



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES**  
**Y REDES**

DESARROLLO DE UN MODELO COMPUTACIONAL UTILIZANDO EL  
SIMULADOR SIM4LIFE PARA OBTENER LA DISTRIBUCIÓN DE LA SAR  
EN EL CUERPO HUMANO PRODUCIDA POR LOS CAMPOS ELÉCTRICOS  
DE LAS ANTENAS TRANSMISORAS DE RADIO, TELEVISIÓN Y  
ESTACIONES BASE DE CELULARES EN DIFERENTES ESCENARIOS  
CERCANOS A LAS ANTENAS TRANSMISORAS DE CELULARES.

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES**

**AUTORES:** LUIS ANGEL TUMALLI NARANJO

**TUTOR:** ING. PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA

Riobamba-Ecuador

2016

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN MODELO COMPUTACIONAL UTILIZANDO EL SIMULADOR SIM4LIFE PARA OBTENER LA DISTRIBUCIÓN DE LA SAR EN EL CUERPO HUMANO PRODUCIDA POR LOS CAMPOS ELÉCTRICOS DE LAS ANTENAS TRANSMISORAS DE RADIO, TELEVISIÓN Y ESTACIONES BASE DE CELULARES EN DIFERENTES ESCENARIOS CERCANOS A LAS ANTENAS TRANSMISORAS DE CELULARES**, de responsabilidad de el señor Luis Angel Tumalli Naranjo , ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación quedando autorizada su presentación.

ING. WASHINGTON LUNA  
**DECANO DE LA FACULTAD DE  
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

\_\_\_\_\_

ING. FRANKILN MORENO  
**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE  
INGENIERIA ELECTRÓNICA,  
TELECOMUNICACIONES Y REDES**

\_\_\_\_\_

ING. PEDRO INFANTE  
**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

ING. HUGO MORENO  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Yo, Luis Angel Tumalli Naranjo, declaráramos ser los autores del presente trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UN MODELO COMPUTACIONAL UTILIZANDO EL SIMULADOR SIM4LIFE PARA OBTENER LA DISTRIBUCIÓN DE LA SAR EN EL CUERPO HUMANO PRODUCIDA POR LOS CAMPOS ELÉCTRICOS DE LAS ANTENAS TRANSMISORAS DE RADIO, TELEVISIÓN Y ESTACIONES BASE DE CELULARES EN DIFERENTES ESCENARIOS CERCANOS A LAS ANTENAS TRANSMISORAS DE CELULARES ”**, que fue elaborado en su totalidad por mí, bajo la dirección del Ingeniero Pedro Severo Infante Moreira, haciéndome totalmente responsables por las ideas, criterios, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio de la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

LUIS ANGEL TUMALLI NARANJO

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a Dios y a mi Abuelita María quienes supieron guiarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentan, enseñándome a hacerle frente a las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. A mis padres Luis y Fanny, mis hermanos, mis amigos incondicionales y a mi novia por su apoyo, consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles para poder así cumplir mis objetivos.

Luis

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento profundo y sincero a mi Director de tesis el Ingeniero Pedro Infante, por su apoyo y por todos sus conocimientos brindados para la correcta realización de este proyecto.

A todos y cada uno de los docentes que desinteresadamente compartieron sus conocimientos y se esmeraron por darme lo mejor para mi formación profesional, y a todas las personas y amigos que participaron de forma directa en el trayecto de mi carrera, con los cuales se compartieron gratos e inolvidables momentos.

Luis

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA .....	i
FIRMA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
RESPONSABILIDAD DE AUTOR.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE ECUACIONES.....	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>

### CAPITULO I

#### **1 MARCO TEORICO**

1.1 <b>Radiación Electromagnética</b> .....	4
1.1.1 <i>Espectro Electromagnético</i> .....	4
1.1.2 <i>Espectro Radioeléctrico</i> .....	5
1.2 <b>Radiación No-Ionizante</b> .....	6
1.2.1 <i>Zonas de Radiación No-Ionizante</i> .....	6
1.2.1.1 <i>Campo cercano (Near Field)</i> .....	7
1.2.1.2 <i>Campo lejano (Far Field)</i> .....	7
1.3 <b>Servicios de Telecomunicaciones en el Ecuador</b> .....	7
1.3.1 <i>Televisión en la ciudad de Riobamba</i> .....	8
1.3.2 <i>Radiodifusión en Riobamba</i> .....	8
1.3.2.1 <i>Radiodifusión AM en Riobamba</i> .....	8
1.3.2.2 <i>Radiodifusión FM en Riobamba</i> .....	9
1.3.3 <i>Telefonía Móvil Celular en Riobamba</i> .....	10
1.4 <b>Fuentes generadoras de Radiaciones No-Ionizantes</b> .....	11
1.4.1 <i>Fuentes naturales generadoras de Radiaciones No-Ionizantes</i> .....	11
1.4.2 <i>Fuentes de Radiaciones No-Ionizantes generadas por el hombre</i> .....	12
1.5 <b>Propagación de Ondas de Radio Frecuencia</b> .....	12
1.5.1 <i>Propagación Superficial</i> .....	13
1.5.2 <i>Propagación Troposférica</i> .....	13

1.5.3	<i>Propagación Ionosférica</i> .....	14
1.5.4	<i>Propagación por Línea de Vista</i> .....	14
1.6	<b>Tasa de Absorción Especifica (SAR)</b> .....	15
1.6.1	<i>Definición Matemática de la SAR</i> .....	15
1.6.2	<i>Efectos en el cuerpo humano de la SAR</i> .....	16
1.7	<b>Zonas de exposición a las Radiaciones No-Ionizantes</b> .....	17
1.7.1	<i>Zona de exposición Poblacional</i> .....	17
1.7.2	<i>Zona de exposición Ocupacional</i> .....	18
1.7.3	<i>Zona de Rebasamiento</i> .....	19
1.7.4	<i>Señalización de las zonas de exposición</i> .....	19
1.8	<b>Niveles de exposición a radiaciones electromagnéticas</b> .....	20
1.8.1	<i>Niveles de exposición a la radiación en las zonas de exposición ocupacional</i> .....	21
1.8.2	<i>Niveles de exposición a la radiación en las zonas de exposición poblacional</i> .....	22
1.8.3	<i>Niveles referenciales de la Tasa de Absorción Especifica (SAR)</i> .....	23
1.9	<b>Normas Internacionales de Radiaciones No-Ionizantes</b> .....	25
1.9.1	<i>Normativa Nacional (UIT-T K.52)</i> .....	25

## **CAPITULO II**

### **2 MARCO METODOLÓGICO**

2.1	<b>Equipo de medición y software de apoyo</b> .....	27
2.1.1	<i>NARDA SRM-3000</i> .....	27
2.1.2	<i>Sim4Life</i> .....	29
2.1.3	<i>MATLAB</i> .....	29
2.1.4	<i>Virtual Family V3.0</i> .....	30
2.2	<b>Procedimiento para las mediciones y el análisis de las RNI espaciales</b> .....	32
2.2.1	<i>Procedimiento para las mediciones de las RNI espaciales</i> .....	32
2.2.2	<i>Procedimiento para el análisis de las RNI espaciales</i> .....	32

## **CAPITULO III**

### **3 MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1	<b>Medición y Procesamiento de RNI espacial</b> .....	35
3.1.1	<i>Medición de RNI espacial</i> .....	35
3.1.2	<i>Procesamiento de la medición de RNI espacial</i> .....	45
3.2	<b>Modelo Computacional para obtener la SAR</b> .....	49

3.2.1	<i>Modelo computacional para la obtención de la SAR con RNI espacial</i> .....	49
3.2.2	<i>Evaluación del Modelo computacional para RNI espacial</i> .....	52
3.2.2.1	<i>Modelo computacional para RNI espacial, Duke</i> .....	52
3.2.2.2	<i>Modelo computacional para RNI espacial, Ella</i> .....	53
3.2.2.3	<i>Modelo computacional para RNI espacial, Billie</i> .....	54
3.2.2.4	<i>Modelo computacional para RNI espacial, Thelonious</i> .....	55
3.2.3	<i>Análisis de los resultados del modelo computacional para RNI espacial</i> .....	56
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	58
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	59
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	60
	<b>ANEXOS</b>	



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1:	Representación de una onda electromagnética.....	4
FIGURA 1-2:	Espectro Electromagnético. ....	5
FIGURA 1-3:	Espectro Radioeléctrico y Bandas de Frecuencia.....	6
FIGURA 1-4:	Zonas de radiación de ondas electromagnéticas.....	7
FIGURA 1-5:	Campo magnético de la Tierra.....	12
FIGURA 1-6:	Propagación Superficial y Troposférica.....	13
FIGURA 1-7:	Propagación Ionosférica y por Línea de Vista.....	14
FIGURA 1-8:	Efectos de la SAR en el cuerpo humano.....	16
FIGURA 1-9:	Señalización de las zonas de rebasamiento, ocupacional y poblacional.....	17
FIGURA 1-10:	Valores límites para la densidad de potencia según la Frecuencia.....	18
FIGURA 1-11:	Señalización de las zonas de exposición.....	20
FIGURA 1-12:	Diagrama de Flujo de Aplicación.....	26
FIGURA 2-1:	NARDA SRM-3000.....	28
FIGURA 2-2:	NARDA SRM-3000 (Analizador de Espectros).....	28
FIGURA 2-3:	NARDA SRM-3000 (Evaluación de Seguridad).....	29
FIGURA 2-4:	Duke, Ella, Billie Thelonious, Virtual Family V3.0.....	30
FIGURA 2-5:	Puntos para las mediciones espaciales en Virtual Family V3.0.....	31
FIGURA 2-6:	Análisis de las RNI espaciales.....	33
FIGURA 3-1:	Características del Escenario 1.....	36
FIGURA 3-2:	Características del Escenario 2.....	36
FIGURA 3-3:	Características del Escenario 3.....	37
FIGURA 3-4:	Características del Escenario 4.....	37
FIGURA 3-5:	Características del Escenario 5.....	37
FIGURA 3-6:	Características del Escenario 6.....	38
FIGURA 3-7:	Características del Escenario 7.....	38
FIGURA 3-8:	Características del Escenario 8.....	38
FIGURA 3-9:	Características del Escenario 9.....	39
FIGURA 3-10:	Características del Escenario 10.....	39
FIGURA 3-11:	Ejemplo de Simulación de la SAR en Sim4Life, modelo Duke.....	48
FIGURA 3-12:	Pantalla para el cálculo de la SAR del modelo computacional.....	50

FIGURA 3-13:	Modelo computacional para el cálculo de la SAR, Duke. ....	50
FIGURA 3-14:	Modelo computacional para el cálculo de la SAR, Ella .....	51
FIGURA 3-15:	Modelo computacional para el cálculo de la SAR, Billie.....	51
FIGURA 3-16:	Modelo computacional para el cálculo de la SAR, Thelonious.....	52
FIGURA 3-17:	Simulación de la SAR en el Sim4Life, Duke. ....	53
FIGURA 3-18:	Cálculo de la SAR en el modelo computacional, Duke. ....	53
FIGURA 3-19:	Simulación de la SAR en el Sim4Life, Ella .....	54
FIGURA 3-20:	Cálculo de la SAR en el modelo computacional, Ella. ....	54
FIGURA 3-21:	Simulación de la SAR en el Sim4Life, Billie .....	55
FIGURA 3-22:	Cálculo de la SAR en el modelo computacional, Billie.....	55
FIGURA 3-23:	Simulación de la SAR en el Sim4Life, Thelonious .....	56
FIGURA 3-24:	Cálculo de la SAR en el modelo computacional, Billie.....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1:	Bandas de Frecuencia para Televisión abierta .....	8
TABLA 1-2:	Resumen estadístico del N° de estaciones de radiodifusión .....	9
TABLA 1-3:	Asignación de frecuencias para telefonía móvil en la banda 850 y 1900MHz .....	10
TABLA 1-4:	Niveles de exposición para las zonas ocupacional de acuerdo a la ICNIRP .....	22
TABLA 1-5:	Niveles de exposición para las zonas poblacionales de acuerdo a la ICNIRP .....	23
TABLA 1-6:	Niveles de absorción específica de RNI según la frecuencia.....	24
TABLA 2-1:	Características de los modelos de Virtual Family V3.0.....	30
TABLA 2-2:	Coordenadas para cada modelo de Virtual Family V3.0.....	34
TABLA 3-1:	Información de los escenarios de medición en Riobamba .....	35
TABLA 3-2:	Medición de RNI espacial para el escenario 1 .....	39
TABLA 3-3:	Medición de RNI espacial para el escenario 2. ....	40
TABLA 3-4:	Medición de RNI espacial para el escenario 3 .....	41
TABLA 3-5:	Medición de RNI espacial para el escenario 4 .....	41
TABLA 3-6:	Medición de RNI espacial para el escenario 5 .....	42
TABLA 3-7:	Medición de RNI espacial para el escenario 6 .....	42
TABLA 3-8:	Medición de RNI espacial para el escenario 7 .....	43
TABLA 3-9:	Medición de RNI espacial para el escenario 8 .....	44
TABLA 3-10:	Medición de RNI espacial para el escenario 9 .....	44
TABLA 3-11:	Medición de RNI espacial para el escenario 10 .....	45
TABLA 3-12:	Escenario genérico para el modelo Duke .....	46
TABLA 3-13:	Escenario genérico para el modelo Ella .....	46
TABLA 3-14:	Escenario genérico para el modelo Billie.....	47
TABLA 3-15:	Escenario genérico para el modelo Thelonious.....	47
TABLA 3-16:	Simulación de la SAR en Virtual Family V3.0 .....	48
TABLA 3-17:	Error en los resultados del modelo computacional para RNI espacial .....	57

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	Definición de la Tasa de Absorción Específica .....	15
Ecuación 1-2:	Tasa de Absorción Específica .....	15
Ecuación 3-1:	Tasa de Absorción Especifica con variación de temperatura .....	16
Ecuación 2-1:	Cálculo de Lambda.....	33
Ecuación 2-2:	Cálculo de Lambda Cuartos .....	33
Ecuación 2-3:	Cálculo de Beta .....	33
Ecuación 2-4:	Cálculo de alfa.....	33
Ecuación 2-5:	Calculo de theta.....	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	Especificaciones técnicas NARDA SRM-3000 .....
ANEXO B:	Código Fuente del Modelo Computacional.....

## RESUMEN

Se desarrolló un modelo computacional utilizando la Interfaz Gráfica del Usuario (GUI) de MATLAB que permite calcular la Tasa de Absorción Específica (SAR) bajo condiciones de exposición espacial a la radiación no-ionizante basándose en los modelos de Diseño Asistido por Ordenador (CAD) de Virtual Family V3.0: Duke, Ella, Billie y Thelonious. Se tomó mediciones de intensidad de campo eléctrico máximo y promedio producidos por los servicios de telecomunicaciones como son: radio, televisión y telefonía móvil celular, en 10 diferentes escenarios cercanos a las antenas en distintos sectores de la ciudad de Riobamba, utilizando los modelos virtuales Duke, Ella, Billie y Thelonious en 18 puntos del cuerpo, considerando la exposición espacial del campo eléctrico, para realizar la simulación de la SAR con valores de campo eléctrico máximo y promedio de un escenario genérico para cada modelo, en la banda de frecuencia de 76 MHz a 2.6 GHz. Al realizar la comparación de los valores medidos en los 10 escenarios con los establecidos por la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP), se puede determinar que en los escenarios, los niveles de radiación se encuentran bajo los niveles máximos permitidos por la ICNIRP. Comparando los resultados de las simulaciones con los calculados por el modelo computacional se determinó un margen de error del valor de la SAR mínimo, demostrando que el modelo es satisfactorio, tanto para la intensidad de campo eléctrico máximo como para la promedio. Este modelo computacional servirá para realizar estudios de evaluación de los niveles de radiación electromagnética y/o estudios epidemiológicos. Se recomienda realizar mediciones de intensidad de campo eléctrico en otras condiciones de tráfico y características de los escenarios para verificar que los niveles de radiaciones no-ionizantes están dentro de las normativas fijadas por la ICNIRP.

**Palabras Claves:** <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERA>, <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA>, <TASA DE ABSORCIÓN ESPECIFICA (SAR)>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <CAMPO ELÉCTRICO>, <EXPOSICIÓN ESPACIAL>, <NIVELES DE RADIACIÓN>, <MODELO COMPUTACIONAL>

## SUMMARY

A computer model was developed using a Graphical User Interface (GUI) of MATLAB that allows calculating the Specific Absorption Rate (SAR) under conditions of spatial exposure to non-ionizing radiation. It has been based on the Computable Assisted Designer (CAD) models of the Virtual Family V3.0: Duke, Ella, Billie and Thelonious. Some measurements of the maximum and average intensity of the electric field were taken from the telecommunications services such as radio, television, and mobile phones in ten different scenarios that are close to antennas in different places of Riobamba. This was done using the models Duke, Ella, Billie and Thelonious in 18 points in the human body considering the spatial exposure of the electric field to do the simulation of the SAR with values of maximum and average electric fields in a generic scenario for each model in this frequency band: from 76 MHz to 2.6 GHz. When doing the comparison of the measured values in the 10 different scenarios to the ones established with the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) it could be determined that the radiations are under the maximum allowed by the ICNIRP in these scenarios. When comparing the results of the simulations to the ones calculated by the computer model, a minimum margin of error of the SAR value was determined. This demonstrated that the model is satisfactory for the maximum intensity as well as the average intensity of the electric field. This computer model will be useful for assessing the levels of electromagnetic radiation and/or epidemiologic studies. It is recommended to do intensity measurements of the electric field under other traffic conditions and other characteristics of the scenarios in order to verify which levels of non-ionizing radiations are considered within the norms fixed by the ICNIRP.

**Key words:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <ENGINEERING AND ELECTRONIC TECHNOLOGY>, <SPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR)>, <MATLAB SOFTWARE>, <ELECTRIC FIELD>, <SPATIAL EXPOSURE>, <RADIATION LEVELS>, <COMPUTER MODEL>

## **INTRODUCCION**

Al pasar de los años es fácil darse cuenta que todos los servicios de comunicación inalámbricos han tenido una mayor acogida, provocando un incremento de las estaciones base ya sean transmisoras, repetidoras o receptoras de todos los servicios de radiocomunicación en especial radio, televisión y telefonía celular; siendo esto el factor principal para la contaminación por radiación en el medio ambiente que las antenas transmisoras producen.

Por este motivo en el siguiente trabajo se realiza el estudio de los campos electromagnéticos que son producidos por las antenas transmisoras de televisión, radio y sistemas de telefonía móvil, tomando en cuenta mediciones de forma espacial sobre una persona, se tomará en cuenta distintas condiciones ambientales como presión, humedad, temperatura y el clima; con todos los datos recolectados se podrá determinar la tasa de absorción específica (SAR) que se produce en el cuerpo humano por causa de las radiaciones no-ionizantes (RNI). El equipo NARDA SRM-3000 nos permite realizar mediciones de radiación electromagnética producida por las antenas, esto es posible ya que nos permite analizar una extensa Banda de Frecuencias que cubren todos los servicios ya mencionados, además permite obtener el nivel de radiación que se obtiene en el análisis espacial según el modelamiento de Virtual Family v3.0.

Con los valores medidos de campo eléctrico máximo y campo eléctrico promedio en los 10 diferentes escenarios cercanos a las antenas, se procederá a realizar la simulación de la SAR por medio del software Sim4Life. Para realizar un modelo computacional utilizando la GUI de MATLAB que permita facilitar el cálculo de la SAR para los distintos valores de intensidad de campo electromagnético.

## **ANTECEDENTES**

La OMS (Organización Mundial de la Salud) estableció el Proyecto Internacional de Campos Electromagnéticos para evaluar los niveles de radiación electromagnética, para determinar posibles riesgos a la salud.

Uno de los principales problemas para la sociedad de la ciudad de Riobamba es que el medio ambiente está lleno de radiaciones electromagnéticas que son generadas por los diferentes servicios que ofrecen las empresas de telecomunicaciones tales como radio, televisión y telefonía celular; ya que aumentan la cantidad de antenas transmisoras dentro del área urbana, provocando incertidumbre en las personas sobre los peligros que estas provocan a la salud, por



la falta de información o estudios realizados acerca de la Tasa de Absorción Específica (SAR) en la ciudad de Riobamba; por esta razón se realizó un estudio previo mediante una tesis de grado realizada por el señor Luis Castillo, que determinó los niveles de radiación de campo magnético, eléctrico y densidad de potencia en la ciudad de Riobamba de acuerdo a las normas internacionales emitidas por la ICNIRP ( Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante ), lo cual demostró que están muy por debajo de los límites permitidos, pero esto no fue suficiente para determinar la SAR, por ello se realizó un estudio mediante la tesis de grado del señor Sebastián Cárdenas sobre la distribución de la SAR en el cuerpo humano generada por radiaciones electromagnéticas de las antenas de radio, televisión y celular en la ciudad de Riobamba, obteniéndose un modelo computacional que muestra la distribución de la SAR en el cuerpo humano basado en las mediciones del campo eléctrico, tomando en cuenta las mediciones espaciales.

### **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Se necesita conocer los valores reales de la SAR en el cuerpo humano, para saber si causa o no afección en la salud de las personas que se encuentran expuestas a las radiaciones generadas por las antenas de los diferentes servicios de telecomunicaciones; por lo que se desarrollara un modelo computacional utilizando Matlab.

### **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

En este proyecto de investigación se realizarán mediciones espaciales de campos electromagnéticos generados por las antenas transmisoras de radio, televisión y estaciones base de celulares, en 10 escenarios diferentes cercanos a las antenas situadas en la ciudad de Riobamba, utilizando el equipo NARDA SRM-3000 o el SRM-3006 y los cuatro modelos de la familia virtual. Con los datos obtenidos en las mediciones correspondientes se podrá determinar valores máximos, medios, mínimos y la desviación estándar para proceder a realizar un modelo computacional utilizando el software Virtual Family v3.0, para determinar la SAR.

