de expiración si está próxima a vencer. Adicionalmente, se podrá ver la ubicación de la misma.

Figura 6. Módulo de Empresa de Transporte

SISTEMA (SDSM) BIENVENIDO!

### TRANSPORTE SEGURO DE MATERIAL RADIATIVO

Inicio Nuevo Transporte

#### LISTADO

Id	Nombre	Licencia	Fecha	Iditar	Rastreo Mapa	Eliminar
1	Dare S.A.	DR56-896	14/12/2020			
2	Promed	BRO4565-9878	07/01/2020			
3	Promed	8965998	07/01/2020			
4	Dare	45687589	07/01/2020			

ESCRIBENOS AL: saludradiologica@minsa.gob.pa

SIGUENOS EN:

Figura 7. Ventana de Añadir Nuevo Transporte

**SISTEMA (SCSM)**

**salud**  
Ministerio de Salud  
Panamá

TRANSPORTE SIGURO DE MATERIAL RADIACTIVO

Inicio / Lista Transporte / Nuevo Transporte

**PERSONAL DE TRANSPORTE**

**I- EMPRESA DE TRANSPORTE**

✓ Nombre de la Empresa:  
Calle: \_\_\_\_\_

✓ Código de la Licencia:  
Escribir: \_\_\_\_\_

✓ Fecha de expiración (dd/mm/aa):  
Seleccionar: \_\_\_\_\_

**II- FUENTE RADIACTIVA**

Idioma: \_\_\_\_\_

Número de Serie: \_\_\_\_\_

Actividad: \_\_\_\_\_

Fecha (dd/mm/aa): \_\_\_\_\_

Descripción de Material Radiactivo: \_\_\_\_\_

Forma Física: \_\_\_\_\_

**III- TRANSPORTE DEL MATERIAL RADIACTIVO**

Fecha de transporte: \_\_\_\_\_

Figura 7.1 Continuación Ventana de Añadir Nuevo Transporte

**III- TRANSPORTE DEL MATERIAL RADIACTIVO**

Fecha de transporte: \_\_\_\_\_

Sociedad Emisora:  
Via emisora: \_\_\_\_\_

Director de Salida: \_\_\_\_\_

Director de Entrega: \_\_\_\_\_

✓ Dirección Muestreo: \_\_\_\_\_

Detalle de Recorrido (Inmovilamiento temporal, etc):  
\_\_\_\_\_

**V. PERSONAL DE TRANSPORTE**

Nombre: \_\_\_\_\_

Cédula: \_\_\_\_\_

Licencia: \_\_\_\_\_

Ocupación: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Hora: \_\_\_\_\_

Descripción: \_\_\_\_\_

## 4.6 Módulo Fuente Radiactiva

En este módulo, la empresa podrá observar la lista de fuentes que ha enviado en los transportes diarios o semanalmente.

Figura 8. Módulo Fuente Radiactiva

Id	Isotipo	Serie	Forma	Actividad	Fecha1	Editar	Eliminar
1	salud	423432243243	312424	libre	14/01/2020		
2	Ministerio de salud	423432243243	redondo solido	libre	14/01/2020		
3							
4							
5							

La AR, le da la oportunidad de ver las fuentes enviadas por día, semanalmente, mensuales o anuales y realizar reportes de forma, actividad y cotejar números de series.

## 4.7 Módulo Transporte

En este módulo, se desplegará el listado de la entregas por día y la empresa podrá observar el transporte propio de ella.

Para la AR, este módulo es el más importante, ya q se hace la modificación que en el formulario TRM100 se ponía descriptivo, se podrá ver listada la dirección de salida del MR y la dirección de entrega, fecha, hora entre otros.

Figura 9. Módulo de Transporte

SISTEMA (SDSM) BIENVENIDO!

salud Ministerio de Salud Panamá

TRANSPORTE DEL MATERIAL RADIATIVO

TRANSPORTE SEGURO DE MATERIAL RADIATIVO

INICIO | Nuevo Material Radiactiva

LISTADO

Id	Fecha de transporte:	Sección Via Entrega	Dirección de Salida:	Dirección de Entrega:	Editar	Eliminar
1	07/01/20	Via terrestre	Radiofarmacia Centroamerica S.A.	Hospital Punta Pacifica		
2	07/01/2020	Via terrestre	Radiofarmacia Centroamerica S.A.	Instituto Oncologico		
3						
4	07/01/2020	Via terrestre	Radiofarmacia Centroamerica S.A.	Instituto oncologico		

ESCRIBENOS AL: saludradiologica@minsa.gob.pa

SIGUENOS EN:

#### 4.8 Módulo de Seguimiento

En este módulo, se podrá apreciar nuevamente la lista de transporte, y se podrá ver la ruta a seguir por medio de un mapa digital, integrado. La información se podrá extraer de la base de datos.