### **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

Con las mediciones de los campos electromagnéticos generados por las antenas transmisoras de radio, televisión y estaciones base de celulares, en 10 escenarios diferentes cercanos a las antenas situadas en la ciudad de Riobamba, tomando en cuenta los valores máximos, medios, mínimos y la desviación estándar, se desarrollará un modelo computacional basado en el método de interpolación de Newton, que permita determinar la distribución de la SAR en el

cuerpo humano con los valores obtenidos anteriormente. Estos datos servirán para ser aplicada en la tesis de investigación de Doctorado en Ciencias Técnicas de la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba, que está siendo desarrollada por el Ingeniero Pedro Infante y será publicada mediante un artículo científico en una revista relacionada al tema.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un modelo computacional utilizando el simulador Sim4Life y la familia virtual Duke, Ella, Billie y Thelonious para obtener la distribución de la SAR en el cuerpo humano producida por los campos eléctricos de las antenas transmisoras de radio, televisión y estaciones base de celulares en diferentes escenarios cercanos a las antenas transmisoras de celulares.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

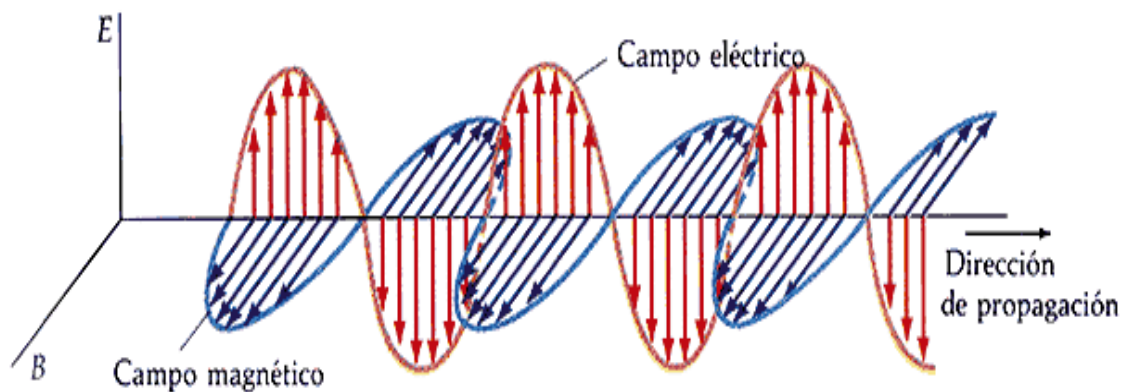
- Medir la intensidad del campo eléctrico producido por las antenas transmisoras de radio, televisión y celulares en 10 escenarios diferentes en las cercanías de las antenas transmisoras de estaciones base de celulares, utilizando el equipo NARDA SRM-3000 o el SRM-3006 y un soporte de madera simulando los 4 modelos de la familia virtual Duke, Ella, Billie y Thelonious.
- Determinar los valores máximo, mínimo, media y desviación estándar utilizando los datos del campo eléctrico medidos en el numeral 1.
- Analizar el simulador Sim4Life para determinar la SAR.
- Realizar la simulación del campo eléctrico del numeral 2 utilizando el Sim4Life y la familia virtual Duke, Ella, Billie y Thelonious para determinar la tasa de absorción específica en el cuerpo humano.
- Desarrollar un modelo computacional utilizando el simulador Sim4Life y la familia virtual Duke, Ella, Billie y Thelonious para obtener la distribución de la SAR en el cuerpo humano producida por los campos eléctricos del numeral 2.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEORICO

#### 1.1. Radiación Electromagnética

La radiación electromagnética se define como la combinación de campos eléctricos y magnéticos que se desplazan por el espacio en forma de ondas portadoras de energía, a estas ondas toman el nombre de ondas electromagnéticas, las mismas que generan vibraciones de manera perpendicular a la dirección de propagación como se puede ver en la Figura 1-1, viajan por el espacio sin la necesidad de un medio material para propagarse (en el vacío o cualquier otro medio). (Luque, s.f, 2010, p.10)



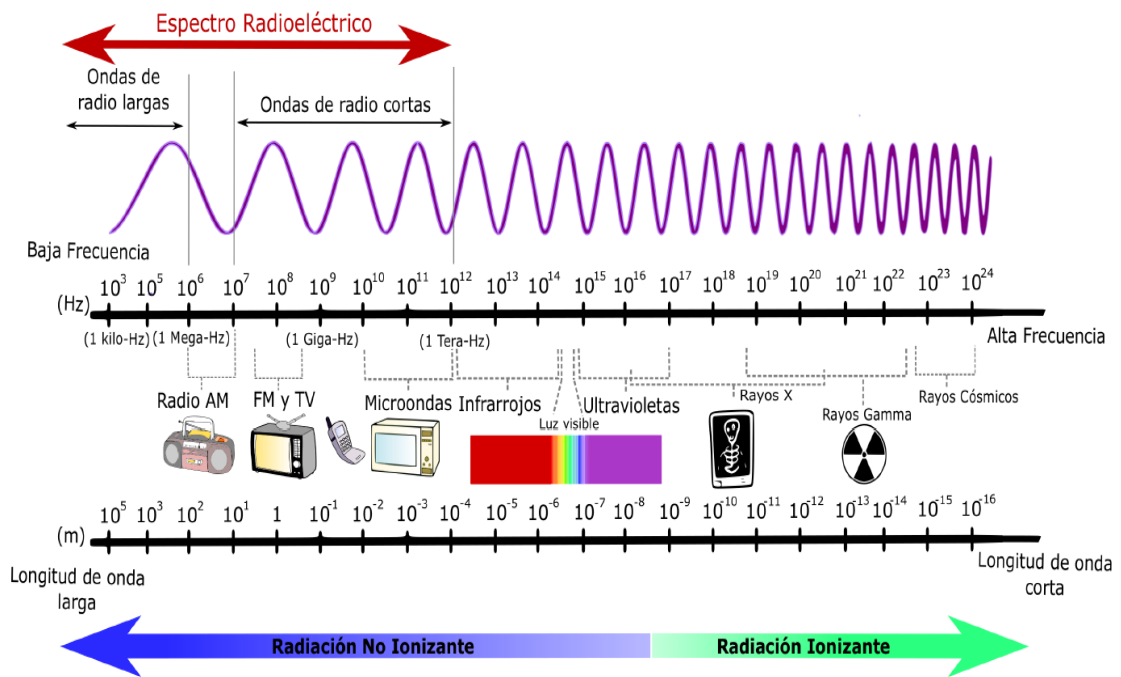
**Figura 1-1** Representación de una onda electromagnética

Fuente: Gonzales 2009

El nivel de radiación electromagnética tiene una relación con la frecuencia de operación de las ondas propagadas, es decir que en una relación de mayor frecuencia se tiene un mayor nivel de radiación electromagnética emitida. (Balanis, 2005, p.108)

#### 1.1.1. Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es el conjunto de todas las frecuencias posibles en las que se produce radiación electromagnética, tal como se puede ver en a Figura 1-2, el espectro electromagnético está comprendido por una división de frecuencias divididas en dos grupos, las señales de ondas ionizantes que están por encima de la luz visible cuya longitud de onda es tan pequeña capaz de alterar la estructura de la materia es decir el desplazamiento de los electrones de un átomo generando ionización, y las señales de ondas no ionizantes que están por debajo de la luz visible tratadas posteriormente en este documento. (Luque, s.f, 2010, p.18)



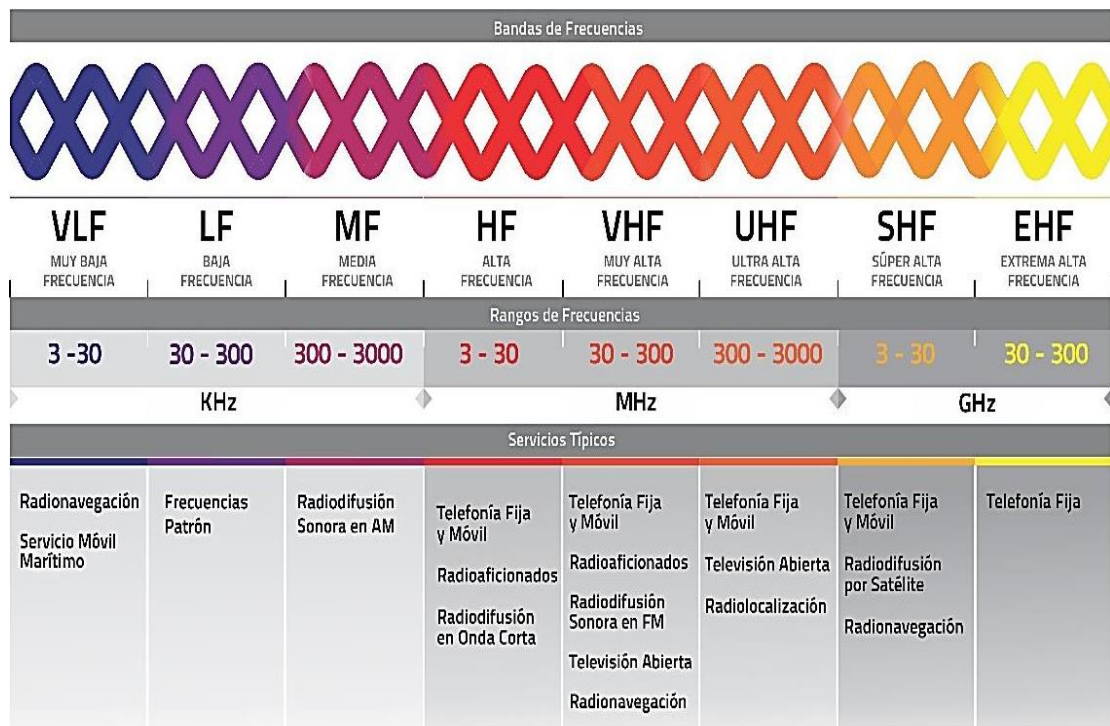
**Figura 1-2 Espectro Electromagnético**  
Fuente: CCEM 2016

### 1.1.2. Espectro Radioeléctrico

Se define al espectro radioeléctrico como el conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin necesidad de guía artificial utilizado para la prestación de servicios de telecomunicaciones, radiodifusión sonora y televisión, seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica, así como para un elevado número de aplicaciones industriales, científicas y médicas. (Plan Nacional de Frecuencias, 2012, p.17)

El espectro radioeléctrico es una porción del espectro electromagnético el cual comprende desde un rango de frecuencias de 3KHz (con una longitud de onda de 100 Km) a 300 GHz (con una longitud de onda de 1 mm), esta porción posee el espectro de ondas electromagnéticas de radio o también conocidas como corrientes de Radio Frecuencia (RF) cada una con sus respectivas bandas de frecuencia y longitudes de onda como se ve en la Figura 1-3. (Plan Nacional de Frecuencias, 2012, p.17)

Las ondas de esta parte del espectro electromagnéticos se les conoce como ondas no ionizantes las cuales no son capaces de alterar la estructura de la materia pues la energía contenida en ellas no es lo suficientemente fuerte para desplazar electrones del átomo y generar ionización.



**Figura 1-3** Espectro Radioeléctrico y Bandas de Frecuencia.  
Fuente: CONATEL 2016

## 1.2 Radiación No-Ionizante.

La radiación no-ionizante o RNI se define como la energía transmitida por un conjunto de ondas cuya longitud de onda posee un tamaño tal que no es capaz de alterar la materia, es decir no tiene la facultad de arrebatar electrones de la materia en la cual está incidiendo, esta radiación se determina según la frecuencia, por lo que se conceptualiza que las radiaciones no ionizantes están comprendidas en el rango de frecuencias que se encuentran por debajo de la luz visible, frecuencias infrarrojo, microondas y frecuencias bajas o radio frecuencias, así se puede indicar que están dentro de la radiación no ionizante los servicios de comunicación inalámbrica, siendo su principal efecto el elevar la temperatura del material sobre el que está incidiendo. (García, et al. 2013)

### 1.2.1 Zonas de Radiación No-Ionizante

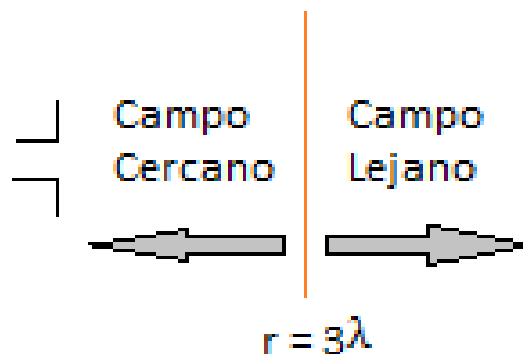
Al estar presente dentro de la radiación no ionizante los servicios de comunicaciones inalámbricas mismas que operan dentro del espectro electromagnético, se irradian por medio de dispositivos radiantes conocidos como antenas, las cuales se diseñan según la frecuencia de operación y servicios para el cual va a operar, definiéndose así zonas de radiación en campo lejano y campo cercano. (Balanis, 2010, p.105)

### 1.2.1.1 Campo cercano (Near Field)

Es la zona más cercana a la antena a una distancia ( $r \leq 3\lambda$ ) en la que el campo electromagnético no posee las características de onda electromagnética transversal (TEM) plana, existiendo ausencia de energía radiada, teniendo así solo campos de inducción en el que los campos eléctricos y magnéticos existen por separado, y no están en fase a ( $90^\circ$ ) el uno con el otro. (Balanis, 2005, p.34)

### 1.2.1.2 Campo lejano (Far Field)

Es la zona más lejana a una distancia ( $r > 3\lambda$ ) con respecto a la antena donde el campo electromagnético posee las características y comportamiento de onda electromagnética transversal (TEM), en esta zona los campos producen radiación de energía. (Balanis, 2005, p.35)



**Figura 1-4** Zonas de radiación de ondas electromagnéticas.

Fuente: Creada por el autor.

## 1.3 Servicios de Telecomunicaciones en el Ecuador

Los servicios de telecomunicaciones dentro del Ecuador son establecidos por la ley especial de telecomunicaciones reformada, estipulando así las normas de operación, instalación y utilización de los mismos. Por estos motivos la ley actual indica que todos los servicios de correspondencia pública se dividirán en servicios finales y portadores. (ARCOTEL, 2015, p.4)

Los servicios de telecomunicaciones son aquellos que permiten la comunicación entre los usuarios y los proveedores de los servicios, por medio de funciones en los equipos que requieren elementos de conmutación; para el estudio de los distintos tipos de servicios de telecomunicaciones (radio, televisión y telefónica celular) se analizará el espectro de frecuencias desde los 76MHz hasta los 2.6GHz. (ARCOTEL, 2015, p.8)

### **1.3.1 Televisión en la ciudad de Riobamba**

En el Ecuador la mayoría de la población utiliza televisión analógica y abierta porque se observa libremente sin necesidad de un costo adicional, ésta llega desde la estación transmisora por medio del espectro electromagnético; estos sistemas de televisión abierta utilizan el estándar de televisión analógica NTSC (Comité Nacional de Sistema de Televisión) y operan tanto en VHF (Muy Alta Frecuencia) como en UHF (Ultra Alta Frecuencia). (Moreno B. & Salazar J., 2011)

La televisión abierta ha sido diseñada para la transmisión de audio y video sin necesidad de codificación, teniendo la capacidad de transmitir 44 canales de 6 MHz de ancho de banda cada uno utilizando como medio de propagación el espacio libre. (Moreno B. & Salazar J., 2011)

**Tabla 1-1** Bandas de Frecuencia para Televisión abierta

<b>BANDA</b>	<b>FRECUENCIA (MHz)</b>	<b>CANALES</b>
Banda I (VHF)	54 - 72 MHz	2 al 4
Banda I (VHF)	76 - 88 MHz	5 al 6
Banda III (VHF)	174 - 216 MHz	7 al 13
Banda IV (UHF)	500 - 608 MHz	19 al 36
Banda IV (UHF)	614 - 644 MHz	38 al 42
Banda V (UHF)	644 - 686 MHz	43 al 49

Fuente: CONARTEL, 2015.

### **1.3.2 Radiodifusión en Riobamba**

#### **1.3.2.1 Radiodifusión AM en Riobamba**

La ciudad de Riobamba cuenta con 118 canales para el uso de Amplitud Modulada pero actualmente en uso ya se encuentran solamente 12 estaciones por la poca demanda de audiencia de la misma en la ciudad de Riobamba, existiendo una separación entre frecuencias de 20 KHz. Las emisoras en banda de Amplitud Modulada (AM) se clasifican de acuerdo a la frecuencia de operación y ámbito de cobertura en:

- Nacionales : 530 – 1000 KHz
- Regionales: 1000 – 1200 KHz

- Locales: 1200 – 1600 KHz

La propagación en radiodifusión AM se efectúa fundamentalmente por onda de superficie, ionosférica o ambas; permitiendo que se tenga una amplia cobertura a nivel nacional. (Sánchez F. & Sagbay G., 2013)

### 1.3.2.2 Radiodifusión FM en Riobamba

En la ciudad de Riobamba la banda de Frecuencia Modulada (FM) presenta una distribución de 100 canales con un ancho de banda de 200 KHz, comprendida en el espectro de frecuencias entre 88 MHz y 108 MHz con una potencia mínima general de 250 W, en la ciudad de Riobamba actualmente tenemos 37 estaciones de radio FM como podemos ver en la Tabla 1-2. (Sánchez F. & Sagbay G., 2013)

**Tabla 1-2** Resumen estadístico del N° de estaciones de radiodifusión

<b>ESTACION</b>	<b>FRECUENCIA (MHz)</b>
ROMANCE 88.5 FM	88.5
RUMBA STEREO FM	88.9
RIOBAMBA STEREO	89.3
GENIAL EXA FM	89.7
SULTANA FM	90.1
STEREO MUNDO KDM	90.5
CARACOL FM STEREO	91.3
ESCUELAS RADIOF.POPULARES	91.7
FANTASTICA 92.1 FM	92.1
HOLA FM STEREO	92.5
ESTEREO FM	93.3
BONITA FM	93.7
CENTRO FM STEREO	94.1
RADIO CANELA	94.5
STEREO BUENAS NUEVAS	95.3
MUNDIAL FM	96.1
FORMULA TRES	96.5
AMOR FM STEREO	96.9
J.C. RADIO	97.3
TRICOLOR FM	97.7
ALEGRIA FM	98.5
HOLA FM 98,9	98.9
PUNTUAL FM	99.7
AMERICA 2 FM	100.1
LA VOZ DEL VOLCAN	100.9
TERNURA FM	101.3
LA VOZ DE LA AIIECH	101.7
CUMBRE FM	102.5
SENSACION STEREO	102.9



SONORAMA STEREO	103.7
PAZ Y BIEN	104.5
FUTURA	104.9
GRUPO RADIAL DELGADO-AMB	105.3
CATOLICA NACIONAL	105.7
ANDINA FM	106.1
PANAMERICANA FM	106.9
STEREO FAMILIAR	107.3

Fuente: ARCOTEL, 2015, Estadísticas de estaciones de radiodifusión y televisión en el País.

### 1.3.3 Telefonía Móvil Celular en Riobamba

El servicio de telefonía móvil se lo puede considerar como un servicio final de telecomunicaciones porque permite la comunicación de los usuarios mientras se encuentran en desplazamiento, permitiendo una gran cantidad de servicios como: llamada en espera, transferencia de datos, etc., siendo aprobados y otorgados por la Superintendencia de Telecomunicaciones. Siendo de mayor utilización las tecnologías 2G y 3G en nuestro país que trabajan dentro del rango de frecuencia de 850 MHz y 1900 MHz con distintos tipos de bandas de frecuencia como se muestra en la Tabla 1-3. (Cando C., 2007)

**Tabla 1-3** Asignación de frecuencias para telefonía móvil en la banda 850 y 1900MHz

<b>OPERADORA</b>	<b>RANGO DE FRECUENCIA</b>
OTECEL S.A	835 - 845 MHz
	846.5 - 849 MHz
	880 - 890 MHz
	891,5 - 894 MHz
CONECEL S.A	824 - 835 MHz
	845 - 846.5 MHz
	869 a 880 MHz
	890 a 891.5 MHz

OTECEL S.A	1865 - 1870 MHz
	1945 - 1950 MHz
CONECEL S.A	1885 - 1890 MHz
	1965 - 1970 MHz
CNT EP	1895-1910 MHz
	1975-1990 MHz
	1890 – 1895 MHz
	1970 – 1975 MHz

Fuente: ARCOTEL, 2015, Plan Nacional de Frecuencias

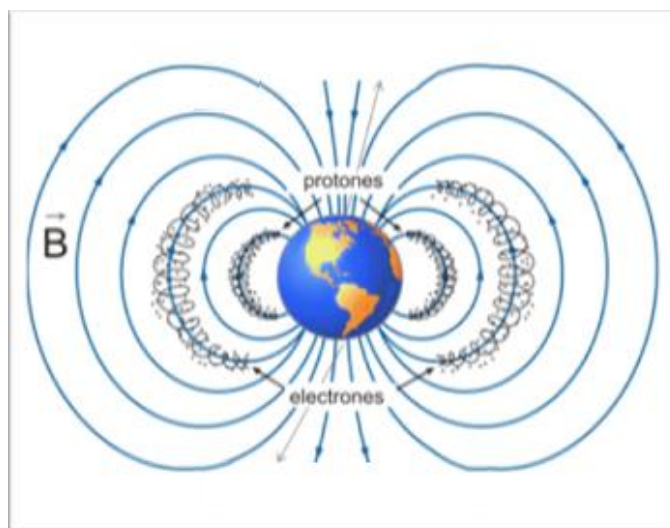
#### 1.4 Fuentes generadoras de radiaciones no-ionizantes.

La radiación electromagnética es generada de dos maneras: de manera natural y por mano del hombre como se describe a continuación.

##### 1.4.1 Fuentes naturales generadoras de radiaciones no-ionizantes.

La radiación electromagnética se encuentra en todas partes de manera invisible ante el ojo humano, se generan los campos eléctricos debido a la acumulación de cargas eléctricas en zonas determinadas de la atmósfera debido a las tormentas eléctricas, el campo magnético de la tierra está presente de forma natural especialmente cuando las manecillas de la brújula se ubican en dirección Norte-Sur como podemos ver en la Figura 1-5. Las frecuencias en las que comprende esta radiación está en un rango de 0 a 30 Hz y un campo eléctrico máximo de 150 V/m. (Balanis, 2010, p.108)

Estas fuentes de radiación se escapan del control humano pero en su mayoría han sido aprovechadas para beneficio de actividades industriales, agrícolas y médicas.



**Figura 1-5** Campo magnético de la Tierra.

Fuente: Blas & Fernández s/f.

#### **1.4.2 Fuentes de radiaciones no-ionizantes generadas por el hombre.**

Por tener un gran avance tecnológico ha aumentado la cantidad de dispositivos y servicios de comunicación que provocan el aumento de los campos electromagnéticos debido a la demanda de electricidad, ya que utilizan como medio de propagación el aire; por esa razón existen las fuentes de campos electromagnéticos generados por el hombre por la cantidad de electrodomésticos, sistemas de potencia, estaciones base de celulares siendo estas en conjunto con las antenas de radiodifusión y de televisión las que dan un mayor nivel de absorción en el cuerpo humano.

En el lugar de convivencia del hombre no hay un gran problema de intensidad de campo eléctrico y magnético ya que las frecuencias en los mismos están entre 50 y 60 MHz porque son de orden natural y se obtiene un valor aproximado de 0.0001 V/m de campo electromagnético; a lo máximo de campo electromagnético que se puede llegar en los hogares es de 500 V/m porque todos los campos electromagnético de los electrodomésticos se suman, por otro lado cerca de las estaciones generadoras de electricidad el valor del campo electromagnético tiene una gran variación con respecto a la generada dentro de los hogares pudiendo tener así hasta valores de 16 kV/m. (Fustel E., et al. 2011, p70-72)

#### **1.5 Propagación de Ondas de Radio Frecuencia**

La propagación es el comportamiento de las ondas de radio cuando se trasladan por el espacio. Se transmiten, reciben o propagan desde un punto sobre la Tierra a otro, a la atmósfera o al espacio. Siendo una forma de radiación electromagnética, esta se ve afectada por la frecuencia y

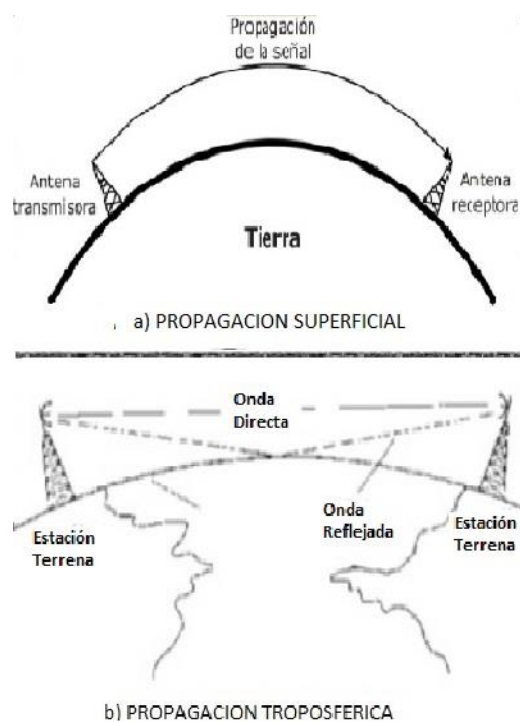
por el medio a través del cual se propaga como la propagación superficial, troposférica, ionosférica y por línea de vista. (Tomasi W., 2003, p.359)

### 1.5.1 Propagación Superficial

Este tipo de ondas se propagan en contacto con la superficie de la tierra, pueden propagarse distancias mayores a los 160 Km a través de la superficie de la tierra. Al decir que se propaga a través de la superficie de la tierra, quiere decir que sigue la curvatura de la tierra; como se produce tensiones entre el suelo y las ondas propagadas se da una pérdida de energía y a la vez una menor distancia de propagación como se puede ver en la Figura 1-6.a. (Tomasi W., 2003, p.359, Pozar D., 2010, p.283)

### 1.5.2 Propagación Troposférica

Este tipo de ondas son afectadas por el medio en el cual son transmitidas, estas ondas de radio viajan a través de la capa más baja de la tierra; en este tipo de radiación, se irradia en todas las direcciones desde la antena de transmisión hasta el receptor sin dejar la troposfera que es la capa más baja de la tierra, se puede decir que si la onda se mantiene propagándose constantemente en contacto con la tierra, y teniendo una línea de vista directa entre el transmisor y el receptor se hace una propagación troposférica directa como se puede ver en la Figura 1-6.b. (Tomasi W., 2003, p.360; Pozar D., 2010, p.284)



**Figura 1-6** Propagación Superficial y Troposférica  
Fuente: Toledo 2011

### 1.5.3 Propagación Ionosférica

Es una de las propagaciones más importantes, ya que la atmósfera actúa como reflector; siendo esto posible porque se encuentra eléctricamente cargada con eso provoca que la señal comience a cambiar de ángulo, esto lo hace sucesivamente hasta que se realice una reflexión total. Esta propagación puede llegar a transmitir hasta una distancia de 4000 Km sin tener una gran cantidad de pérdidas, pero esto también dependerá de las condiciones meteorológicas en las que se encuentre en ese momento la atmósfera como podemos ver en la Figura 1-7.a. (Tomasi W., 2003, p.360; Pozar D., 2010, p.284)

### 1.5.4 Propagación por Línea de Vista

Este tipo de propagación exige que haya una línea de vista directa entre el transmisor (Tx) y el receptor (Rx), es utilizada cuando son frecuencias mayores a los 50 MHz; ya que estas frecuencias son menos afectadas por fenómenos atmosféricos y poseen una gran directividad lo que nos da confiabilidad de que la información llegue sin pérdidas hasta su destino final como se observa en la Figura 1-7.b. (Tomasi W., 2003, p.360; Pozar D., 2010, p.285)



**Figura 1-7** Propagación Ionosférica y por Línea de Vista  
Fuente: Toledo 2011

## 1.6 Tasa de Absorción Específica (SAR)

La función de la SAR consiste en evaluar los efectos derivados de la radiación de radio frecuencia (RF) para todas aquellas personas que son expuestas a los campos electromagnéticos, la SAR se mide en Watt por kilogramo (W/kg), es decir la cantidad de vatios de energía que absorbe el cuerpo humano por cada kilogramo de masa corporal, dependiendo de la fuente de energía electromagnética, por esa razón es que los organismos de normalización como la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) han establecido límites de exposición con el fin de evitar afecciones en la salud. (Solano, 2013)

### 1.6.1 Definición Matemática de la SAR

La Tasa de Absorción Específica está definida como la derivada del tiempo en un incremento de energía electromagnética ( $dU$ ) absorbida por un incremento de masa ( $dm$ ) contenido en un diferencial de volumen ( $dv$ ) de una densidad de masa ( $\rho$ ), definida en la Ecuación 1-1. (Solano, 2013)

$$SAR = \frac{d}{dt} \left( \frac{dU}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left( \frac{dU}{\rho dv} \right) \quad \text{Ecuación. 1-1}$$

La unidad en la que es expresada la SAR es (W/kg), y la ecuación para el cálculo de la SAR con la conductividad y densidad del material está definida como se ve en la Ecuación 1-2:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad \begin{array}{l} \sigma = \text{Conductividad del material } \left( \frac{S}{m} \right) \\ E = \text{Campo Eléctrico total RMS } \left( \frac{V}{m} \right) \\ \rho = \text{Densidad de masa del material } \left( \frac{Kg}{m^3} \right) \end{array} \quad \text{Ecuación. 1-2}$$

La Tasa de Absorción Específica (SAR) queda definida dentro del rango de frecuencias entre 100 KHz y 10 GHz, por lo que se encuentra dentro de la zona del espectro de radiación no ionizante. Por lo que las emisiones producidas por cualquier dispositivo no alteran la composición molecular del cuerpo sobre el que incide dicha radiación, si no que la energía absorbida por los tejidos se transforma en energía térmica del siguiente modo como se ve en la Ecuación 1-3: (Solano, 2013)

$$C_i = \text{Capacidad de calentamiento del tejido del cuerpo } \left( \frac{J}{Kg^{\circ}K} \right)$$

$$SAR = C_i \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad \Delta T = \text{Incremento de temperatura ( } ^\circ K \text{ )} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

$$\Delta t = \text{Incremento de tiempo ( s )}$$

### 1.6.2 Efectos en el cuerpo humano de la SAR

Los campos de baja frecuencia inducen corrientes en el cuerpo humano que pueden afectar a los sentidos, los músculos y al sistema nervioso. Si mayor es la intensidad de campo, mayores son los efectos en el cuerpo humano. El grado de absorción de las ondas electromagnéticas depende de las características del campo electromagnético, como frecuencia, polarización y del sistema termorregulador del cuerpo humano que actúa para compensar variaciones en la temperatura del cuerpo. Los órganos con menor flujo sanguíneo, como los ojos, son los que mayor riesgo presentan; mientras que el corazón y el cerebro soportan mejor el aumento de temperatura, ya que el flujo sanguíneo es mayor y este tipo de afecciones se darán cuando hablamos por un celular ya que mandamos campos electromagnéticos directos a la cabeza como se puede ver en la Figura 1-8. (MaterialesRx, 2012)

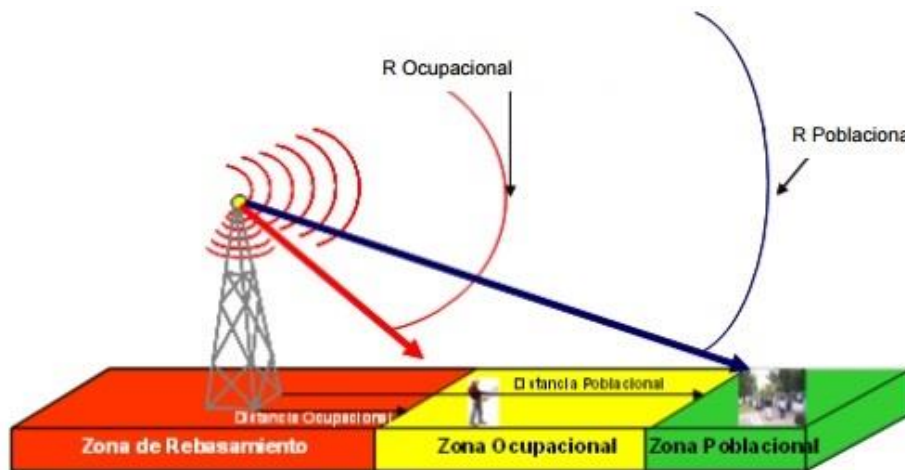


**Figura 1-8** Efectos de la SAR en el cuerpo humano  
Fuente: Fiorotto 2013.

La evidencia experimental disponible indica que la exposición de humanos en reposo, por aproximadamente 30 minutos, a campos electromagnéticos produciendo un SAR de cuerpo entero ente 1 y 4 (W/kg), resulta en un aumento de temperatura del cuerpo inferior a 1 grado Celsius ( $^{\circ}C$ ). La exposición a campos más intensos, que produzcan valores de SAR superiores a 4 W/kg, puede exceder la capacidad termorreguladora del cuerpo humano y producir niveles de calentamiento nocivos a los tejidos, produciendo daños obvios, como las quemaduras, además se están estudiando efectos a largo plazo tales como el riesgo de cáncer, las influencias sobre el equilibrio hormonal, el crecimiento de células y el sistema inmunológico. (Cabal C., et al. 2005, p.11-14)

## 1.7 Zonas de exposición a las Radiaciones No-Ionizantes (RNI)

Las normas que fijan los valores de exposición máxima permitida a las radiaciones no-ionizantes (RNI) de distintas frecuencias, se basan en los efectos térmicos, es decir, para cada grupo de frecuencias se fija un valor de exposición máxima permitida, por debajo de cual la absorción promedio de campos electromagnéticos (CEM) por el cuerpo humano, no representará un incremento nocivo de la temperatura (alrededor 0.1°C). De acuerdo a la distancia que se encuentra un observador de la estación de Radio Frecuencia, se han establecido para las RNI límites de exposición establecidos por la ICNIRP para personas expuestas en su profesión y para el público definiendo así zonas poblacionales, ocupacionales y la de rebasamiento como podemos ver en la Figura 1-9 cuál es la distancia para cada una de las zonas, todas con incidencia de las ondas electromagnéticas. (Mendoza R. & Gómez F., 2013; Plan de Frecuencias, 2009)



**Figura 1-9** Señalización de las zonas de rebasamiento, ocupacional y poblacional  
Fuente: CONATEL, 2009

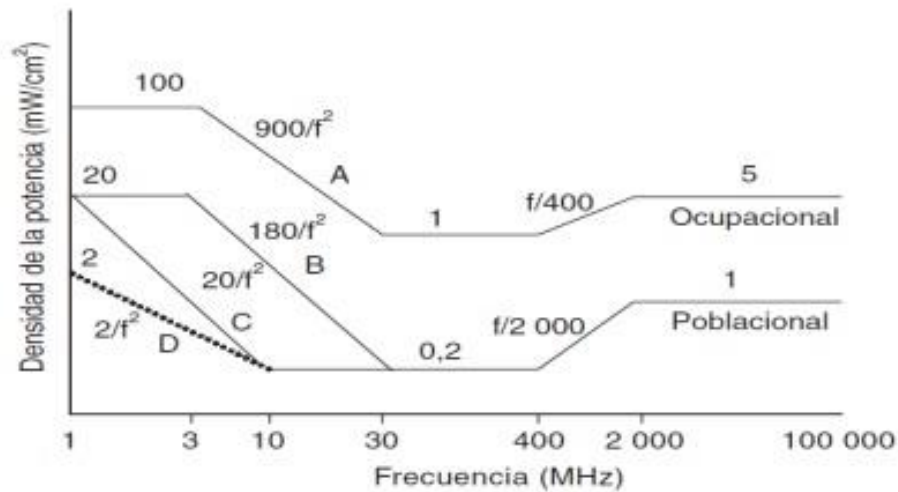
### 1.7.1 Zona de exposición Poblacional

En muchos casos el público en general, no está consciente de su exposición a los campos electromagnéticos (CEM). Por esa misma razón no se puede esperar que las personas tomen precauciones razonables, para minimizar o evitar su exposición a estos campos electromagnéticos.

Las personas que son expuestas a la radiación sin tener consentimiento de ello son mucho más numerosas y corren un mayor riesgo que no pueden controlar individualmente, que las que lo hacen por razones de trabajo; las que no tienen consentimiento de esto son las que se encuentran en la zona poblacional ya que se encuentran alejadas de la antena estando en Far Field a una distancia de la antena de  $R = 2D^2/\lambda$ . Razón por la cual se establece valores límite de exposición



para toda la población en gran parte del espectro radioeléctrico (10 MHz a 300 GHz) como se puede ver en la Figura 1-10, siendo equivalente a la densidad de potencia de una onda plana incidente, para así producir una tasa de absorción específica (SAR) promedio de un cuerpo entero de 0.08 W/kg. (Mendoza R. & Gómez F., 2013)



**Figura 1-10** Valores límites para la densidad de potencia según la Frecuencia  
Fuente: Mendoza 2013

Límites de Densidad de Potencia para las distintas zonas de acuerdo al número de horas de exposición vistas en la Figura 1-10:

- Curva A: Simboliza valores límite de exposición para zonas ocupacionales con una permanencia de 8 horas al día.
- Curva B y C: Simboliza valores límite de exposición para zonas de exposición poblacional con una permanencia diaria de 24 horas. Cuando las fuentes aumentan significativamente, se toma de referencia la curva C en vez de la B.
- Curva D: Es aplicado a zonas de exposición poblacionales cercanas a antenas de frecuencia media. (Mendoza R. & Gómez F., 2013)

### 1.7.2 Zona de exposición Ocupacional

Las personas que son expuestas de manera ocupacional, son personas adultas y conscientes del riesgo al que están sometidos por esa misma razón reciben entrenamiento para que las condiciones a las que van a ser sometidos sean conocidas y tengan consentimiento del riesgo potencial y tomen las debidas protecciones. Para poder determinar el límite de exposición a la radiofrecuencia por trabajo, se empleó un criterio de trabajo semanal de 40 horas, con periodos rápidos de exposición elevada, durante 50 semanas en el año y todas en Near Field siendo así la

distancia de exposición de la zona hasta la antena de  $R \leq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ . Los trabajadores desde un principio deben ser informados de los riesgos con respecto a sus ocupaciones. Los límites de esta exposición se aplicaran dependiendo de la frecuencia a la que sea expuesto el cuerpo humano entero. Siendo aproximadamente equivalente a la densidad de potencia (valor mínimo de 1 mW/cm<sup>2</sup> para la exposición ocupacional) de una onda plana incidente, indispensable para producir una tasa de absorción específica (SAR) promedio de un cuerpo entero de 0.4 W/kg. (Mendoza R. & Gómez F., 2013)

### ***1.7.3 Zona de Rebasamiento***

Es la zona donde la exposición a los campos electromagnéticos excede los límites tanto de la zona de exposición ocupacional, como la zona de exposición poblacional; por lo que es necesario en esta zona usar restricciones de acceso a los operarios de la estación y a todas las personas en general, por medio de la señalización adecuada, procedimientos de cierre, etc., la razón de esto es que se encuentra a una distancia muy corta de la antena siendo menor a la de Near Field  $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ , razón por la cual esta es considerada como la zona más peligrosa para la afección en la salud. En el peor de los casos que le tocara a un operario ingresar a la zona de exposición se requerirá tomar medidas de control, tales como (CONATEL, 2009):

- Disminuir la potencia de transmisión mientras el operario se encuentra dentro de la zona de peligro.
- Medir el tiempo de exposición, tal sea que esté dentro del promedio permitido por los límites de exposición.
- La adecuada utilización de prendas de protección para estar dentro de la zona de riesgo.

### ***1.7.4 Señalización de las zonas de exposición***

La señalización adecuada de los ambientes que tiene una mayor cantidad de campos electromagnéticos, ya habiendo sobrepasado los límites de la zona de exposición poblacional, deberían utilizar todo tipo de advertencia que sea fácil de ver y entender por cualquier persona, pudiendo ser carteles grandes, carteles luminosos o a su vez sonoros que adviertan que se están aproximando a una zona con altos niveles de campo de RNI. (CONATEL, 2009)

La señalización de la Figura 1-11.a se utilizara para informar que se está pronto a pasar los niveles de campo de RNI establecidos para la seguridad de las personas (Zonas Ocupacionales). Se ubicaran dentro de toda el área de acceso de esta zona. La señalización de la Figura 1-11.b se

utilizara para informar que está entrando a los niveles de la zona de rebasamiento, los cuales ya superan los niveles permitidos. Se ubicarán sobre los cercos perimetrales y puertas de acceso a estas zonas, al igual que al interior de las mismas. Las características dimensionales de estos indicadores visuales deberán ser completamente visibles para toda persona u operario que se disponga a ingresar a esta zona. (CONATEL, 2009)



**Figura 1-11** Señalización de las zonas de exposición.

Fuente: CONATEL 2009

Las señalizaciones totalmente visibles deberán ser un requisito obligatorio para la instalación de cualquier antena transmisora, sin que tenga importancia el servicio de comunicación que vaya a otorgar, las características dimensionales de los mismos deberán permitir que estos sean totalmente visibles para cualquier ser humano que ingrese dentro del área de la zona de exposición controlada.

## 1.8 Niveles de exposición a radiaciones electromagnéticas

Hay muchas normativas actuales que nos permiten especificar los niveles máximos de exposición a las radiaciones no-ionizantes (RNI), a los que todos los seres humanos son sometidos ya sean o no conscientes de esto, propuestos por organismos científicos internacionalmente reconocidos, como la ICNIRP, entidad totalmente reconocida por la OMS para el estudio de la radiación a nivel mundial. Con la finalidad de mantener un ambiente seguro para la humanidad de dichas radiaciones, ya que pueden llegar a ser altamente perjudiciales para la salud dependiendo de cuan sometido este a los campos electromagnéticos

de los diferentes servicios de comunicación; generando así también un nivel de la SAR en el cuerpo entero de las personas.

Las normativas de exposición a los niveles de CEM, se han establecido de acuerdo a los diferentes estudios biológicos, realizados por la ICNIRP; la OMS, establece que la exposición a niveles inferiores de los CEM no produce ningún tipo de afección sobre la salud. Todos los límites de exposición por parte de la ICNIRP fueron establecidos por efectos inmediatos sobre la salud como la estimulación de los nervios, quemaduras leves por el contacto con objetos conductores, shocks y el incremento en la temperatura de los tejidos que absorbieron energía por haber sido expuesta a los campos electromagnéticos. Las afecciones a largo plazo no fueron tomadas en cuenta por la ICNIRP, la razón de esto es que la información disponible no basta para dar credibilidad a varios investigadores que afirman que si hay afección a la exposición de campos electromagnéticos de baja frecuencia (50 - 60 MHz) que los recomendados por la ICNIRP. (ICNIRP, 2011, p.19)

### **1.8.1 Niveles de exposición a la radiación en las zonas de exposición ocupacional**

Los límites de radiación en las zonas de exposición ocupacionales, serán aplicados en personas que sean conscientes del nivel de radiación al que van a exponerse, para que así se pueden tomar medidas de protección correspondientes al caso. Por la razón de que hay casos en que las personas deban cruzar por esta zona de manera casi obligatoria, se deberá tener la respectiva señalización del caso para que de esta manera sepan que están cerca de una zona con altos niveles de radiación y así se expongan la menor cantidad de tiempo posible, para evitar cualquier tipo de afección a la salud, por esa razón la normativa de la IEEE considera un que el tiempo máximo de exposición a estas radiaciones sea de 6 minutos, dato del cual deben tener conocimiento todos los técnicos que trabajen dentro de esta zona ocupacional. (ICNIRP, 2011, p.20)

Como podemos ver en la Tabla 1-4, están establecidos los niveles de exposición a los campos electromagnéticos por parte de la ICNIRP y la IEEE, es fácil notar que los niveles de exposición máximos no varían notablemente, ya que depende del uso de las frecuencias, de los valores máximos de potencia para cada frecuencia, ayudando a que se normalicen los niveles máximos a los que los transmisores emiten los distintos tipos de servicios de telecomunicaciones, todo esto servirá para que estos organismo evalúen parámetros de calidad para la respectiva región, pudiendo finalmente establecer los niveles de exposición a los CEM. (ICNIRP, 2011, p.20)

**Tabla 1-4** Niveles de exposición para las zonas ocupacional de acuerdo a la ICNIRP

<b>Rango de Frecuencias</b>	<b>Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)</b>	<b>Intensidad de Campo Magnético (A/m)</b>	<b>Densidad de Potencia (W/m<sup>2</sup>)</b>
De 0 a 1 Hz	–	$1.63 \times 10^5$	–
De 1 a 8 Hz	20000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	–
De 8 a 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	–
De 0.025 a 0.82 KHz	$500 / f$	$20 / f$	–
De 0.82 a 65 KHz	610	24.4	–
De 0.065 a 1 MHz	610	$1.6 / f$	–
De 1 a 10 MHz	$610 / f$	$1.6 / f$	–
De 10 a 400 MHz	61	0.16	10
De 400 a 2000 MHz	$3(f^{0.5})$	$0.008(f^{0.5})$	$f/40$
De 2 a 300 GHz	137	0.36	50

Fuente: ICNIRP, 2013, Normativa de exposición a RNI

### 1.8.2 Niveles de exposición a la radiación en las zonas de exposición poblacional

Como podemos ver en la Tabla 1-5, están establecidos los niveles de exposición para la zona de exposición poblacional por parte de la ICNIRP y la IEEE, para el caso de esta zona no se toma en cuenta un tiempo de exposición a los campos electromagnéticos como para la zona ocupacional, por la razón de que la exposición a los mismos es constante. Se puede apreciar que los niveles máximos permitidos para esta zona son mucho más bajos que para la zona ocupacional, esto se debe a que las personas de la zona poblacional no tienen conocimiento del nivel de radiación no-ionizante al que se encuentran expuestos y no podrán optar por medidas de protección. (ICNIRP, 2011, p.21, IEEE, 2009, p.95)

**Tabla 1-5** Niveles de exposición para las zonas poblacionales de acuerdo a la ICNIRP

<b>Rango de Frecuencias</b>	<b>Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)</b>	<b>Intensidad de Campo Magnético (A/m)</b>	<b>Densidad de Potencia (W/m<sup>2</sup>)</b>
De 0 a 1 Hz	–	$3.2 \times 10^4$	–
De 1 a 8 Hz	10000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	–
De 8 a 25 Hz	10000	$4000 / f$	–
De 0.025 a 0.8 KHz	$250 / f$	$4 / f$	–
De 0.8 a 3 KHz	$250 / f$	5	–
De 3 a 150 KHz	87	5	–
De 0.15 a 1 MHz	87	$0.73 / f$	–
De 1 a 10 MHz	$87 / f^{0.5}$	$0.73 / f$	–
De 10 a 400 MHz	28	0.073	2
De 400 a 2000 MHz	$1.375 (f^{0.5})$	$0.0037 (f^{0.5})$	$f / 200$
De 2 a 300 GHz	61	0.16	10