Figura 10. Módulo de Seguimiento

**SISTEMA (SDSM)** BIENVENIDO!

**TRANSPORTE SEGURO DE MATERIAL RADIOACTIVO**

Inicio Nuevo Transporte

**LISTADO**

Id	fechatrans	via	Direccion salida	Direccion Entrega	Iditar	Rastreo	Eliminar
1	07/01/20	Via terrestre	Radiofarmacia Centroamerica S.A.	Hospital Punta Pacifica			
2	07/01/2020	Via terrestre	Radiofarmacia Centroamerica S.A.	Instituto Oncologico			
3							
4	07/01/2020	Via terrestre	Radiofarmacia Centroamerica S.A.	instituto oncologico			

ESCRIBENOS AL: SIGUENOS EN:

Figura 11. Mapa de Rastreo

**SISTEMA (SDSM)**

**TRANSPORTE SEGURO DE MATERIAL RADIOACTIVO**

Inicio Nuevo Transporte

**LISTADO**

ESCRIBENOS AL: SIGUENOS EN:

Mapa de Rastreo: Radiofarmacia de Centroamérica, Calle ... a Hospital Punta Pacifica, Blvd Pacifica, P...

Map data ©2020 Terms of Use Report a map error

Limpiar Guardar

En el mapa se podrá apreciar en la dirección final, señalando en el punto, se podrá apreciar información del transporte (fuente, actividad, etc.)

#### 4.9 Reportes

En esta fase, solo la AR podrá tener acceso. La AR podrá mantener registro, tablas e información actualizada del transporte de MR al tener acceso a una base de datos con toda la información proporcionada en el SDSM por las empresas.

#### 4.10 Tasa de Dosis

En este campo, como se mencionó anteriormente, se incluirá a futuro en el módulo de transporte radiactivo, En el anexo 4 se muestra una estimación de dicho cálculo a utilizar. Esta opción será de mucho beneficio para la AR al poder tener de primera mano un registro de la exposición del persona de transporte diario, mensual o anual para monitoreo y que no se excedan los límites establecidos.

## CONCLUSIONES

El TMR, es algo común en nuestro diario vivir. Alrededor del mundo son transportados miles y miles cada día, que pueden ser radiofármacos utilizados en la medicina nuclear; los dispositivos de medición en la industria (densímetros, gammagrafía, etc.) que requieren material radiactivo, entre otras aplicaciones. Estos mantienen una férrea seguridad, pero no los excepta que pueda haber un robo, accidentes o sabotajes.

- En este proyecto factible, se da una solución a un problema práctico, ya que va a optimizar y a mejorar el proceso como se maneja actualmente en la AR el seguimiento y monitoreo del TMR.
- El uso de herramientas tecnológicas refuerza la seguridad y protección radiológica en el TMR.
- El uso del sistema digital garantizará la aplicación de medidas para localizar o mejorar rutas de transporte; a su vez, dar información si se produce algún robo, accidente o sabotaje en el TMR, a la AR y los estamentos de seguridad.

## LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- El acceso a la información relacionado al transporte de material radiactivo es limitado y confidencial.
- La falta de estudios previos de investigación.
- El periodo de tiempo de recolección de la información fue muy corto.
- El factor económico para invertir es alto, por la magnitud del proyecto y su implementación.
- Uso de recursos humanos altamente calificados para el desarrollo; el costo hombre es alto en el mercado.
- Problemas de implementación; pueden aparecer resistencias al cambio de las empresas de transporte de MR, ya que deben sustituir la forma tradicional al que estaban adecuadas.

## RECOMENDACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- Ampliar el proyecto en los procesos de protección radiológica en el transporte de Material Radiactivo.
- A corto plazo, se recomienda agregar la tasa de dosis del transportista en las rutas, por medio de un campo adicional en el módulo de información de transporte. En el anexo 4, se muestra una estimación de dicho cálculo a utilizar.
- A mediano plazo, se recomienda agregar una interfaz móvil por medio de APP, donde el transportista pueda ingresar constancia de entrega a la AR por medio de una captura.
- A mediano plazo, se recomienda además la integración del sistema con la tecnología GPS, para poder monitorear el transporte en tiempo real.
- Para la ejecución de este proyecto, se recomienda un trabajo en equipo eficaz entre las empresas transportistas de MR y la AR.
- Dentro de un proyecto de esta índole, debe haber una mejora continua. Recomendamos a futuro que aquellos estudiantes que tengan interés en el proyecto puedan ofrecer nuevas aportaciones para mejorarlo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Consejo de Seguridad Nuclear. (2013). Curso de Supervisores de Instalaciones Radiactivas (IR) Modulo básico. España: CSN.
- Echanique, R. E. (2017). Protección Radiológica Programada. Ecuador: Edifarm.
- OIEA. (2013). LA SEGURIDAD FÍSICA EN EL TRANSPORTE DE MATERIALES RADIATIVOS. Viena: OIEA.
- IAEA. (2012). Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos.
- IAEA. (s.f.). Guía de Seguridad N° TS-G-1.3, Programa de protección radiológica para el transporte de materiales radiactivos.
- IAEA. (s.f.). Safety Guide N° TS-G-1.4, The Management System for the Safe Transport of Radioactive Material.
- OIEA. (1997). Normas Básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación. Viena.
- Ministerio de Salud. (1992). Resolución N°1194: “Establece el Reglamento de Protección Radiológica”
- Ministerio de Salud. (1995). Resolución No. 27: “Por medio de la cual se adoptan las normas básicas de protección radiológica No. 110”. Panamá.
- Ministerio de Salud. (1996). Resolución N°7: “Normas 120 para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos en Acatamiento y Facultades del Decreto Ejecutivo N°1194”
- Ministerio de Salud. (2010). Decreto Ejecutivo N° 770: “Reglamento de Protección Radiológica”.

# **ANEXOS**

**ANEXO No. 1**  
**Formulario TMR-100**







**ANEXO No. 2**  
**Formulario IMR-100**





# **ANEXO No. 3**

## **Funciones Autoridad Reguladora**

Dirección General de Salud (MINSa)  
**DEPARTAMENTO DE SALUD RADIOLOGICA**  
Funciones de la Autoridad Reguladora

- Elaborar, implementar y ejecutar el Programa Nacional de Protección Radiológica
- Establecer y ejecutar las acciones que promuevan el cumplimiento de las normas de Protección y Seguridad Radiológica
- Implementar y ejecutar el proceso de autorización (registro y licencia) para las practicas (instalaciones radiológicas) que utilizan fuentes de radiación ionizante
- Elaborar, revisar y actualizar las normas, reglamentos y guías pertinentes a la materia de Salud Radiológica y Protección Radiológica
- Elaborar y establecer programas de evaluación (inspecciones, auditorias, programas de aseguramiento y control de calidad) de las condiciones de protección y seguridad radiológica en las practicas que utilizan fuentes de radiaciones ionizantes.
- Desarrollar y establecer los requisitos para la protección de las personas y del medio ambiente contra la exposición a las radiaciones ionizantes y para la seguridad de las fuentes.
- Establecer y mantener un sistema de registro para las fuentes de radiación ionizante, dosis ocupacional, usuarios, incidentes y accidentes radiológicos.
- Planificar acciones para situaciones de accidentes y emergencias radiológicas
- Establecer los requisitos para el transporte de material radiactivo y para la gestión de desechos radiactivos.
- Desarrollar, evaluar y aprobar documentos técnicos relacionados a la materia de Salud Radiológica y/o Protección y Seguridad Radiológica
- Establecer y aprobar criterios para la educación, capacitación, adiestramiento y educación continuada relacionada a la materia de Protección y Seguridad Radiológica.

# **ANEXO No. 4**

## **Calculo de Dosis**





**ANEXO No. 5**  
**Misión y Visión**

**Autoridad Nacional para la Innovación  
Gubernamental**

**Misión**

Promover el uso de las tecnologías de información y comunicación, a través de la implementación de políticas públicas, normas, estrategias, programas y proyectos de innovación gubernamental que incentive y regulen las aplicaciones tecnológicas, a nivel nacional, con los recursos humanos, materiales y financieros asignados a la Autoridad, para contribuir en la modernización, automatización y optimización de los procesos a nivel Estatal.

**Visión**

Convertir al Gobierno en una Institución competitiva de clase mundial, transformando las tecnologías de información y comunicación de manera que sean accesibles a la población, mejoren la eficiencia y simplifiquen los procesos.

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
Cuadro N°1:	Límites de Dosis	24

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
Figura 1:	Log in	33
Figura 2:	Pantalla Principal AR	34
Figura 3:	Módulo de Administrador	35
Figura 4:	Módulo de Personal de Transporte	36
Figura 5:	Ventana para Añadir Nuevo Personal	36
Figura 6:	Módulo de Empresa de Transporte	37
Figura 7:	Ventana de Añadir Nuevo Transporte	38
Figura 7.1:	Cont. Ventana de Añadir Nuevo Transporte	38
Figura 8:	Modulo Fuente Radiactiva	39
Figura 9:	Módulo de Transporte	40
Figura 10:	Módulo de Seguimiento	41
Figura 11:	Mapa de Rastreo	41