Fuente: ICNIRP, 2013, Normativa de exposición a RNI

### **1.8.3 Niveles referenciales de la Tasa de Absorción Específica (SAR)**

La Tasa de Absorción Específica (SAR), es considerada una parte importante de la dosimetría razón por la cual es ampliamente estudiada cuando las personas son expuestas a cualquier tipo de campo electromagnético, la medición de las SAR nos entrega una medida del nivel de absorción de energía causado por los campos electromagnéticos, radiación presentada como calor del cuerpo, afectando principalmente al sistema biológico y a los tejidos del cuerpo humano. Diciendo así la medida de la SAR estará ligada directamente con la elevación de la temperatura corporal del cuerpo humano, cuando la exposición es superior a los 6 minutos es considerada como una constante temporal de la temperatura del cuerpo humano, en otras palabras la exposición constante en alguna parte del cuerpo humano produciría una lesión térmica en los tejidos del mismo causada por la exposición a los campos electromagnéticos. (ICNIRP, 2011, p.508, IEEE SAR, 2003, p.75)

Todo equipo que trabaje con el espectro radioeléctrico para cualquier tipo de propagación debe cumplir con todas las normas establecidas y cada cierto tiempo someterse a controles para

asegurar el bienestar de las personas alrededor de los mismos, y así lograr que los niveles de radiación y la tasa de absorción específica que se producen a partir de la emisión de los campos electromagnéticos estén dentro de los parámetros normados por la ICNIRP. Razón por la cual se ha establecido que para la zona poblacional debe haber una tasa de absorción específica de 0.08 W/Kg y la SAR pico promedio no superior a 1.6 W/Kg sobre cualquier gramo de tejido; para la zona ocupacional una tasa de absorción específica de 0.4 W/Kg máxima y la SAR pico promedio no superior a 8 W/Kg sobre cualquier gramo de tejido considerando el análisis en todo el cuerpo humano. (ICNIRP, 2011, p.509)

Todo el presente estudio se basa en los estándares fijados por la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No-Ionizantes (ICNIRP), de manera adicional se utiliza los estatutos de la normativa IEEE, que han sido elaborados con el objetivo de proporcionar límites máximos de exposición a los campos electromagnéticos, tratando así de proporcionar protección contra los efectos a la salud causados por la exposición a cualquier tipo de radiación no-ionizante, como podemos ver en la Tabla 1-6. De lo que si debemos estar totalmente conscientes es de que toda esta normativa ha sido establecida sin tomar en cuenta la exposición por largos periodos de tiempo a todo este tipo de radiaciones, ya que de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud esto es suficiente para determinar los niveles máximos de exposición a los campos electromagnéticos, para que no sean causantes de problemas a la salud. Toda esta normativa muestra la relación existente entre los niveles de densidad de corriente y los valores de la tasa de absorción específica, para determinar la misma en la cabeza y el valor promedio de la tasa absorción específica en todo el cuerpo humano sin especificar la masa, la edad o la estatura del cuerpo sometido a las radiaciones no-ionizantes. (ICNIRP, 2011, p.509, IEEE SAR, 2003, p.76)

**Tabla 1-6** Niveles de absorción específica de RNI según la frecuencia

Zona de exposición	Rango de Frecuencias	Límites SAR (W/kg)		
		Densidad de corriente aplicada (mA/m <sup>2</sup> )	SAR media en la cabeza (W/kg)	SAR media en el cuerpo (W/kg)
Zona Ocupacional	De 1 a 100 KHz	$f/100$	--	--
	De 100 KHz a 10 MHz	$f/100$	0,4	10
	De 10 MHz a 10 GHz	--	0,4	10

Zona poblacional	De 1 a 100 KHz	$f/500$	--	--
	De 100 KHz a 10 MHz	$f/500$	0,08	2
	De 10 MHz a 10 GHz	--	0,08	2

Fuente: Fuente: Normativa IEEE SAR, 2003

## 1.9 Normas Internacionales de Radiaciones No-Ionizantes

### 1.9.1 Normativa Nacional (UIT-T K.52)

Todo equipo que trabaje con el espectro radioelctrico para cualquier tipo de propagación debe cumplir con todas las normas establecidas y cada cierto tiempo someterse a controles para asegurar el bienestar de las personas alrededor de los mismos, y así lograr que los niveles de radiación y la tasa de absorción específica que se producen a partir de la emisión de los campos electromagnéticos estén dentro de los parámetros normados por la ICNIRP. Razón por la cual se ha establecido que para la zona poblacional debe haber una tasa de absorción específica de 0.08 W/Kg y la SAR pico promedio no superior a 1.6 W/Kg sobre cualquier gramo de tejido; para la zona ocupacional una tasa de absorción específica de 0.4 W/Kg máxima y la SAR pico promedio no superior a 8 W/Kg sobre cualquier gramo de tejido considerando el análisis en todo el cuerpo humano. (ICNIRP, 2011, p.509)

Esta normativa o recomendación hace referencia al cumplimiento de los límites de exposición a los campos electromagnéticos por parte de las personas dentro del espectro electromagnético desde los 9 KHz – 300 GHz, esta consta de 3 partes principales que son la orientación general de los campos electromagnéticos, el método de cálculo para los niveles adecuados a las diferentes exposiciones de RNI y un procedimiento de evaluación para las instalaciones y equipos que emitan radiación; este procedimiento sirve para determinar el tipo de instalación de telecomunicaciones, todos los riesgos que pueden existir a la exposición para así poder tomar las técnicas de mitigación que sean necesarias para cada caso, teniendo así varios grupos de instalaciones como:

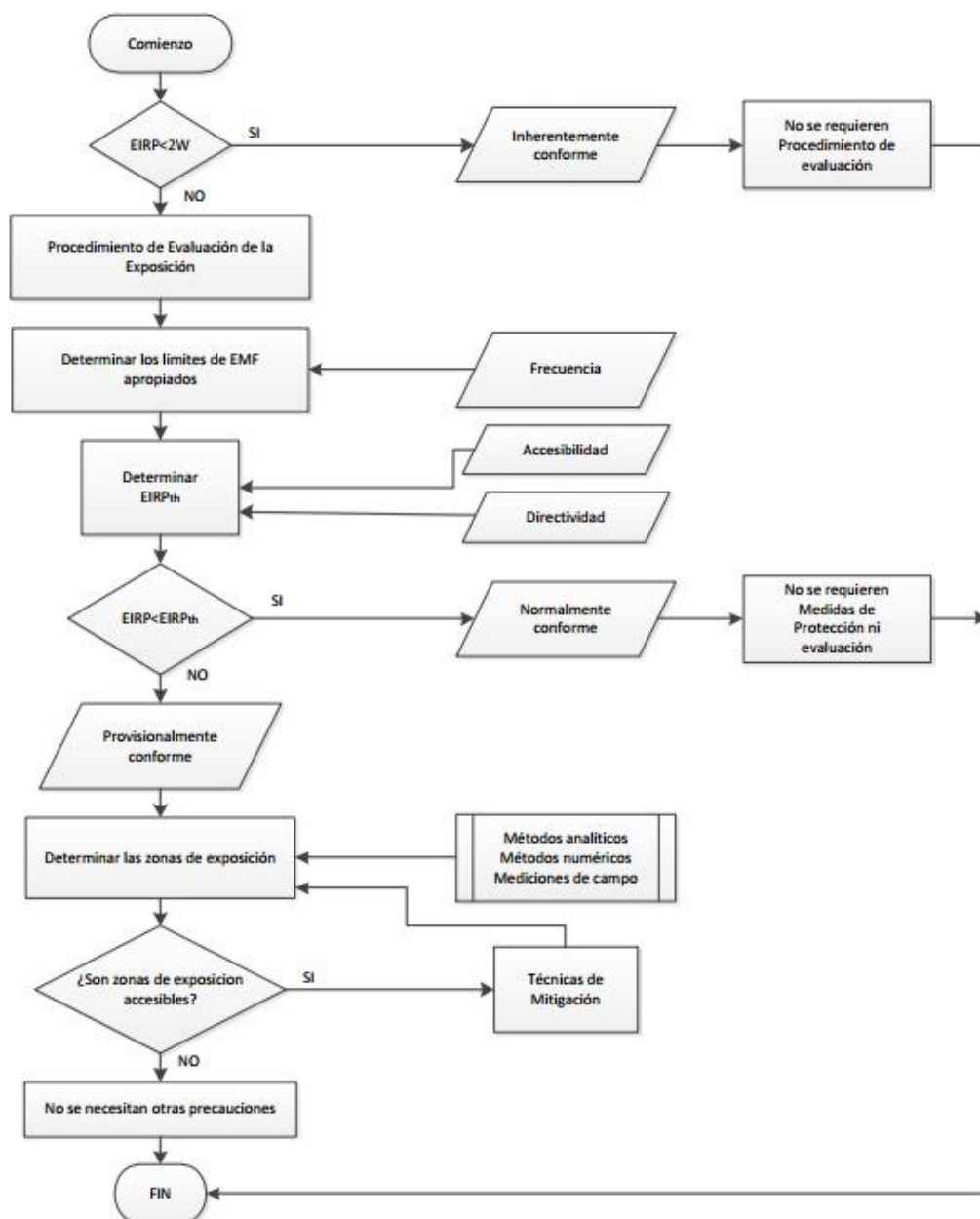
- Inherentemente Conforme: Deben tener una fuente que sea segura y que produzca campos que si cumplan con los límites de exposición de estar a centímetros de la fuente, el requisito principal para este tipo de fuentes es que debe tener una PIRE menor a 2W.
- Normalmente Conforme: Cuando la fuente sobrepasa los límites de exposición, provocando que la zona de rebasamiento no sea accesible para ninguna persona en



condiciones ordinarias, si no que sean accesibles solo para el personal autorizado consciente del riesgo al que se está sometiendo.

- Provisionalmente Conforme: Estas ya son fuentes que necesitan medidas especiales dependiendo el caso para así conseguir la conformidad siendo requerido para esto la evaluación pertinente basada en cálculos.

Para poder determinar en qué grupo recae la instalación es necesario el cálculo de la PIRE para la composición de los parámetros de la antena y la facilidad del ingreso; teniendo así la evaluación de exposición de una sola fuente representado en un diagrama de flujo como se muestra en la Figura 1-12. (ICNIRP UIT-T K.52, 2004)



**Figura 1-12** Diagrama de Flujo de Aplicación.

Fuente: ITU, Comprometida para conectar al mundo

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Equipo de medición y software de apoyo

En la actualidad se ha generado un amplio control sobre los niveles de campos electromagnéticos irradiados por las antenas de los servicios de telecomunicaciones por medio de entidades gubernamentales nacionales y locales, con el objetivo de cerciorarse que estos niveles están dentro de las normativas y reglamentos internacionales como parte primordial de la preservación de la salud de las personas que se encuentren en la zona poblacional y ocupacional respectivamente.

##### 2.2.1 *NARDA SRM-3000*

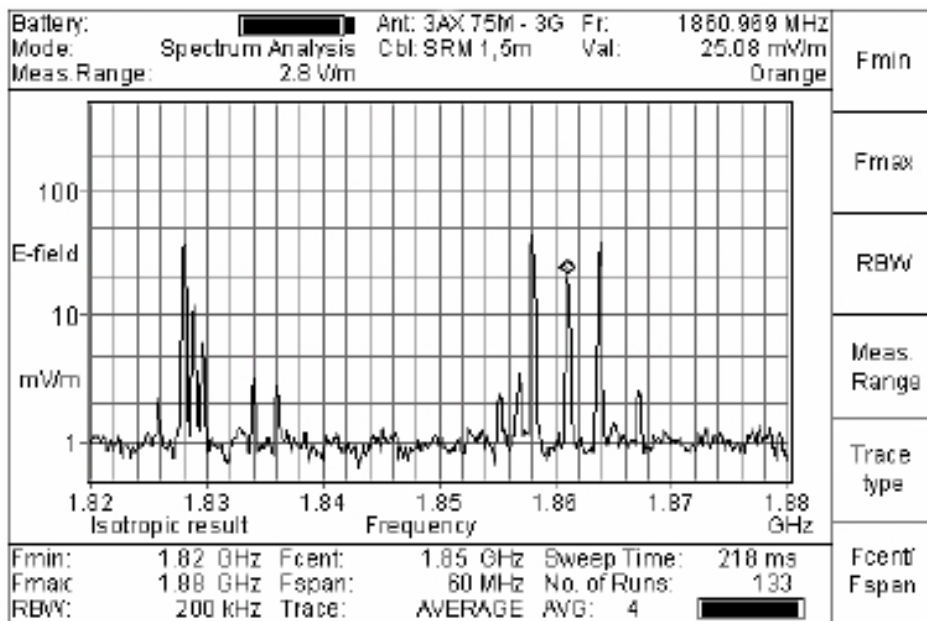
Hoy en día todo el mundo se ve afectado por los campos electromagnéticos que se encuentran a su alrededor generados por los equipos de su diario vivir; razón por la cual hay una mayor investigación de las afecciones en los seres humanos, por este motivo es que existen entidades dedicadas a establecer los valores límites para evitar la exposición excesiva a los campos electromagnéticos.

El NARDA SRM-3000 como se puede ver en la Figura 2-1 es un equipo de medición de frecuencias que se utiliza para la evaluación de los CEM de alta frecuencia, permite ser selectivo con la frecuencia que se desea medir, se manifiesta que se puede escoger entre los distintos servicios de telecomunicaciones que se encuentran dentro del espectro de frecuencias de 100 KHz a 3 GHz, este equipo también cuenta con varias características útiles que ayudan a facilitar este tipo de trabajos que están enfocados en la evaluación de los CEM. Es un equipo diseñado para el trabajo duro; ya que, aguanta cualquier situación meteorológica y es portátil debido a que cuenta con una batería de alta duración; además de permitir la evaluación directa y del almacenamiento de las mediciones que se realizan para ser transferidas a un computador, y así realizar el estudio de acuerdo a las necesidades del usuario. (NARDA STS, 2013, p.2)



**Figura 2-1** NARDA SRM-3000  
**Fuente:** Narda Safety Test Solution, 2013

Este equipo también cuenta con varios modos de operación que permiten la obtención inmediata de resultados, en función de la frecuencia seleccionada de manera dinámica y cada uno con diferentes características que le permiten al usuario tener valores medidos de campos electromagnéticos y de niveles de potencia con sus respectivas unidades, siendo la más utilizada la medición de intensidad de campos electromagnéticos para verificar que se cumpla con los límites de exposición a los mismos. Para el modo de analizador de espectros como se aprecia en la Figura 2-2, permite observar de manera general las diferentes bandas de frecuencia y la intensidad de campo que presenta cada una de ellas. Debido a que este proceso permite establecer el rango de frecuencias; siempre y cuando estén dentro del rango que la antena soporte. (NARDA STS, 2013, p.5)



**Figura 2-2** NARDA SRM-3000 (Analizador de Espectros)  
**Fuente:** Narda Safety Test Solution, 2013

Basándose en el modo de Analizador de Espectro se puede utilizar el modo de Evaluación de Seguridad como se aprecia en la Figura 2-3, que muestra de manera general la intensidad de campo parcial de los servicios que se fijaron con anterioridad de acuerdo al ancho de banda que se evaluara. La visualización de los resultados se obtendrá en términos de A/m, V/m, mW/cm<sup>2</sup>. (NARDA STS, 2013, p.5)

Battery: [REDACTED] Ant: 3AX 75M-3G Funkdienste D				Sel. first service
Mode: Safety Evaluation Cbl: SRM 1,5m				
Meas. Range: 20 % Std: ICNIRP Pub				Sel. last service
Service	Value	Frequency		
UKW	0.02128 %	87.500 MHz to 108.000 MHz		
Band II/DAB	0.01647 %	174.000 MHz to 230.000 MHz		
Band IV/V/DTVB	0.03157 %	470.000 MHz to 790.000 MHz		
GSM 900	0.22253 %	890.000 MHz to 960.000 MHz		
GSM 1800	14.53 %	1710.000 MHz to 1880.000 MHz		
UMTS	0.01499 %	1920.000 MHz to 2170.000 MHz		
Others	0.12204 %			
				Meas. Range
Total	14.96 %	87.500 MHz to 2170.000 MHz		
				Trace type
Isotropic result				
Fmin:	87.5 MHz	Process Time: 1.386 s		
Fmax:	2.17 GHz	No. of Runs: 33		
RBW:	5 MHz(Auto) Trace:	ACT		

**Figura 2-3** NARDA SRM-3000 (Evaluación de Seguridad)  
Fuente: Narda Safety Test Solution, 2013

### 2.1.2 *Sim4Life*

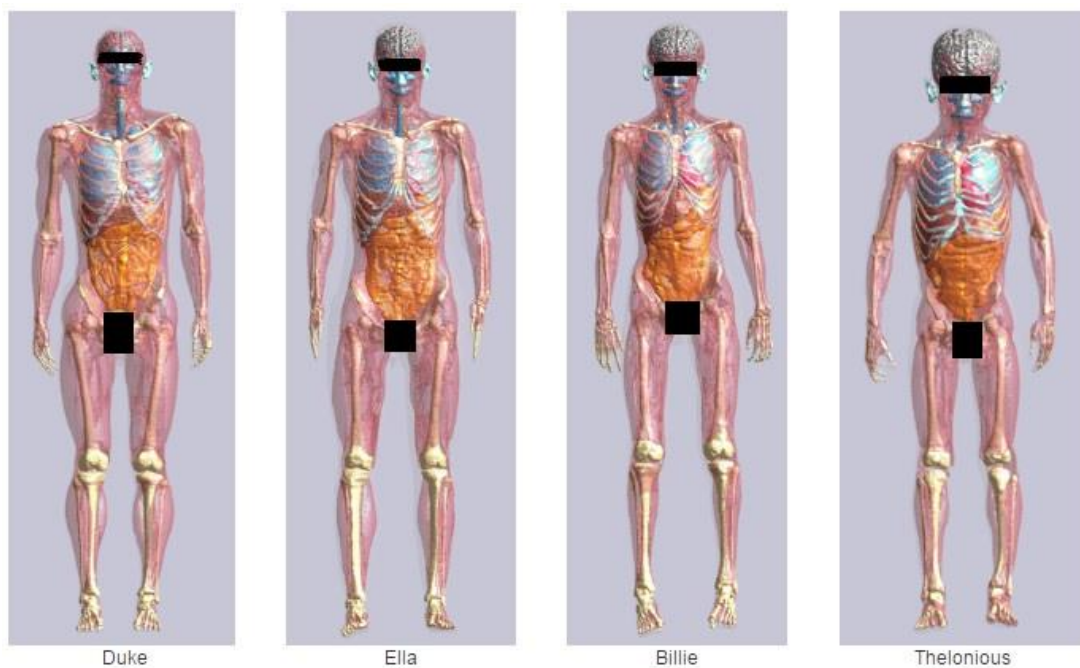
Sim4Life es una plataforma de simulación que controla varios modelos humanos computables con una gran capacidad de solución física y modelamiento de tejidos avanzados, para analizar de manera directa los fenómenos del mundo biológico real, complejos dispositivos técnicos en un entorno biológico y anatómico válido. Ofrece un alto rendimiento en todas las características esperadas de una plataforma multi física CAE/TCAD (Plataforma educativa de Tecnología de Diseño Asistido por Ordenador), teniendo como una de sus funciones principales la simulación de la SAR en diversas frecuencias. (Zúrich Medtech, 2015)

### 2.1.3 *MATLAB*

MATLAB es un lenguaje de programación de alto nivel y entorno interactivo utilizado por millones de ingenieros y científicos de todo el mundo, tiene la capacidad de realizar tareas como el análisis y procesamiento de señales, imágenes, sistemas de comunicaciones, sistemas de control y finanzas computacionales. (Grant, Boyd et al. 2008)

### 2.1.4 Virtual Family V3.0

Virtual Family V3.0 es un archivo de tipo CAD desarrollado por la fundación ITIS ubicada en Zúrich Suiza; que tiene como objetivo principal el mejorar la vida de todos los seres humanos. Para poder cumplir con esto, se realizan estudios en el campo biomédico de la exposición electromagnética. Virtual Family V3.0 como se aprecia en la Figura 2-4 está formado por un grupo de 4 archivos CAD de nombres Duke, Ella, Billie y Thelonious, optimizados para el modelamiento biomédico para así realizar una evaluación de la salud humana. Cada uno de estos modelos simula el cuerpo humano con todos los órganos y tejidos representados en 22 grupos con alta resolución en cada modelo CAD. (ITIS Foundation, 2015)



**Figura 2-4** Duke, Ella, Billie Thelonious, Virtual Family V3.0

Fuente: ITIS Foundation, 2015, <https://www.itis.ethz.ch/services/anatomical-models-v1/>

La particularidad de estos modelos es que vienen precargadas las propiedades eléctricas de cada uno de los grupos, principalmente la permitividad y la conductividad eléctrica. Cada una de estas características depende de la edad, el género, la estatura y el peso; como se muestra en la Tabla 2-1.

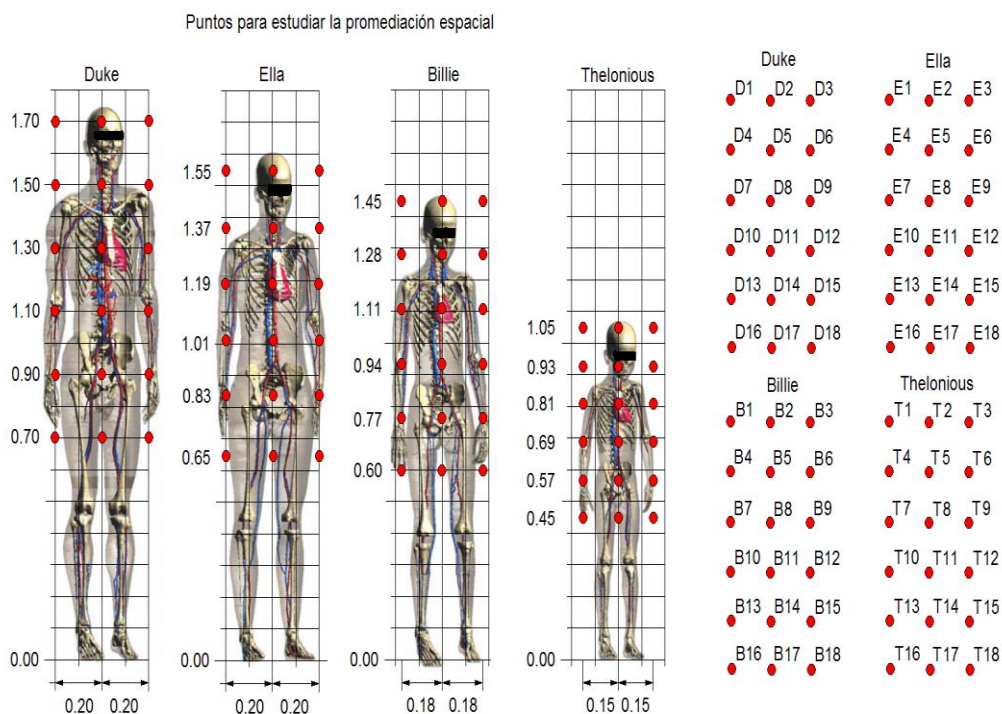
**Tabla 2-1** Características de los modelos de Virtual Family V3.0

Nombre	Genero	Edad	Estatura (m)	Peso (Kg)	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]
Duk	Masculino	34	1.77	70.3	22.4

Ella	Femenino	26	1.63	57.3	21.5
Billie	Femenino	11	1.49	34.0	15.4
Thelonious	Masculino	6	1.15	18.6	14.1

Fuente: ITIS Foundation, 2015, <http://www.itis.ethz.ch/virtual-population/vpopulation-cvip-vip/vip2/>

Mediante Virtual Family V3.0 se puede realizar las mediciones de intensidad de campo eléctrico; tomando en cuenta las condiciones espaciales sobre cada uno de ellos, de esta manera se podrá evaluar la intensidad de campo eléctrico con el equipo de medición respectivo. Para lo cual, se debe tener en consideración los puntos de interés ubicados en distintas posiciones y alturas con referencia al nivel del suelo; como se aprecia en la Figura 2-5, que han sido definidos para cada modelo. (ITIS Foundation, 2015)



**Figura 2-5** Puntos para las mediciones espaciales en Virtual Family V3.0

Fuente: ITIS Foundation, 2015, <http://www.itis.ethz.ch/virtual-population/virtual-population-cvip-vip/vip2/>

En este trabajo de titulación se busca comprobar los niveles de la SAR producidos por los campos eléctricos de los diferentes servicios de telecomunicaciones, como son: radio, televisión y estaciones base de celulares. Para esto se utiliza el equipo NARDA SRM-3000, y para realizar el análisis de todos estos datos se utiliza el software Sim4Life, que permite simular los efectos de las mediciones de campo eléctrico. (ITIS Foundation, 2015)

## **2.2 Procedimiento para las mediciones y el análisis de las RNI espaciales**

### **2.2.1 Procedimiento para las mediciones de las RNI espaciales**

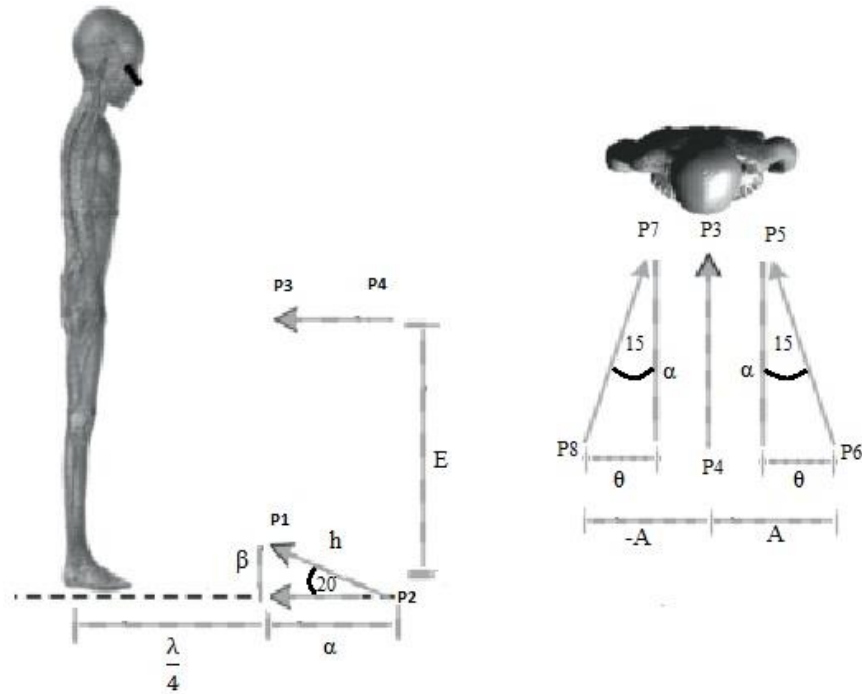
La medición de los campos electromagnéticos en condiciones espaciales se realizó en 10 distintos escenarios cercanos a las antenas dentro de la ciudad de Riobamba y se utilizó los puntos de importancia definidos para cada modelo de Virtual Family V3.0. Para esto se definió el siguiente procedimiento:

1. Identificar los 10 escenarios cercanos a las antenas dentro de la ciudad de Riobamba y ubicarlos en el mapa con su respectiva ubicación, utilizando un GPS.
2. En cada uno de los 10 escenarios se utilizó el equipo NARDA SRM-3000 para medir la intensidad de campo eléctrico en cada uno de los puntos de importancia de cada uno de los modelos, tomando en cuenta las alturas con referencia al nivel del suelo.
3. Encender el equipo NARDA SRM-3000 y configurar las respectivas condiciones de medición para el campo eléctrico y en la banda de frecuencia de 76 MHz a 2.6 GHz.
4. Tomar las mediciones con un intervalo de 6 minutos para cada uno de los 18 puntos del respectivo modelo.
5. Tomar apunte de cada medición realizada con su respectivo valor de campo eléctrico y código asignado por el equipo NARDA SRM-3000.

### **2.2.2 Procedimiento para el análisis de las RNI espaciales**

Una vez que se tienen todos los datos medidos de cada uno de los modelos de Virtual Family V3.0 en cada uno de los 10 escenarios, se procede a obtener el valor máximo del campo eléctrico máximo medido y el valor promedio aritmético del campo eléctrico promedio medido de cada uno de los escenarios. Para así llegar a un escenario genérico de los diferentes modelos Duke, Ella, Billie y Thelonious del campo eléctrico máximo y del campo eléctrico promedio.

Con el escenario genérico generado de cada uno de los modelos, se procede a obtener el valor máximo, mínimo, promedio y desviación estándar del campo eléctrico máximo y del campo eléctrico promedio. Al tener los valores del escenario genérico, se procede a simular en el software Sim4Life para obtener el valor de la SAR en el cuerpo humano; teniendo en cuenta la onda incidente, onda reflejada y las dos ondas parasitas en cada uno de los modelos a una distancia de  $\frac{\lambda}{4}$  para así poder obtener los puntos para cada uno de los modelos en los ejes x, y, z como se muestra en la Figura 2-5.



**Figura 2-6** Análisis de las RNI espaciales

Fuente: Realizado por el autor

Al tener clara la idea de cómo se realiza el análisis para las RNI espaciales, se procede a realizar los cálculos respectivos para cada uno de los puntos mostrados en la Figura 2-4; tomando en cuenta que el valor de E es la media de la estatura y la A es la mitad del ancho del cuerpo de cada uno de los modelos:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3e8}{1381e6} = 0.22 \text{ m} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{0.22}{4} = 0.06 \text{ m} = \quad \text{Ecuación 2-2}$$

$$\beta = h \text{ Sen } (20) = (40 \text{ mm}) \text{ Sen } (20) = 13.68 \text{ mm} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

$$\alpha = h \text{ Cos } (20) = (40 \text{ mm}) \text{ Cos } (20) = 37.59 \text{ mm} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

$$\text{Tg } (15) = \frac{\theta}{\alpha} \Rightarrow \theta = \alpha \text{ Tg } (15) = (37.59 \text{ mm}) \text{ Tg } (15) = 10.07 \text{ mm} \quad \text{Ecuación 2-5}$$

Con los cálculos respectivos realizados; planteamos las coordenadas para cada uno de los puntos en milímetros, dependiendo el modelo de Virtual Family V3.0 tanto para Duke, Ella, Billie y Thelonious cómo se ve en la Tabla 2-2.



**Tabla 2-2** Coordenadas para cada modelo de Virtual Family V3.0

<b>Puntos (x;y;z)</b>	<b>DUKE</b>	<b>ELLA</b>	<b>BILLIE</b>	<b>THELONIOUS</b>
P1 ( $\frac{\lambda}{4}; 0; \beta$ )	(60; 0; 13.68)	(60; 0; 13.68)	(60; 0; 13.68)	(60; 0; 13.68)
P2 ( $\frac{\lambda}{4} + \alpha; 0; 0$ )	(97.59; 0; 0)	(97.59; 0; 0)	(97.59; 0; 0)	(97.59; 0; 0)
P3 ( $\frac{\lambda}{4}; 0; E$ )	(60; 0; 885)	(60; 0; 815)	(60; 0; 745)	(60; 0; 580)
P4 ( $\frac{\lambda}{4} + \alpha; 0; E$ )	(97.59; 0; 885)	(97.59; 0; 815)	(97.59; 0; 745)	(97.59; 0; 580)
P5 ( $\frac{\lambda}{4}; (A-\theta); E$ )	(60; 189.93; 885)	(60; 189.93; 815)	(60; 169.93; 745)	(60; 139.93; 580)
P6 ( $\frac{\lambda}{4} + \alpha; A; E$ )	(97.59; 200; 885)	(97.59; 200; 815)	(97.59; 180; 745)	(97.59; 150; 580)
P7 ( $\frac{\lambda}{4}; -(A-\theta); E$ )	(60; -189.93; 885)	(60; -189.93; 815)	(60; -169.93; 745)	(60; -139.93; 580)
P8 ( $\frac{\lambda}{4} + \alpha; -A; E$ )	(97.59; -200; 885)	(97.59; -200; 815)	(97.59; -180; 745)	(97.59; -150; 580)

Fuente: Realizado por el autor

Con las respectivas coordenadas de cada punto calculados se procede a ingresar estos datos en el simulador Sim4Life para proceder a simular la SAR para el cuerpo entero en cada uno de los modelos de Virtual Family V3.0, para el campo eléctrico máximo y el campo eléctrico promedio.

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Medición y Procesamiento de RNI espacial

##### 3.1.1 Medición de RNI espacial

El proceso de las mediciones de las RNI espaciales se realiza en 10 diferentes escenarios cercanos a las antenas dentro de la ciudad de Riobamba, todos estos escenarios fueron escogidos debido a que cumplen con las características necesarias para realizar las mediciones de campo eléctrico máximo y campo eléctrico promedio. En la Tabla 3-1 se muestra la información detallada de cada una de ellos, como la latitud y longitud obtenidos mediante un GPS; así como también la dirección de cada uno de estos.

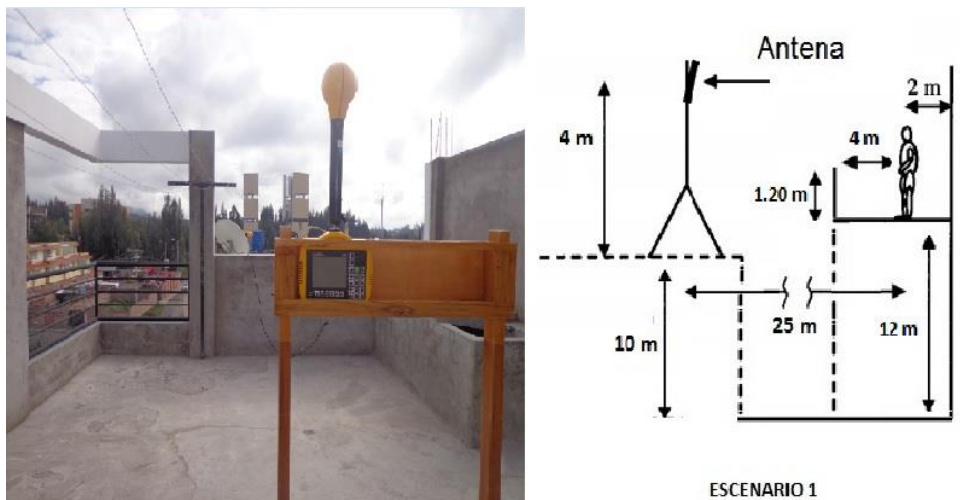
**Tabla 3-1** Información de los escenarios de medición en Riobamba

<b>Nº Escenario</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
1	Cdla. Las Acacias. Casa del Ing. José Luis Serrano	1°38'26.8"S	78°40'28.6"O
2	Cdla. Las Acacias.	1°38'25.6"S	78°40'28.2"O
3	Cdla. Las Acacias. Calle Río Quevedo	1°38'25.6"S	78°40'32.5"O
4	Cdla. Las Acacias. Casa del Ing. José Luis Serrano	1°38'28.1"S	78°40'28.4"O
5	García Moreno entre Boyacá y Esmeraldas	1°40'30.4"S	78°39'16.7"O
6	Panamericana Sur Km 11/2, frente gasolinera ESPOCH	1°39'42.6"S	78°40'33.5"O
7	Panamericana Sur Km 11/2. Frente-Estación CNT, junto gasolinera ESPOCH	1°39'41.7"S	78°40'33.6"O
8	Avenida Gonzalo Dávalos y Brasil	1°39'49.2"S	78°39'49.2"O
9	Brasil entre Gonzalo Dávalos y Junín	1°38'26.8"S	78°40'28.6"O
10	García Moreno entre Boyacá y Esmeraldas	1°40'30.6"S	78°39'16.5"O

Fuente: Realizado por el Autor

El NARDA SRM-3000 debe ser configurado dentro del espectro de frecuencia de 76 MHz a 2.6 GHz; ya que dentro de este ancho de banda se encuentran los servicios de telecomunicaciones radio, televisión y telefonía celular que aportan al campo eléctrico total para así poder obtener la SAR. Para dicho proceso de medición se utiliza un soporte de madera que simula cada uno de los modelos de Virtual Family V3.0 con sus 18 puntos respectivos que fueron detallados con anterioridad en la Figura 2-4.

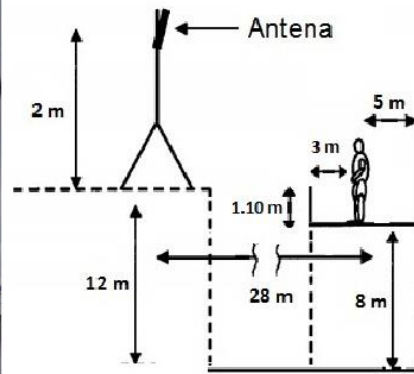
Para este estudio también se debe tomar en cuenta las características de cada escenario; que tienen distintas condiciones cercanas a las antenas de los diferentes servicios de telecomunicaciones. Las características a tener en cuenta son: la distancia a la que se encuentre de la antena, la altura al nivel del suelo de la persona que recibe los campos eléctricos y si la persona recibe los campos eléctricos de manera incidente y/o reflejada, como se muestra en las Figuras 3-1, 3-2, 3-3, 3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8, 3-9 y 3-10.



**Figura 3-1** Características del Escenario 1  
Fuente: Realizado por el autor



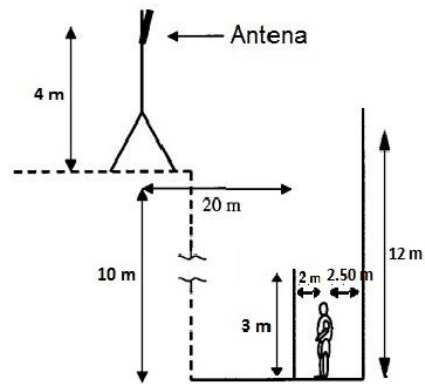
**Figura 3-2** Características del Escenario 2  
Fuente: Realizado por el autor



ESCENARIO 3

Figura 3-3 Características del Escenario 3

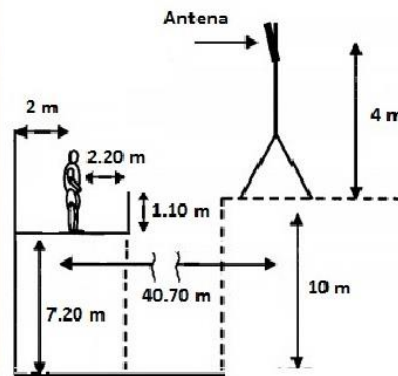
Fuente: Realizado por el autor



ESCENARIO 4

Figura 3-4 Características del Escenario 4

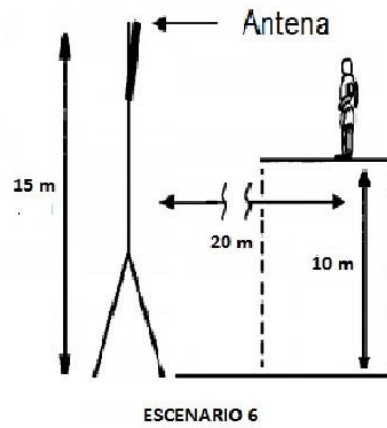
Fuente: Realizado por el autor



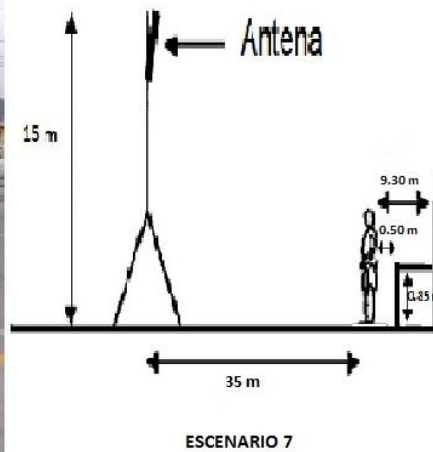
ESCENARIO 5

Figura 3-5 Características del Escenario 5

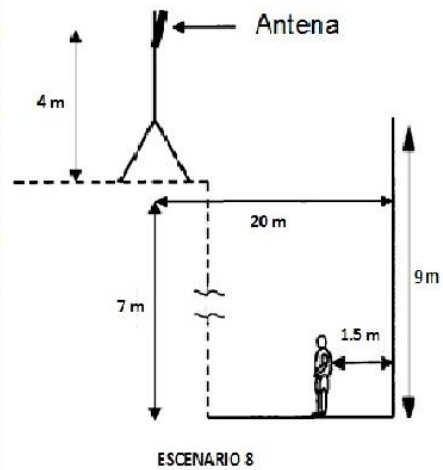
Fuente: Realizado por el autor



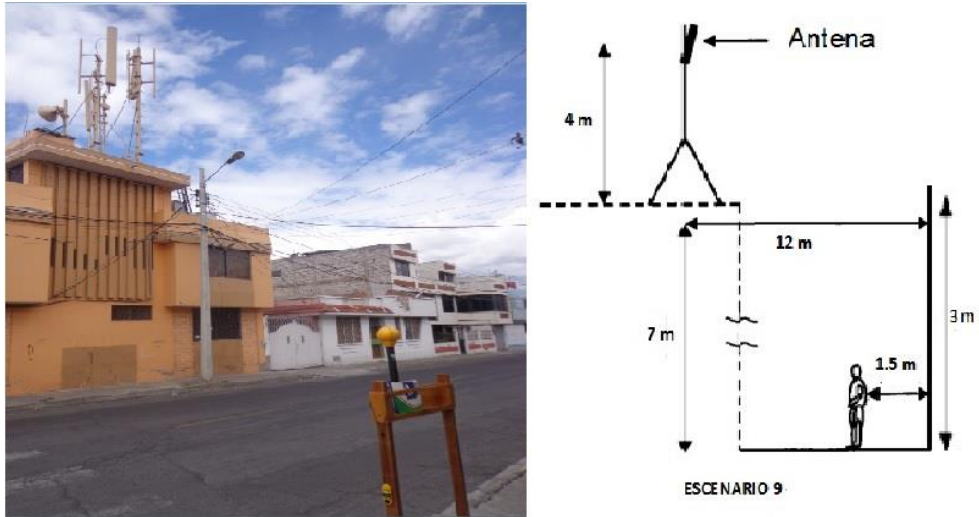
**Figura 3-6** Características del Escenario 6  
Fuente: Realizado por el autor



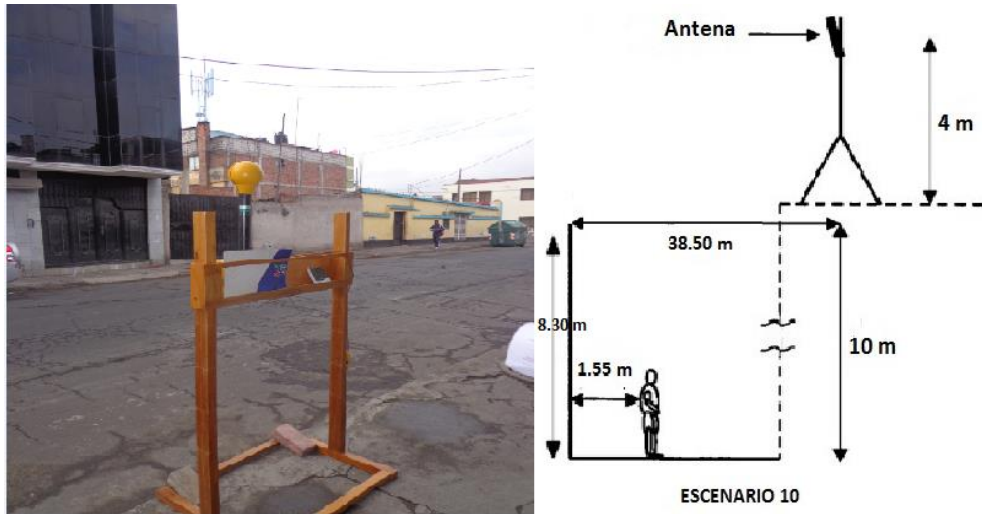
**Figura 3-7** Características del Escenario 7  
Fuente: Realizado por el autor



**Figura 3-8** Características del Escenario 8  
Fuente: Realizado por el autor



**Figura 3-9** Características del Escenario 9  
Fuente: Realizado por el autor



**Figura 3-10** Características del Escenario 10  
Fuente: Realizado por el autor

De igual manera la medición para cada uno de los 18 puntos se debe realizar con un intervalo de 6 minutos, tanto para el campo eléctrico máximo y para el campo eléctrico promedio. Este proceso será repetitivo para cada uno de los 10 escenarios, valores que podemos apreciar en las Tablas 3-2, 3-3, 3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8, 3-9, 3-10 y 3-11. En estas tablas está contenida la información necesaria para definir el escenario genérico para cada uno de los modelos, para así poder simular las SAR en el software Sim4Life.

**Tabla 3-2** Medición de RNI espacial para el escenario 1

Puntos	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	
	Campo Eléctrico Máximo	Campo Eléctrico Promedio

	Duke	Ella	Billie	Thelonio us	Duke	Ella	Billie	Thelonio us
P1	9,884	11,570	11,300	7,839	6,086	7,725	8,680	6,155
P2	9,231	9,095	11,210	8,338	6,374	5,375	6,230	7,054
P3	14,130	12,710	12,870	8,372	11,370	8,273	7,720	7,089
P4	10,240	7,104	9,280	7,238	6,906	6,603	8,520	5,873
P5	9,348	5,988	10,190	7,182	5,687	6,497	7,920	5,065
P6	10,470	7,338	16,000	6,431	9,896	6,442	8,890	4,672
P7	7,263	10,050	9,204	6,147	6,336	4,874	8,437	4,715
P8	7,186	8,880	9,528	5,508	4,739	4,497	7,931	3,610
P9	7,514	6,869	9,973	4,941	5,579	5,189	8,020	4,071
P10	9,643	6,062	7,309	4,993	4,193	4,476	6,254	3,731
P11	5,260	5,962	7,101	5,285	5,375	4,916	6,023	3,506
P12	5,768	6,940	7,090	4,470	4,847	4,233	4,814	3,066
P13	4,250	5,958	6,259	4,179	3,283	3,805	4,889	3,125
P14	4,752	4,783	5,802	4,231	3,698	4,414	4,427	3,279
P15	4,925	4,544	5,229	3,763	3,623	3,059	3,486	2,610
P16	3,612	3,614	5,129	4,275	2,646	2,568	3,470	3,354
P17	4,462	5,137	5,079	3,737	2,946	3,322	3,625	2,676
P18	3,180	3,975	3,971	3,207	2,588	2,625	2,643	2,584

Fuente: Realizado por el autor

**Tabla 3-3** Medición de RNI espacial para el escenario 2

Puntos	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)							
	Campo Eléctrico Máximo				Campo Eléctrico Promedio			
	Duke	Ella	Billie	Thelonio us	Duke	Ella	Billie	Thelonio us
P1	1,488	1,643	1,644	1,247	0,897	0,961	1,215	0,893
P2	2,049	1,344	1,737	1,273	1,312	0,798	1,167	0,806
P3	1,740	1,325	1,616	1,337	1,110	0,793	1,617	0,794
P4	1,658	1,384	1,404	1,799	0,954	0,882	0,756	1,059
P5	1,764	1,257	1,372	1,890	0,950	0,847	0,847	1,351
P6	1,489	1,261	1,685	1,842	0,933	0,831	0,906	1,055
P7	1,513	1,659	1,602	1,491	0,958	0,939	1,101	0,960
P8	1,313	1,402	1,604	1,211	0,837	0,918	1,214	0,857
P9	1,247	1,332	1,299	1,354	0,887	0,765	0,988	0,809
P10	1,401	1,359	2,008	2,254	1,077	0,957	1,206	1,158
P11	1,372	1,429	2,056	1,861	0,912	0,835	1,086	1,200
P12	1,383	1,684	1,845	2,112	1,035	0,939	1,048	1,450
P13	1,439	1,672	1,520	1,661	0,961	0,935	0,846	1,268
P14	1,591	1,331	1,537	1,494	0,832	0,999	0,937	0,874
P15	1,272	1,198	1,650	1,372	0,866	0,768	1,091	0,894
P16	1,538	1,421	1,372	1,900	0,884	0,852	0,810	1,233

P17	1,508	1,626	1,295	1,881	1,005	0,887	0,844	1,205
P18	1,743	1,660	1,397	1,938	1,066	1,054	0,873	1,102

Fuente: Realizado por el autor

**Tabla 3-4** Medición de RNI espacial para el escenario 3

Puntos	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)							
	Campo Eléctrico Máximo				Campo Eléctrico Promedio			
	Duke	Ella	Billie	Thelonius	Duke	Ella	Billie	Thelonius
P1	3,237	2,586	2,399	1,861	1,215	2,056	1,327	1,203
P2	2,427	2,277	2,567	2,113	1,293	1,820	1,482	1,254
P3	2,253	2,468	2,627	2,767	1,174	1,159	1,776	1,569
P4	2,966	2,216	2,197	1,508	1,371	1,230	1,661	1,016
P5	2,356	2,350	2,630	1,995	1,290	1,231	1,503	1,264
P6	2,281	1,947	2,946	2,724	1,235	1,285	1,978	1,168
P7	2,316	1,968	2,024	1,649	1,433	1,195	1,331	1,101
P8	2,317	2,720	2,557	2,018	1,395	1,282	1,016	1,561
P9	2,088	2,295	2,876	2,191	1,093	1,628	2,196	1,162
P10	1,970	1,742	1,593	1,546	1,007	1,914	1,425	0,864
P11	2,371	2,109	2,299	1,857	0,996	1,693	1,746	0,973
P12	2,362	2,155	2,368	2,130	1,236	2,174	1,865	1,297
P13	1,812	1,576	1,849	1,395	0,873	0,904	1,210	0,866
P14	2,205	2,543	1,965	1,536	1,446	0,977	1,342	1,218
P15	1,703	2,294	2,182	1,997	0,889	1,026	0,973	1,322
P16	1,404	1,690	1,829	1,352	0,852	0,830	0,749	0,931
P17	1,333	1,644	1,334	1,499	0,662	0,774	0,818	0,871
P18	1,309	1,322	1,843	1,718	0,792	0,753	1,073	1,136

Fuente: Realizado por el autor

**Tabla 3-5** Medición de RNI espacial para el escenario 4

Puntos	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)							
	Campo Eléctrico Máximo				Campo Eléctrico Promedio			
	Duke	Ella	Billie	Thelonius	Duke	Ella	Billie	Thelonius
P1	1,388	1,133	1,501	1,306	0,947	1,474	0,989	0,837
P2	1,714	1,114	1,697	1,261	2,253	1,755	1,129	0,886
P3	1,618	1,091	1,674	1,271	1,030	1,683	0,913	0,930
P4	1,524	1,242	1,622	1,407	1,015	1,854	0,947	0,954
P5	1,580	1,020	1,504	1,216	1,183	1,750	0,935	0,891
P6	1,705	0,977	1,370	1,271	1,121	1,468	0,921	0,980
P7	1,659	0,702	1,217	1,418	1,212	1,203	0,738	0,927
P8	1,773	0,955	1,358	1,319	1,026	1,284	0,825	0,924
P9	1,520	0,868	1,291	1,382	1,305	1,180	0,784	0,860



P10	1,233	1,049	1,444	1,436	0,920	1,321	0,870	0,944
P11	1,321	0,950	1,322	1,465	0,852	1,432	0,727	0,915
P12	1,240	1,055	1,369	1,509	0,854	1,490	0,763	0,832
P13	1,266	0,957	1,406	1,488	0,921	1,399	0,933	0,962
P14	1,355	0,866	1,483	1,240	0,825	1,405	0,919	0,793
P15	1,459	0,948	1,428	1,373	0,946	1,682	0,810	0,683
P16	1,541	1,073	1,571	1,191	1,136	1,409	1,106	0,903
P17	1,493	0,968	1,278	1,114	1,027	1,460	0,920	0,755
P18	1,469	0,877	1,293	1,184	1,032	1,450	0,774	0,975

Fuente: Realizado por el autor

**Tabla 3-6** Medición de RNI espacial para el escenario 5

Puntos	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)							
	Campo Eléctrico Máximo				Campo Eléctrico Promedio			
	Duke	Ella	Billie	Thelonius	Duke	Ella	Billie	Thelonius
P1	5,526	5,821	6,287	5,733	3,726	4,752	3,620	3,951
P2	5,150	5,259	4,649	4,557	3,372	3,092	2,759	2,933
P3	5,286	6,903	6,716	4,101	3,364	4,808	4,013	3,732
P4	6,169	5,982	6,261	4,387	3,709	3,357	4,505	2,470
P5	4,468	6,654	6,347	4,990	3,697	5,274	4,744	3,168
P6	6,380	7,191	6,488	4,775	4,766	6,145	4,634	3,272
P7	6,202	5,775	5,160	3,032	3,331	3,052	4,383	2,621
P8	6,791	6,172	5,240	4,179	3,937	4,953	3,456	2,412
P9	6,607	6,081	5,863	4,254	5,432	4,540	3,305	2,657
P10	5,398	4,171	3,952	3,491	5,040	3,128	2,332	2,692
P11	5,468	5,009	5,433	3,733	5,038	2,897	3,155	2,323
P12	5,384	5,043	4,906	4,073	5,227	3,042	3,155	3,150
P13	3,014	3,332	3,983	3,863	3,434	1,800	2,316	2,463
P14	3,782	3,985	4,282	2,570	3,747	2,736	3,244	1,969
P15	4,279	4,043	4,189	3,156	4,600	3,139	3,980	2,338
P16	3,301	2,572	3,192	3,539	2,425	1,764	1,742	1,929
P17	3,776	3,861	2,992	2,611	2,489	2,484	2,455	2,092
P18	4,793	3,644	3,770	2,570	2,651	2,752	2,294	1,581

Fuente: Realizado por el autor

**Tabla 3-7** Medición de RNI espacial para el escenario 6

Puntos	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)							
	Campo Eléctrico Máximo				Campo Eléctrico Promedio			
	Duke	Ella	Billie	Thelonius	Duke	Ella	Billie	Thelonius
P1	5,929	6,678	5,865	5,662	4,162	4,242	4,515	4,526
P2	6,253	6,610	6,063	6,684	4,314	4,191	4,576	5,269
P3	6,278	6,287	5,463	6,849	4,890	4,056	4,319	5,703

P4	6,505	6,483	5,852	6,384	4,925	4,057	4,512	5,388
P5	6,375	6,079	4,686	7,202	4,794	4,496	3,681	5,835
P6	5,989	5,487	5,283	7,182	4,661	4,018	4,435	4,663
P7	6,190	6,323	5,436	6,338	5,020	3,304	4,079	4,943
P8	5,559	5,780	6,803	6,672	4,327	3,224	5,187	5,111
P9	6,184	6,324	7,034	6,351	4,582	4,122	5,121	4,052
P10	5,815	6,691	6,311	6,047	4,089	3,985	4,735	3,784
P11	6,311	7,053	7,188	5,247	4,715	4,425	5,243	3,147
P12	6,536	7,690	6,988	4,854	4,362	4,158	5,121	3,636
P13	5,769	5,953	6,439	5,480	4,955	4,626	4,065	2,988
P14	6,959	7,361	6,732	3,883	5,718	6,005	4,838	2,500
P15	6,737	7,781	6,401	5,060	5,556	5,064	4,550	3,857
P16	5,579	6,377	5,820	6,509	4,927	5,161	4,397	4,876
P17	5,817	4,486	3,497	5,804	4,451	3,256	2,462	3,146
P18	6,204	5,932	5,306	6,786	3,697	3,826	4,090	4,939

Fuente: Realizado por el autor

**Tabla 3-8** Medición de RNI espacial para el escenario 7

Puntos	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)							
	Campo Eléctrico Máximo				Campo Eléctrico Promedio			
	Duke	Ella	Billie	Thelonius	Duke	Ella	Billie	Thelonius
P1	2,636	2,471	2,047	1,781	1,307	1,384	1,058	0,831
P2	1,786	1,650	2,621	1,332	1,354	1,324	0,999	0,686
P3	2,514	2,274	1,981	1,190	1,395	1,555	1,443	0,715
P4	2,182	1,788	2,057	1,315	1,712	1,679	1,120	0,862
P5	2,400	2,052	1,405	1,276	1,424	1,254	0,769	0,730
P6	3,030	2,080	1,588	1,305	1,745	1,383	1,269	0,740
P7	2,719	1,745	1,411	1,371	1,226	1,061	0,907	0,718
P8	7,382	1,828	1,190	2,412	1,282	0,887	0,673	0,727
P9	2,062	1,578	1,409	1,204	1,331	1,112	1,612	0,914
P10	1,805	1,557	1,449	1,268	1,038	0,926	0,956	0,780
P11	2,872	1,327	1,457	1,361	1,028	0,806	0,809	0,838
P12	1,612	1,279	1,452	1,318	1,135	0,789	0,812	0,807
P13	2,410	1,442	1,434	1,174	1,026	0,849	0,894	0,673
P14	1,606	1,386	1,316	1,091	0,991	0,802	0,889	0,648
P15	1,747	1,487	1,432	0,939	0,950	0,907	0,771	0,732
P16	1,216	1,143	1,452	1,409	1,139	0,792	0,659	0,617
P17	1,918	1,357	1,140	1,172	0,979	1,092	0,670	0,737
P18	1,493	1,326	1,129	1,479	0,905	0,870	0,612	0,766

Fuente: Realizado por el autor

**Tabla 3-9** Medición de RNI espacial para el escenario 8

Puntos	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)							
	Campo Eléctrico Máximo				Campo Eléctrico Promedio			
	Duke	Ella	Billie	Thelonius	Duke	Ella	Billie	Thelonius
P1	1,227	1,237	1,498	3,114	0,692	0,718	1,074	0,851
P2	1,018	1,532	1,459	1,247	0,546	0,861	0,714	0,640
P3	0,867	1,110	1,328	1,090	0,533	0,557	0,958	0,931
P4	1,462	0,952	1,672	1,122	1,747	0,557	0,713	0,853
P5	1,463	1,205	1,255	0,993	0,759	0,627	0,516	0,794
P6	1,274	1,016	1,391	0,968	0,576	0,847	0,779	0,757
P7	0,992	1,537	1,453	1,128	0,434	0,671	1,110	0,597
P8	1,088	1,654	1,574	1,267	0,677	1,005	0,958	0,788
P9	2,608	1,277	1,170	1,155	0,615	1,238	1,173	0,564
P10	1,575	1,032	1,008	1,412	1,177	0,527	0,526	0,794
P11	1,354	1,386	0,983	1,466	1,076	0,559	0,595	0,753
P12	1,450	1,147	1,088	1,398	1,020	0,627	0,428	0,846
P13	0,952	1,200	1,129	0,941	0,516	0,595	0,653	0,564
P14	0,957	1,066	1,065	1,370	0,616	0,451	0,812	0,689
P15	0,951	1,092	1,481	1,376	0,567	0,526	0,697	0,790
P16	1,470	1,229	1,216	1,461	0,997	0,778	0,871	0,940
P17	2,064	1,473	1,922	1,545	0,872	0,985	0,900	1,068
P18	1,291	1,678	1,616	1,304	0,958	0,664	1,097	0,958

Fuente: Realizado por el autor

**Tabla 3-10** Medición de RNI espacial para el escenario 9

Puntos	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)							
	Campo Eléctrico Máximo				Campo Eléctrico Promedio			
	Duke	Ella	Billie	Thelonius	Duke	Ella	Billie	Thelonius
P1	0,838	0,775	0,753	1,030	0,608	0,662	0,558	0,603
P2	0,990	1,334	0,902	0,834	0,755	0,471	0,451	0,630
P3	0,933	1,341	1,146	0,743	0,682	0,567	0,585	0,503
P4	0,703	1,131	1,028	0,992	0,502	0,702	0,627	0,591
P5	0,732	0,797	0,797	0,949	0,536	0,566	0,549	0,707
P6	0,839	1,734	0,937	0,784	0,583	0,599	0,648	0,481
P7	1,090	1,247	1,123	0,822	0,737	0,733	0,745	0,438
P8	4,497	0,103	0,997	0,811	0,448	0,560	0,539	0,391
P9	0,732	0,117	1,042	0,646	0,424	0,599	0,634	0,420
P10	1,986	0,856	0,870	0,795	0,558	0,663	0,603	0,636
P11	0,983	0,825	2,485	0,851	0,554	0,577	0,586	0,604
P12	1,574	0,785	0,777	0,630	0,790	0,414	0,600	0,409
P13	0,943	0,791	0,714	0,734	0,636	0,744	0,543	0,524

P14	1,117	0,944	0,945	0,835	0,830	0,575	0,443	0,496
P15	1,089	0,865	0,674	5,436	0,686	0,518	0,575	0,454
P16	0,896	1,084	0,776	0,733	0,674	0,899	0,558	0,543
P17	2,016	1,089	0,986	0,811	0,769	0,637	0,703	0,490
P18	1,464	2,272	4,036	0,774	0,569	0,591	0,581	0,529

Fuente: Realizado por el autor

**Tabla 3-11** Medición de RNI espacial para el escenario 10

Puntos	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)							
	Campo Eléctrico Máximo				Campo Eléctrico Promedio			
	Duke	Ella	Billie	Thelonius	Duke	Ella	Billie	Thelonius
P1	0,936	1,172	1,251	1,204	0,669	1,579	0,666	0,821
P2	1,174	0,973	2,256	1,459	0,847	1,383	0,564	0,803
P3	1,123	0,864	0,974	1,576	0,671	1,390	0,547	1,075
P4	1,179	1,093	0,792	1,444	0,721	1,472	0,591	1,041
P5	1,147	1,205	0,826	1,270	0,762	1,480	0,648	0,959
P6	0,994	0,915	1,004	1,522	0,581	1,394	0,498	1,049
P7	0,938	1,245	1,333	1,342	0,585	1,441	0,899	0,875
P8	1,241	1,125	1,273	1,172	0,684	1,577	1,038	0,928
P9	1,030	0,695	1,142	1,251	0,934	1,297	0,758	0,798
P10	1,514	0,912	1,300	0,787	1,201	1,518	0,950	0,581
P11	1,229	0,920	1,470	0,912	0,871	1,380	0,791	0,629
P12	1,232	0,991	1,522	1,040	0,793	1,079	1,067	0,716
P13	1,310	0,885	1,030	1,141	0,845	0,984	0,681	1,008
P14	1,526	0,700	0,976	1,298	1,063	1,065	0,652	0,954
P15	1,459	0,892	0,951	1,545	0,763	1,188	0,490	1,232
P16	1,193	0,639	2,005	1,345	0,761	1,423	0,714	1,138
P17	1,310	1,027	1,297	1,245	0,895	1,491	0,695	1,040
P18	1,129	0,895	1,446	1,524	0,896	1,300	1,071	1,001

Fuente: Realizado por el autor

Con los resultados anteriormente presentados en lo referente a las mediciones de campo eléctrico en los 10 escenarios, se puede determinar que muchos de los escenarios están dentro del rango estipulado por las normativas planteadas por la ICNIRP; pero de igual manera en uno que otro los valores medidos están un poco altos, lo cual es un poco preocupante ya que a largo plazo esto puede tener afecciones en la salud de las personas que están en los alrededores.

### 3.1.2 *Procesamiento de la medición de RNI espacial*

Para poder realizar el procesamiento de los datos, en primera instancia se debe obtener el escenario genérico para cada uno de los modelos de Virtual Family V3.0. La simulación de la SAR se realiza

para el cuerpo entero de Duke, Ella, Billie y Thelonious con los valores de este escenario genérico, con lo que se obtendrá los valores: máximo, mínimo, promedio y desviación estándar del campo eléctrico máximo y campo eléctrico promedio, como se puede ver en las Tablas 3-12, 3-13, 3-14 y 3-15.

**Tabla 3-12** Escenario genérico para el modelo Duke

Intensidad de Campo (V/m)		Valores obtenidos del escenario genérico para el modelo Duke		
E Máximo	E Promedio			
14,125	5,824	<b>Valores</b>	<b>E Máximo</b>	<b>E Promedio</b>
2,049	0,968	<b>Máximo</b>	5,101	2,114
3,237	1,167	<b>Mínimo</b>	1,577	0,649
1,773	1,046	<b>Promedio</b>	6,293	2,790
6,791	3,906	<b>Desv. Estándar</b>	3,885	1,919
6,966	4,683			
7,384	1,236			
2,608	0,832			
4,497	0,649			
1,577	0,829			

Fuente: Realizado por el autor

**Tabla 3-13** Escenario genérico para el modelo Ella

Intensidad de Campo (V/m)		Valores obtenidos del escenario genérico para el modelo Ella		
E Máximo	E Promedio			
12,709	5,149	<b>Valores</b>	<b>E Máximo</b>	<b>E Promedio</b>
1,684	0,894	<b>Máximo</b>	4,137	2,047
2,720	1,415	<b>Mínimo</b>	1,205	0,592
1,205	1,496	<b>Promedio</b>	5,490	2,598
7,191	3,736	<b>Desv. Estándar</b>	3,805	1,686
7,690	4,345			
2,471	1,120			
1,678	0,761			
2,447	0,592			
1,577	0,966			

Fuente: Realizado por el autor

**Tabla 3-14** Escenario genérico para el modelo Billie

Intensidad de Campo (V/m)		Valores obtenidos del escenario genérico para el modelo Billie		
E Máximo	E Promedio			
12,874	6,592	<b>Valores</b>	<b>E Máximo</b>	<b>E Promedio</b>
2,056	1,004	<b>Máximo</b>	4,416	2,103
2,946	1,460	<b>Mínimo</b>	1,783	0,588
1,783	0,886	<b>Promedio</b>	5,563	2,868
6,716	3,429	<b>Desv. Estándar</b>	3,568	2,055
7,188	4,540			
2,628	0,941			
1,922	0,825			
4,036	0,588			
2,005	0,766			

Fuente: Realizado por el autor

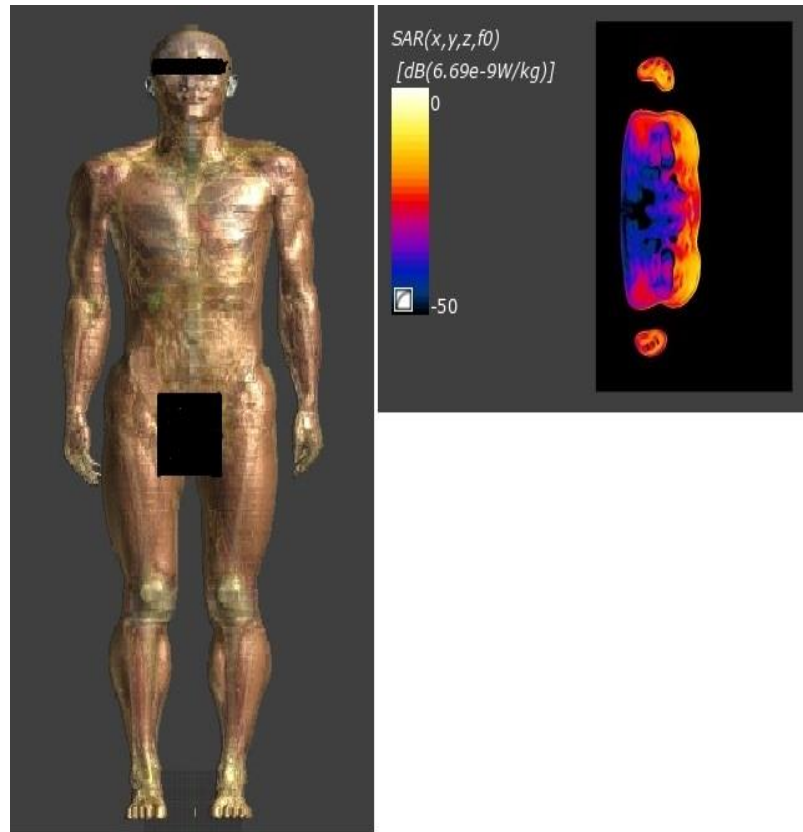
**Tabla 3-15** Escenario genérico para el modelo Thelonious

Intensidad de Campo (V/m)		Valores obtenidos del escenario genérico para el modelo Thelonious		
E Máximo	E Promedio			
8,383	4,455	<b>Valores</b>	<b>E Máximo</b>	<b>E Promedio</b>
2,254	1,041	<b>Máximo</b>	4,039	1,766
2,767	1,167	<b>Mínimo</b>	1,509	0,533
1,509	0,874	<b>Promedio</b>	4,665	2,283
5,733	2,732	<b>Desv. Estándar</b>	2,460	1,525
7,202	4,390			
2,412	0,748			
3,114	0,789			
5,436	0,533			
1,576	0,936			

Fuente: Realizado por el autor

Para el procesamiento de los valores del escenario genérico de cada modelo se hará uso del Sim4Life que trabaja con los modelos de Virtual Family V3.0, este permite simular los valores de campo eléctrico máximo y campo eléctrico promedio de los escenarios genéricos que fueron obtenidos de las

mediciones espaciales de RNI, de esta manera se obtendrá el valor de la SAR para el cuerpo humano entero en nivel de potencia, como podemos ver en la Figura 3-11.



**Figura 3-11** Ejemplo de Simulación de la SAR en Sim4Life, modelo Duke  
Fuente: Realizado por el autor

Los resultados de las simulación del valor máximo y promedio de la SAR esta dado en W/kg, con los cuales se han realizado las simulaciones para cada uno de los modelos de Virtual Family V3.0 Duke, Ella, Billie y Thelonious para la promediación espacial. Estos resultados se muestran en la Tabla 3-16 donde se observa el valor de la SAR para el cuerpo entero para el campo eléctrico máximo y promedio de cada modelo.

**Tabla 3-16** Simulación de la SAR en Virtual Family V3.0

Modelo	SAR Simulada de las Intensidades de Campo Eléctrico (W/Kg)			
	Máximo		Promedio	
	Campo Eléctrico	SAR	Campo Eléctrico	SAR
<b>DUKE</b>	5,101	$6,685 \times 10^{-9}$	2,790	$3,6564 \times 10^{-9}$
<b>ELLA</b>	4,137	$2,806 \times 10^{-9}$	2,598	$1,762 \times 10^{-9}$
<b>BILLIE</b>	4,416	$7.395 \times 10^{-9}$	2,868	$4,803 \times 10^{-9}$
<b>THELONIOUS</b>	4,039	$8,7246 \times 10^{-9}$	2,283	$4,957 \times 10^{-9}$

Fuente: Realizado por el autor

Los resultados mostrados en la Tabla 3-16 serán utilizados para desarrollar el modelo computacional que permite realizar el cálculo de la SAR para cada uno de los modelos, dependiendo únicamente del valor de la intensidad de campo eléctrico, logrando optimizar el proceso de evaluación de dicho parámetro.

### **3.2 Modelo Computacional para obtener la SAR**

El modelo computacional se realiza utilizando los resultados obtenidos anteriormente, considerando las Tablas 3-2, 3-3, 3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8, 3-9, 3-10, 3-11, 3-12, 3-13, 3-14 y 3-15 que son los valores que se relacionan para la simulación de la SAR en el Sim4Life para la exposición espacial. Este modelo busca facilitar el cálculo de la SAR para el cuerpo entero para cualquier valor de intensidad de campo eléctrico que se tenga.

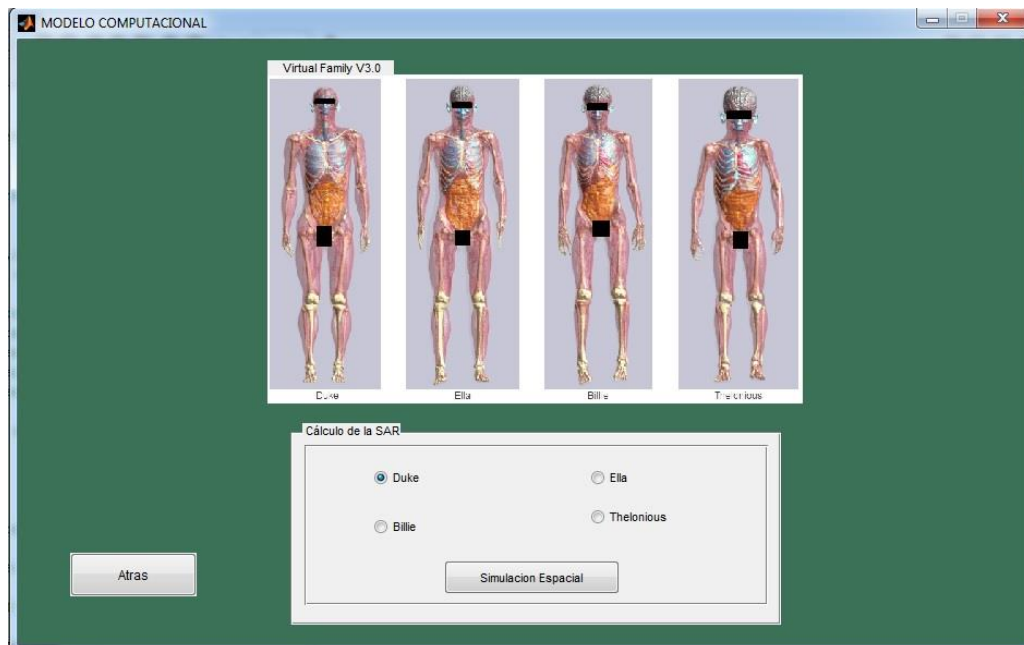
Este modelo también facilita la obtención del escenario genérico para cualquier modelo, combinando el uso de la GUI de MATLAB con Excel para el ingreso y el procesamiento de los datos obtenidos en las mediciones de cada escenario, MATLAB fue escogido por la gran versatilidad y manejo de ecuaciones que este presenta sin tener que instalar herramientas extras para el manejo de las mismas.

#### **3.2.1 *Modelo computacional para la obtención de la SAR con RNI espacial***

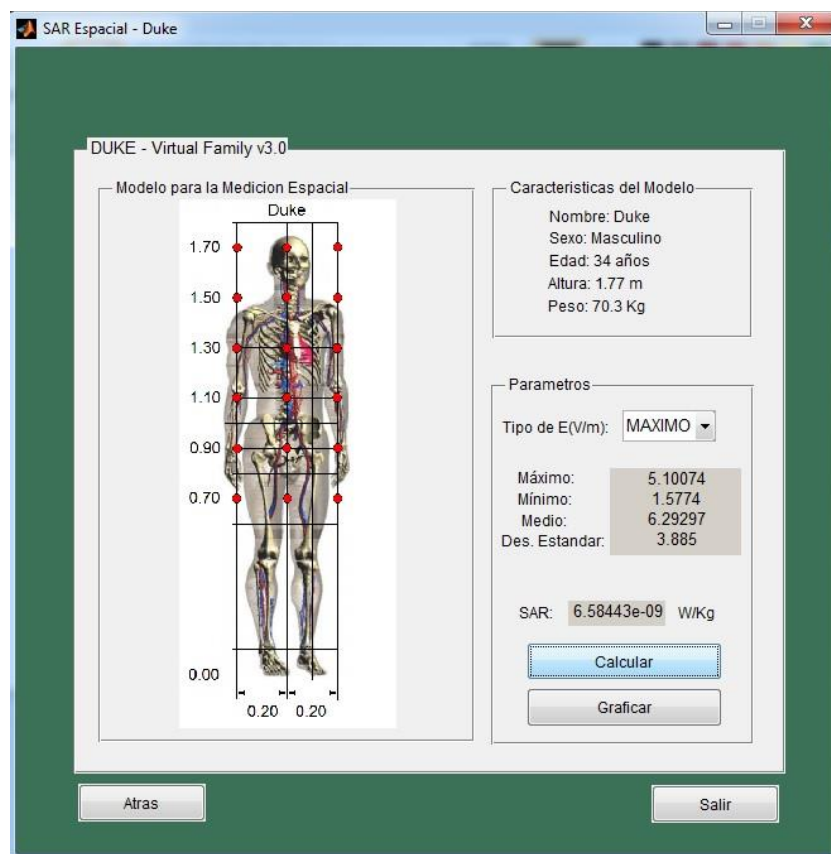
Con la función y la base de datos desarrollada para el cálculo de la SAR se optimiza considerablemente el modelo computacional; ya que el proceso matemático se centraliza en una función, razón por la que el modelo consiste en una interfaz gráfica elaborada en el GUI de MATLAB, que permite al usuario obtener la SAR en condiciones de exposición espacial para cualquiera de los modelos de Virtual Family V3.0, como se aprecia en la Figura 3-12.

El modelo computacional tiene cuatro opciones una por cada modelo de Virtual Family V3.0, como se puede ver en las Figuras 3-13, 3-14, 3-15 y 3-16, para cada modelo se desplegará una ventana con la imagen del modelo seleccionado, la información del modelo y con un panel que muestra los resultados del cálculo de la SAR en exposición espacial para el campo eléctrico máximo y campo eléctrico promedio además de los valores: máximo, mínimo, promedio y desviación estándar del escenario genérico.

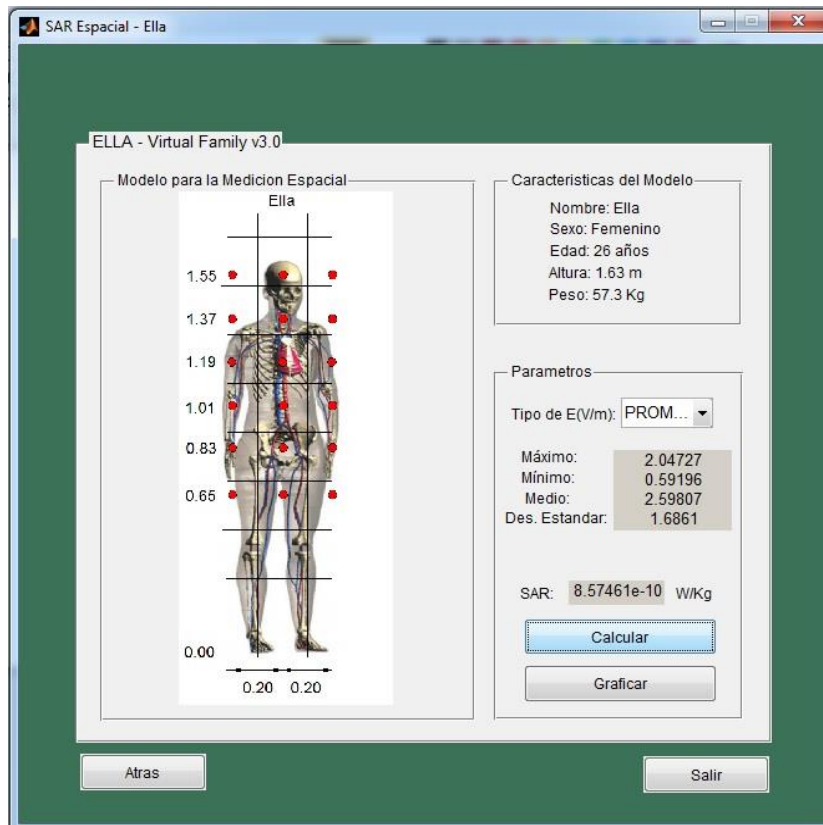




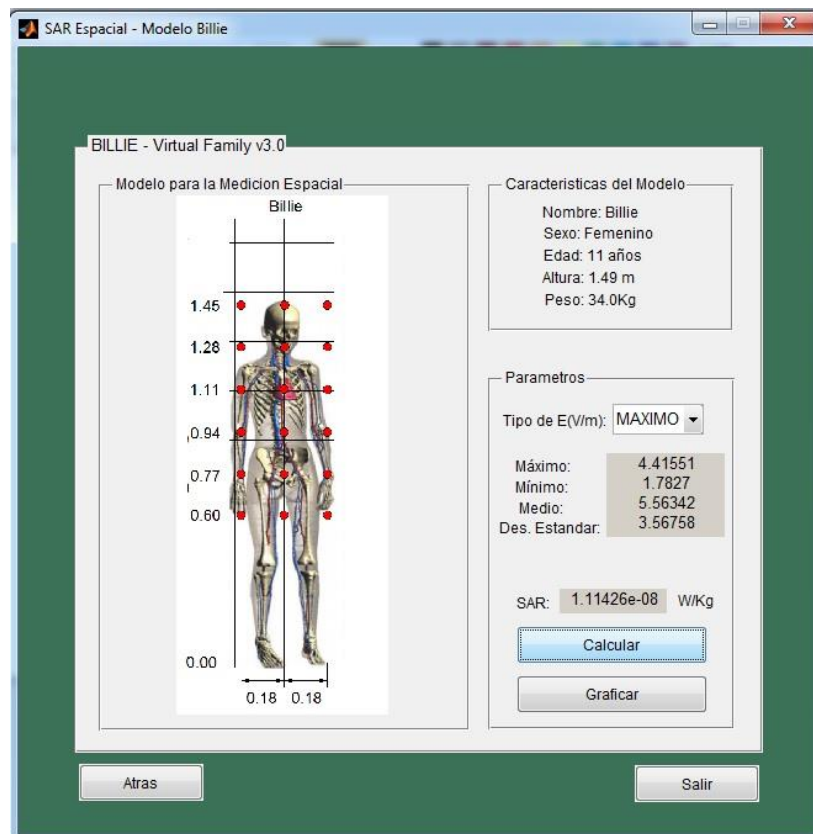
**Figura 3-12** Pantalla para el cálculo de la SAR del modelo computacional  
**Fuente:** Realizado por el autor



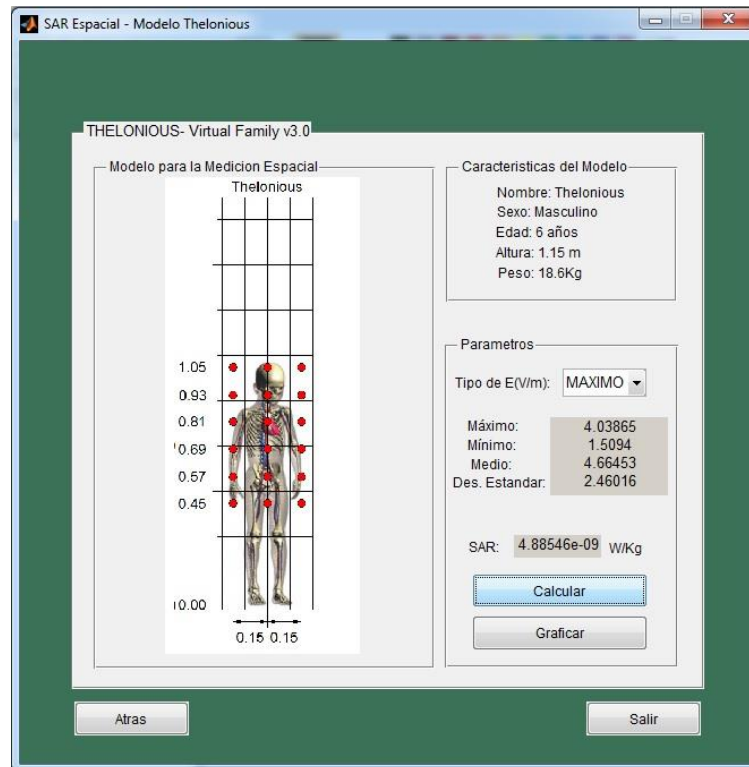
**Figura 3-13** Modelo computacional para el cálculo de la SAR, Duke  
**Fuente:** Realizado por el autor



**Figura 3-14** Modelo computacional para el cálculo de la SAR, Ella  
Fuente: Realizado por el autor



**Figura 3-15** Modelo computacional para el cálculo de la SAR, Billie  
Fuente: Realizado por el autor

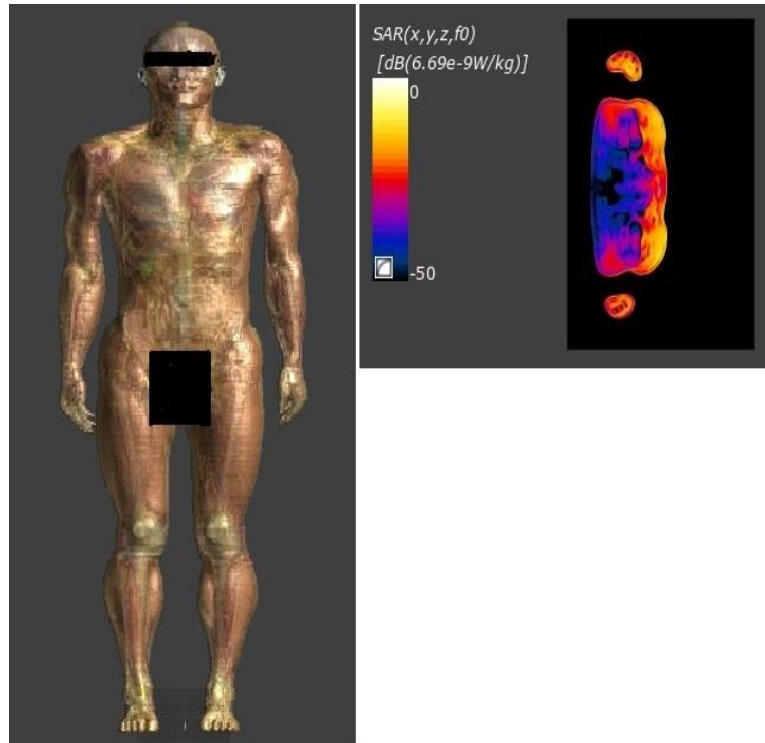


**Figura 3-16** Modelo computacional para el cálculo de la SAR, Thelonious  
**Fuente:** Realizado por el autor

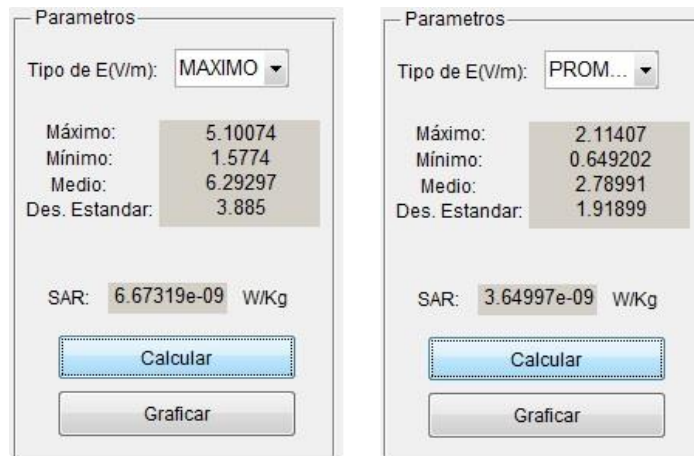
### 3.2.2 Evaluación del Modelo computacional para RNI espacial

#### 3.2.2.1 Modelo computacional para RNI espacial, Duke

Para verificar la validez del modelo computacional para el modelo Duke bajo exposición espacial se usara el valor de campo eléctrico máximo de 5.101 V/m y campo eléctrico promedio 2.790 V/m, al analizar este modelo para el cálculo de la SAR en el cuerpo entero se puede observar la simulación en el Sim4Life en la Figura 3-17; mientras que el cálculo de la SAR en el modelo computacional se puede ver en la Figura 3-18.



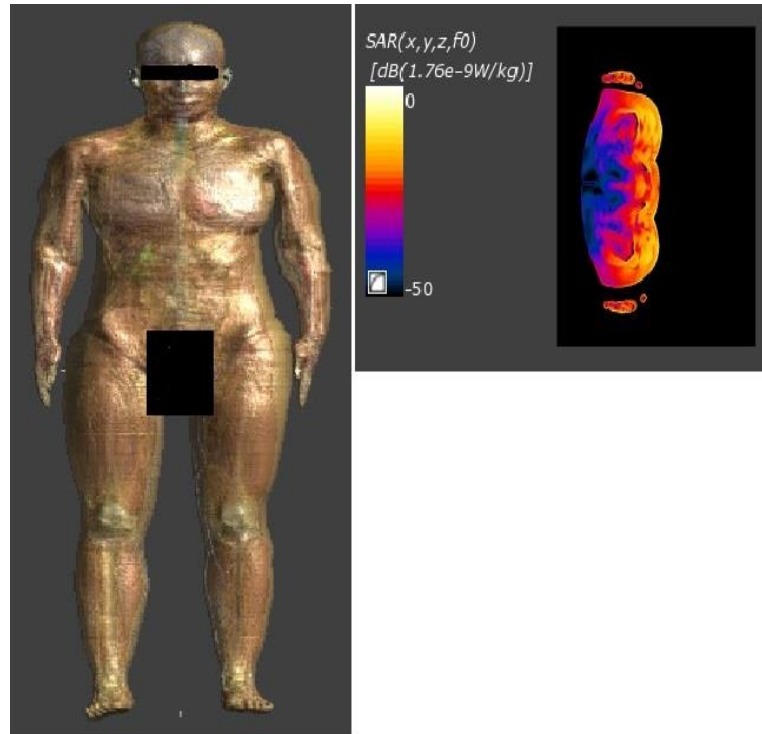
**Figura 3-17** Simulación de la SAR en el Sim4Life, Duke  
Fuente: Realizado por el autor



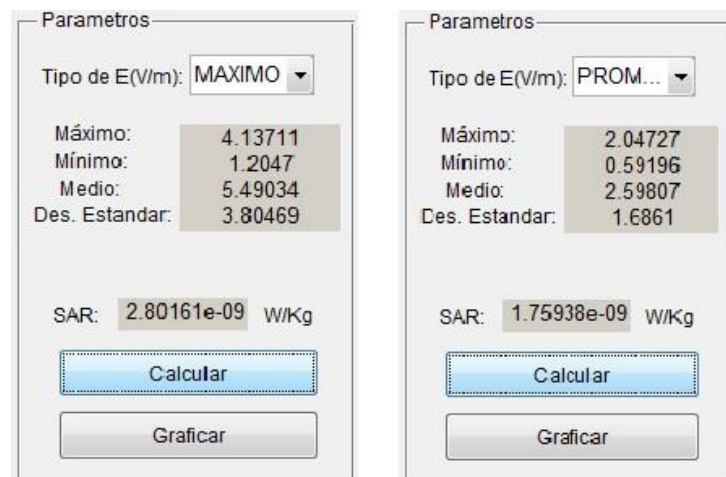
**Figura 3-18** Cálculo de la SAR en el modelo computacional, Duke  
Fuente: Realizado por el autor

### 3.2.2.2 Modelo computacional para RNI espacial, Ella

Para verificar la validez del modelo computacional para el modelo Ella bajo exposición espacial se usará el valor de campo eléctrico máximo de 4.137 V/m y campo eléctrico promedio 2.598 V/m, al analizar este modelo para el cálculo de la SAR en el cuerpo entero se puede observar la simulación en el Sim4Life en la Figura 3-19; mientras que el cálculo de la SAR en el modelo computacional se puede ver en la Figura 3-20.



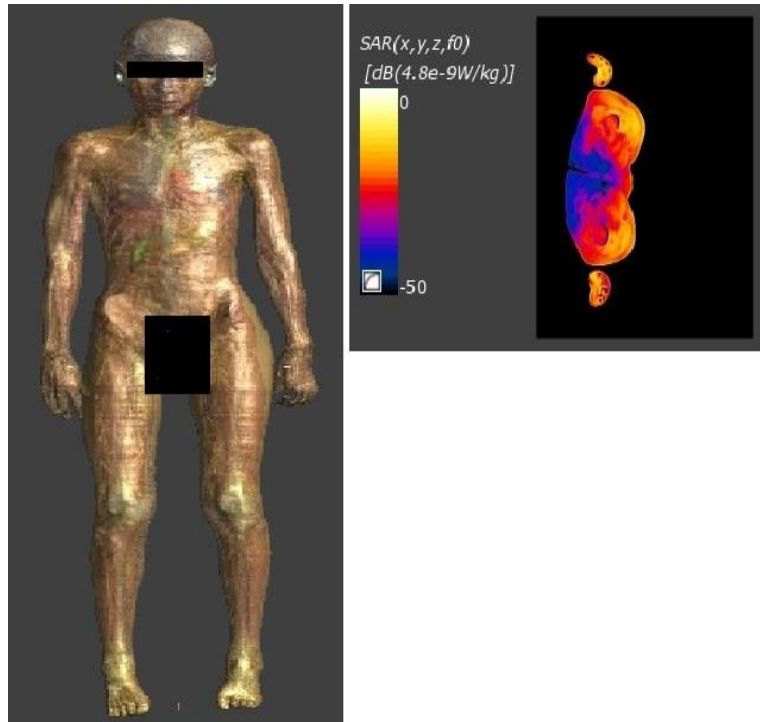
**Figura 3-19** Simulación de la SAR en el Sim4Life, Ella  
**Fuente:** Realizado por el autor



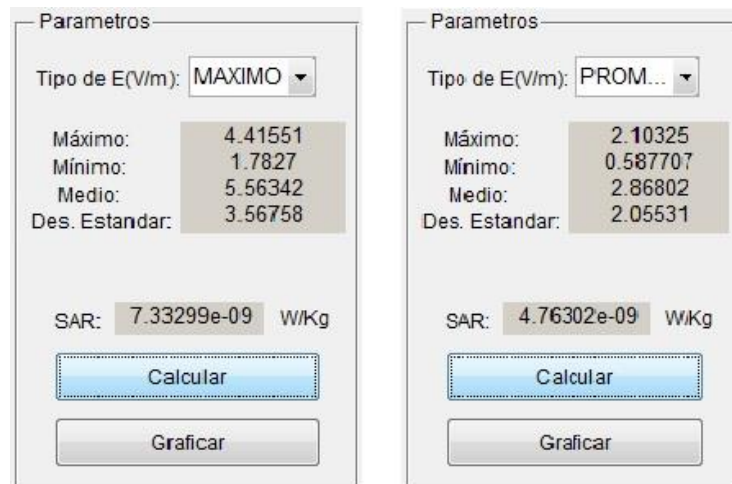
**Figura 3-20** Cálculo de la SAR en el modelo computacional, Ella  
**Fuente:** Realizado por el autor

### 3.2.2.3 Modelo computacional para RNI espacial, Billie

Para verificar la validez del modelo computacional para el modelo Billie bajo exposición espacial se usará el valor de campo eléctrico máximo de 4.416 V/m y campo eléctrico promedio 2.868 V/m, al analizar este modelo para el cálculo de la SAR en el cuerpo entero se puede observar la simulación en el Sim4Life en la Figura 3-21; mientras que el cálculo de la SAR en el modelo computacional se puede ver en la Figura 3-22.



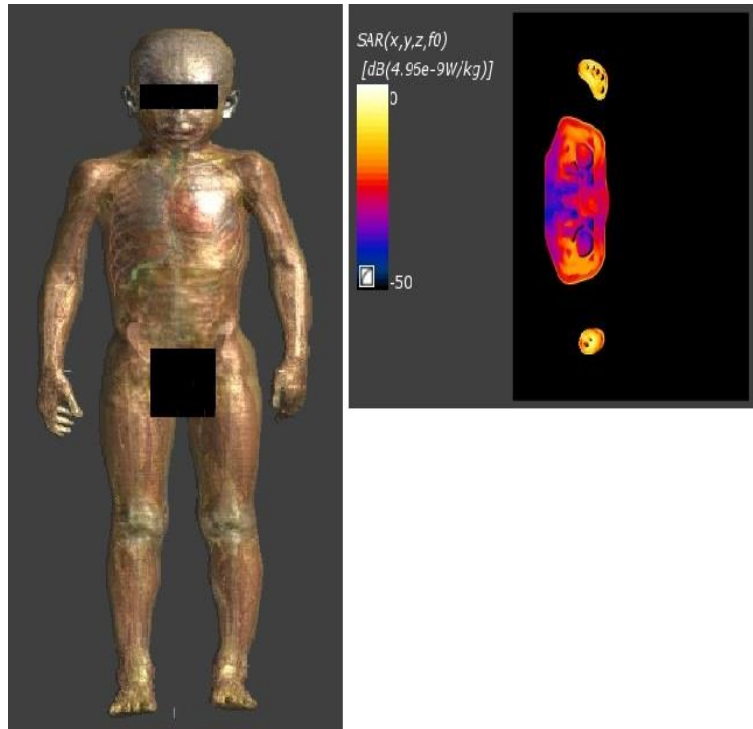
**Figura 3-21** Simulación de la SAR en el Sim4Life, Billie  
**Fuente:** Realizado por el autor



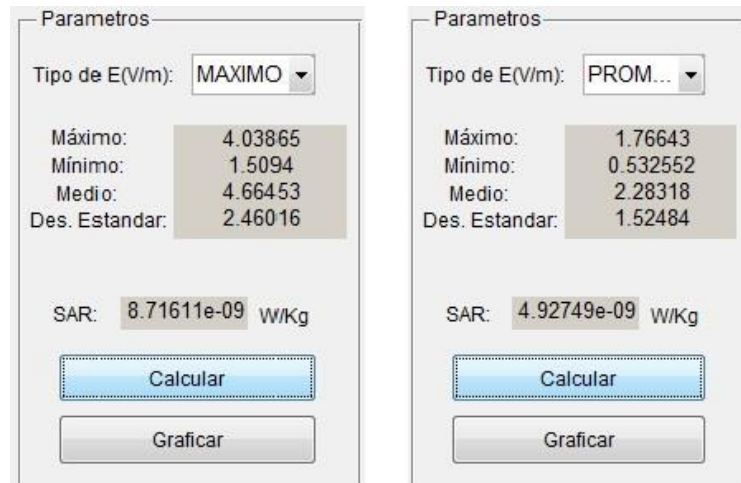
**Figura 3-22** Cálculo de la SAR en el modelo computacional, Billie  
**Fuente:** Realizado por el autor

### 3.2.2.4 Modelo computacional para RNI espacial, Thelonious

Para verificar la validez del modelo computacional para el modelo Thelonious bajo exposición espacial se usara el valor de campo eléctrico máximo de 4.039 V/m y campo eléctrico promedio 2.283 V/m, al analizar este modelo para el cálculo de la SAR en el cuerpo entero se puede observar la simulación en el Sim4Life en la Figura 3-23; mientras que el cálculo de la SAR en el modelo computacional se puede ver en la Figura 3-24.



**Figura 3-23** Simulación de la SAR en el Sim4Life, Thelonious  
**Fuente:** Realizado por el autor



**Figura 3-24** Cálculo de la SAR en el modelo computacional, Thelonious  
**Fuente:** Realizado por el autor

### 3.2.3 *Análisis de los resultados del modelo computacional para RNI espacial*

En la anterior sección se presentó los resultados del modelo computacional para cada uno de los modelos de Virtual Family V3.0 en exposición espacial, y como se puede observar se escogió de manera aleatoria el valor de campo eléctrico para hacer la comprobación de que el modelo se encuentra totalmente funcional. Estas pruebas se las realizó con valores ya simulados en el

software Sim4Life para que no exista duda del correcto funcionamiento del modelo computacional.

Con dichos resultados del modelo computacional se puede analizar el porcentaje del error que el modelo computacional presenta con respecto a la simulación que es mucho más exacta, se puede apreciar que los datos presentados en la Tabla 3-17 no son muy diferentes entre ellos diciendo así que el porcentaje del error es mínimo.

**Tabla 3-17** Error en los resultados del modelo computacional para RNI espacial

Modelo	SAR obtenida para campo eléctrico máximo			SAR obtenida para campo eléctrico promedio		
	SIM4LIFE (W/kg)	Modelo Computacional (W/Kg)	Error (%)	SIM4LIFE (W/kg)	Modelo Computacional (W/Kg)	Error (%)
<b>Duke</b>	$6,685 \times 10^{-9}$	$6,67319 \times 10^{-9}$	$1,18 \times 10^{-11}$	$3,6564 \times 10^{-9}$	$3,64997 \times 10^{-9}$	$6,43 \times 10^{-12}$
<b>Ella</b>	$2,806 \times 10^{-9}$	$2,80161 \times 10^{-9}$	$4,39 \times 10^{-12}$	$1,762 \times 10^{-9}$	$1,75938 \times 10^{-9}$	$2,62 \times 10^{-12}$
<b>Billie</b>	$7,395 \times 10^{-9}$	$7,33299 \times 10^{-9}$	$6,20 \times 10^{-11}$	$4,803 \times 10^{-9}$	$4,76302 \times 10^{-9}$	$3,99 \times 10^{-11}$
<b>Thelonious</b>	$8,7246 \times 10^{-9}$	$8,71611 \times 10^{-9}$	$8,49 \times 10^{-11}$	$4,957 \times 10^{-9}$	$4,92749 \times 10^{-9}$	$1,18 \times 10^{-11}$

Fuente: Realizado por el autor

Se puede afirmar de acuerdo a los resultados obtenidos que el modelo computacional es altamente eficiente; ya que, brinda una aproximación muy buena del nivel de absorción que se produce en el cuerpo humano a causa de las intensidades de campo eléctrico producido por las RNI, específicamente dentro del espectro de frecuencias de 76 MHz a 2.6 GHz que abarca los servicios de telecomunicaciones radio, televisión y telefonía celular.



## **CONCLUSIONES**

Con las mediciones de campo eléctrico en el rango de frecuencias de 76 MHz a 2.6 GHz realizadas en los 10 escenarios cercanos a las antenas que se encuentran situadas en algunos sectores de la ciudad de Riobamba se determinó que los niveles de intensidad de campo eléctrico en los escenarios no excede los niveles máximos de exposición propuestos por la ICNIRP.

Una vez realizado las simulaciones del campo eléctrico para la obtención de la SAR de cuerpo entero utilizando el software Sim4Life, se logró determinar el nivel de absorción que éste tiene, posteriormente comparando con los niveles permitidos por la ICNIRP estos valores no son excedidos.

De acuerdo al análisis realizado con el modelo computacional y los resultados obtenidos del mismo, se puede determinar que el escenario genérico obtenido, es una manera óptima de calcular la SAR para cualquier modelo de Virtual Family V3.0; y al ser comparados con los simulados en Sim4Life se demuestra que el margen de error es muy pequeño entre los dos.

## **RECOMENDACIONES**

Es muy importante que antes de empezar a hacer las mediciones siempre se debe verificar que el equipo este correctamente calibrado, dentro de la banda de frecuencia que se desea trabajar para poder evitar errores en los resultados de las mediciones.

Realizar las mediciones de intensidad de campo eléctrico en otras condiciones de tráfico y características de los escenarios para verificar que los niveles de radiaciones no-ionizantes están dentro de las normativas fijadas por la ICNIRP.

Realizar simulaciones de la SAR con distintos valores de campo eléctrico máximo y promedio para así asegurar la precisión del modelo computacional, considerando diferentes condiciones de tráfico y distintas características de los escenarios ya medidos.

Probar y comparar otros métodos para la obtención de la SAR, y determinar el mejor método para el cálculo de la SAR.

Elaborar un modelo computacional que nos permite obtener la SAR para cada grupo de tejidos del cuerpo humano y en un espectro de frecuencias más amplio como lo realiza el software Sim4Life, pero que este sea más accesible para las personas que desean realizar un estudio acerca de las radiaciones no-ionizantes.

## **BIBLIOGRAFIA**

**ARCOTEL**, *Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión de Televisión Abierta Analógica*, Ecuador, 2015, Pp. 2-10.

**BALANIS, C.** *Antenna Theory*, 3ª. Ed, New Jersey- Estados Unidos: Editorial Wiley, 2005, pp. 27-40.

**BALANIS, C.** *Advanced Engineering Electromagnetics*, 2ª. Ed, New York- Estados Unidos: Editorial Wiley, 2010, pp. 104-121.

**CABAL, C.** *Informe sobre campos electromagnéticos y la salud humana* [en línea]. Universidad de la Republica. Facultad de Ingeniería, 2005, pp. 11-14 [Consulta: 16 de julio del 2016]. Disponible en:  
<http://iie.fing.edu.uy/relacionamiento/comunidad/rfsalud/emfsalud%20humana.pdf>

**CANDO TORRES, Carlos Patricio**, *Estudio de Factibilidad para la implementación en el Ecuador de redes inalámbricas (IEEE802.11) sobre redes celulares de tercera generación (UMTS) mediante la utilización de la tecnología unlicensed mobile access (UMA)* [En línea] (Tesis). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2017. pp. 11-19. [Consulta: 16 de julio del 2016]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/324/1/CD-0747.pdf>

**CÁRDENAS CHÁVEZ, Jaime Sebastián**, *Desarrollo de un modelo computacional mediante el software virtual family v2.0 para la obtención de la distribución de la SAR en el cuerpo humano generado por radiaciones electromagnéticas de los transmisores de radio, televisión y estaciones base de celulares en la ciudad de Riobamba* [En línea] (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 10-25. [Consulta: 19 de julio del 2016]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5052>

**CONATEL**, *Plan Nacional de Frecuencias*, Ecuador, 2012, pp. 17-23, 34-126

**FUSTEL, A.** *Campos Electromagnéticos y Efectos en la Salud* [en línea]. Subdirección de Salud Pública y Consumo, 2011, pp. 70-75 [Consulta: 16 de julio del 2016]. Disponible en:  
[http://www.osakidetza.euskadi.eus/contenidos/informacion/cem\\_salud/es\\_cem/adjuntos/cem.pdf](http://www.osakidetza.euskadi.eus/contenidos/informacion/cem_salud/es_cem/adjuntos/cem.pdf)

ICNIRP. 2011. *Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields*. pp. 16-22, pp. 505-510.

**IEEE C95.1-2005**, *Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Field*.

**ITIS Foundation**, *Virtual Family V3.x; High-Resolution Made Simple*. [Consulta: 15 de julio del 2016]. Disponible en:

<http://www.itis.ethz.ch/virtual-population/virtual-population-cvip-vip/overview/>

**LUQUE, J**, *Espectro Electromagnético y Espectro Radioeléctrico* [en línea]. Autores Científicos-Técnicos y Académicos, 2010, pp. 10-25 [Consulta: 17 de julio del 2016]. Disponible en:

[http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/062017.pdf](http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf)

**MORENO QUINCHE, Byron German, & SALAZAR BACULIMA, Juan Carlos**, *Estudio y Análisis de factibilidad para la implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador* [en línea] (Tesis). Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2011. pp. 13-24. [Consulta: 17 de julio del 2016]. Disponible en:

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1435/13/UPS-CT002165.pdf>

**Narda Safety Test Solution**, *SRM-3000 Selective Radiation Meter*, Alemania, 2013 pp. 1-10

**POSAR, D**. *Ingeniería de microonda*, 5ª. Ed, New York-Estados Unidos: Editorial Wiley, 2010, pp. 104-121, 280-295.

**SAGBAY SACAQUIRÍN, Giovanni, & SÁNCHEZ SANCHEZ, Felipe**, *Estudio y Análisis de la estandarización y regulación para la migración del sistema radio analógico al digital en el Ecuador* [en línea] (Tesis). (Maestría) Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2013. pp. 27-46. [Consulta: 17 de julio del 2016]. Disponible en:

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5253/1/UPS-CT002755.pdf>

**TOMASI, W**. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* 4ª. Ed, México: Editorial Pearson, 2003, pp. 350-360, pp. 530-540.

**Zúrich Medtech**, *Sim4life solutions Manual*. [en línea]. [Consulta: 18 de julio del 2016]. Disponible en: <http://www.zurichmedtech.com/sim4life/computable-human-phantoms/vip-2>

## ANEXO A

### ESPECIFICACIONES TECNICAS NARDA SRM-3000

RF Safety  
Test Solutions

50 Years of  
Excellence

Electric and Magnetic Field Measurement

## SRM 3000 Selective Radiation Meter

- ◆ Complete Solution for Selective Measurement of RF and Microwave Electromagnetic Fields
- ◆ Isotropic and Single-Axis Measurements from 100 kHz to 3 GHz
- ◆ Excellent Immunity for Operation in High Field Strengths
- ◆ Automatic Antenna and Cable Detection
- ◆ Results in V/m, A/m, Power Density, or Percentage of Permissible Limit
- ◆ Automatic Correlation of Results with Telecommunication Services (e.g., TETRA, GSM, UMTS) Based on User-Defined Tables
- ◆ Automatic Computation of Contribution of Individual Services to Overall Field Exposure (Safety Evaluation mode)
- ◆ Resolution Bandwidths (RBWs) up to 5 MHz for UMTS and W-CDMA



### Features

The Selective Radiation Meter (SRM) is a hand-held selective measuring device for safety analysis of RF and microwave electromagnetic fields. The SRM can be used by broadcasters, radio network operators, measurement service providers and public authorities to selectively measure the field exposure produced by individual telecom services and assess the results in accordance with the applicable standards. Most measurements required in the mobile radio sector can be performed directly using the hand-held device. The SRM immediately evaluates the results on site.

The SRM consists of a basic unit and a measurement antenna. The basic unit contains a spectrum analyzer for the 100 kHz to 3 GHz frequency range. It can be operated using antennas from Narda or in combination with measurement antennas from other manufacturers. The triaxial antenna allows isotropic (non-directional) measurements from 75 MHz to 3 GHz, covering FM radio up to the W-CDMA and UMTS services.

The basic unit and antenna are battery powered, rugged, and easily hand portable, offering all of the functions needed to evaluate, store, and document results without a separate PC. However, when required, results can easily be exported to a PC for long-term storage or further analysis.

### Applications

The SRM is a hand-held measuring device that was developed for analyzing safety issues in electromagnetic fields. It includes specially designed modes for safety applications. It can also be used as a conventional RF spectrum analyzer for general field strength measurements. Typical applications are as follows:

#### COMPARISON MEASUREMENT IN A KNOWN-FIELD ENVIRONMENT

"Site sharing" is the usual situation today: Suppose that several mobile radio service operators have antennas located on a common tower or a roof. The overall electromagnetic radiation exposure from any number of sources needs to remain below a specified limit that usually varies with frequency. The SRM displays the total field exposure and also the contributions of the individual services (absolute value or percentage of permissible limit).

This allows operators, public authorities and measurement service providers to verify directly, on-site, whether the different services comply with emission regulations and if not, to know which operator needs to reduce its output power and by how much.

USA TEL: (1) 631 231-1700 • FAX: (1) 631 231-1711 • E-MAIL: NardaSTS@L-3COM.com • www.narda-sts.com  
GERMANY TEL: 49-7121-9732-777 • FAX: 49-7121-9732-790 • E-MAIL: support@narda-sts.de • www.narda-sts.de

 **narda**  
Safety Test Solutions  
an iB communications company

UMTS P-CPICH Demodulation Mode (optional)	
UMTS Channel Selection	By entering the center frequency By entering the channel number
Frequency Setting Resolution	100 kHz (for Fcent frequency entry) 0.5 x channel number (for channel entry)
Detection	RMS (integration time = 10 ms)
Filter Type Roll-Off Factor	Root-Raised Cosine (RRC) $\alpha = 0.22$
Selectable Units for P-CPICH	<b>With Antenna:</b> dBV/m, dBmV/m, dB $\mu$ V/m, dBA/m, A/m, mW/cm <sup>2</sup> , W/m <sup>2</sup> % of selected safety standard (based on power) <b>Without Use of Antenna:</b> dBm, dBV, dBmV, dB $\mu$ V
Possible Units for P-CPICH	dBV/m, dBmV/m, dB $\mu$ V/m, dBA/m, A/m, mW/cm <sup>2</sup> , W/m <sup>2</sup> % of selected safety standard (based on power) dBm, dBV, dBmV, dB $\mu$ V
Possible Result Types	Actual (ACT) and maximum (MAX) values displayed constantly Averaging selectable (on/off) for actual and max. values (averaged number selectable between 4 and 64)
Received / Demodulated Signal	P-CPICH
Display	Up to 16 scrambling codes simultaneously Table format with columns for Index, Scr. Code, Value, Max. Value, Cell Name Total sum of all ACT and MAX P-CPICH values Actual and Max. channel power User defined cell names (from cell name tables) Number of runs (sweeps) since last reset
Time Analysis Mode	
Measurement Principle	Selective level measurement at a fixed frequency
Detection	RMS (integration time = 480 ms) Peak
Filter Type	Steep cutoff channel filter
Resolution Bandwidth RBW (-6 dB)	6.4 kHz to 6 MHz
Trace Display ( Result Type)	ACT (display of current ["actual"] spectrum) AVG (Time Averaging using RMS detector) MAX (Max Hold function) MAX AVG (Max Hold function after averaging over a defined number of spectra using RMS detector)
Time Averaging	Selectable from 0.96 seconds up to 30 minutes (0.96 s; 1.2 s; 2.4 s; 3.6 s; 6 s; 12 s; 18 s; 30 s; 1 min; 2 min; 3 min; 5 min; 6 min; 10 min; 15 min; 20 min; 30 min)

## Specifications

Basic Unit SRM-3000		
Frequency Range	100 kHz to 3 GHz	
Modes	Spectrum Analysis      UMTS — P-CPICH Demodulation (optional) Safety Evaluation      Time Analysis	
RF Features		
Frequency	Resolution Bandwidths (RBW)	See specifications for each mode
	Phase Noise (SSB)	30 kHz carrier spacing < -85 dBc (1 Hz) 100 kHz carrier spacing < -105 dBc (1 Hz) 1 MHz carrier spacing < -120 dBc (1 Hz)
	Reference Frequency	Original Deviation < 1.5 ppm Aging < 0.5 ppm/year Thermal Drift < 2.0 ppm (within specified temperature range)
Amplitude	Measurement Range (MR) = upper limit of expected power level	-27 dBm to +23 dBm (in steps of 1 dB)
	Display Range	From noise floor up to +26 dBm
	Maximum RF Power	+30 dBm
	Maximum DC Voltage	50 V
	Intrinsic Noise	- 121 dBm for 1 kHz RBW, f>20 MHz and no RF attenuation
	RF Attenuation	0 to 50 dB in steps of 1 dB (coupled with measurement range)
	2nd Order Intermodulation Products	≤ - 57 dBc for two signals of level 9 dB below MR and a spectral line spacing of more than 100 kHz
	3rd Order Intermodulation Products	≤ - 70 dBc for two signals of level 9 dB below MR and a spectral line spacing of more than 500 kHz
	Level Measurement Uncertainty	< 1.1 dB for the frequency range 20 MHz to 3 GHz (within the temperature range from 15°C to 30°C)
	Spurious Responses (input-related)	< - 65 dBc or MR - 71 dB for signals with a level below MR - 6 dB (worst of both) < - 60 dBc for a carrier spacing of 72 MHz
	Spurious Responses (residual)	< - 104 dBm or MR-77 dB for frequencies above 20 MHz
	Units	dBm, dBV, dBmV, dBμV Field strength units available according to measurement antenna used (see under "Measurement Functions")
	RF Input	Type
Return Loss		< 11 dB for f ≤ 2.4 GHz

GENERAL SPECIFICATIONS		
Operating Temperature Range	-10°C to +50°C during normal operation 0°C to +40°C when charging	
Air Humidity (Operating Range)	<29 g/m <sup>3</sup> (<93% at +30°C)	
RF Immunity	200 V/m between 100 kHz and 3 GHz	
Compliance	Climatic Storage Transport Operating	1K3 (IEC 60721-3) extended to -10°C to +50°C 2K4 (IEC 60721-3) 7K2 (IEC 60721-3)
	Mechanical Storage Transport Operating	1M2 (IEC 60721-3) 2M3 (IEC 60721-3) 7M3 (IEC 60721-3)
	ESD and EMC	EN 61326:2004
	Safety	EN 61010-1:2002
CE (European Community)	Yes	
Weight	1.9 kg (including rechargeable cell)	
Dimensions	255 mm x 195 mm x 60 mm	
Display	Type	Monochrome, LCD (transflective) with backlighting for indoor or outdoor use
	Size, Resolution	115 mm x 80 mm , 480 x 320 pixels
Interface	Type	RS-232, electrical or optical (with additional accessory)
	Transfer Rate	115.2 k baud
Power Supply	Rechargeable Cell	Lithium-Ion cell / Typical 4 hour cell operating time / Charged using external power supply
	External Power Supply (12 V DC / 2.5 A)	AC/DC adapter Input: 100-240 V / 47-63 Hz / 700 mA
Calibration Interval	24 months recommended	