

## Exposición a la radiofrecuencia originada por aparatos electromédicos

O.R. Vanella<sup>1</sup>, G.S. Goyeneche<sup>1</sup>, S. Stricker<sup>1</sup>, C.J. Rodriguez<sup>1</sup> y R.G. Bruni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LIADE, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

**Abstract**-Currently, humans are exposed involuntarily or unconsciously to non-ionizing radiation (NIR) in the radio frequency (RF) spectrum, due to technological breakthrough. This raises concerns about the possible adverse effects of such exposure, so the evaluation of different exposure scenarios is necessary. Among them, consider those that concern medical electrical equipment. Here a protocol for measuring NIR is developed, according to the medical equipment, facilities and applicable regulations. After a study of the emissions of different types of electrical equipment and human exposure to RF evaluating the existing electromagnetic power density was performed to assess whether the measured levels are in accordance with regulations. For those who do not comply dosimetry was performed. Thereby determining the safety work distance for the operator.

**Keywords**- Radiofrequency, exposure, safety, Electromedical equipment.

### I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento sostenido de los servicios de telecomunicaciones inalámbricas ha provocado en los ciudadanos cierta preocupación referente a eventuales efectos nocivos para la salud que pudieran ser derivados de la exposición a las radiaciones no ionizantes (RNI) en el espectro de radiofrecuencias (RF) utilizadas por dichas aplicaciones. Así, surge la necesidad de implementar programas de gestión de riesgo que incluyan procesos sistemáticos de evaluación del riesgo. En estos procesos se debe evaluar la magnitud de la exposición, o potencial exposición, de las personas a las RNI en situaciones reales [1].

Las instalaciones asociadas a las telecomunicaciones por RF no son las únicas fuentes de RNI en este rango de frecuencias. Existen otras tecnologías en uso que también generan campos de RF durante su funcionamiento y se advierte un incremento significativo de ellas en áreas tales como educación, transporte, energía, electrodomésticos, diagnóstico y tratamiento médico, tratamiento estético, etc. Además, en contraste con las telecomunicaciones, algunas de estas aplicaciones tienden a utilizar energías más elevadas y, por consiguiente, pueden generar mayores intensidades de campos electromagnéticos (CEM) [2].

Por ello, la Organización Mundial de la Salud estableció como temas de investigación de alta prioridad los siguientes: explorar nuevos escenarios de exposición y sus corres-

pondientes niveles de exposición para tecnologías nuevas y emergentes de RF (rango de 100 kHz a 300 GHz); cuantificar las exposiciones personales a partir de una amplia gama de fuentes de RF e identificar los determinantes de la exposición en la población general; y supervisar la exposición personal de los trabajadores a las RF [3].

La presencia de campos electromagnéticos de RF en ambientes de salud abre nuevas áreas de investigación [4], al tiempo que, entre los aparatos electromédicos (AEM), existen numerosas tecnologías que utilizan RF para realizar diagnóstico y tratamiento médico, así como también, estético.

Si bien se han encontrado publicaciones referidas a evaluación de niveles de exposición de las personas a las RNI en áreas de diagnóstico y tratamiento médico [5] [6] [7], éstas pueden considerarse insuficientes para representar la diversidad de escenarios a investigar en dicha área.

Además, debido a la escasez de información acerca de la emisión de RF de los AEM, y a que las normativas vigentes, tanto nacionales como internacionales, sólo tienen alcance a los sistemas de telecomunicaciones y radares; resulta de importancia realizar el estudio de la exposición a la radiofrecuencia originada por este tipo de dispositivos.

Así, resulta necesario identificar diferentes tipos de AEM que podrían emitir RF; desarrollar un método de medición, basado en los procedimientos establecidos por las normativas vigentes, de niveles de exposición a las RNI en el espectro de RF para ser utilizado sobre los mismos y sus alrededores; medir dichos niveles; y realizar dosimetría del operador de aquellos equipos que resulten relevantes por los niveles de encontrados.

### II. MATERIALES Y MÉTODOS

#### A. Instrumentos de Medición

Para medir los niveles de exposición en los escenarios evaluados se utilizaron 2 sistemas de medida [8]:

- Instrumento Wandel & Goltermann, modelo EMR-300 con sonda Wandel & Golterman, modelo E-Field Type 8.
- Instrumento Narda, modelo NBM-550 con sonda Narda, modelo EF-0391.

Los instrumentos son analizadores portátiles, miden densidad de potencia de campo electromagnético de onda plana, poseen un ancho de banda de 100 KHz a 3 GHz, con una sensibilidad de 0,00001 mW/cm<sup>2</sup>. Las sondas son isotrópicas (tres ejes). Los sistemas cumplen los requisitos de la norma IEEE C.95.3 [9].

Estos sistemas calculan la densidad de potencia (S) del espectro de la señal a partir de la medición del campo eléctrico (integración de los tres ejes de la sonda) y posterior aplicación de la Transformada Rápida de Fourier, luego almacenan los resultados para su posterior exportación a un ordenador.

Ambos instrumentos están calibrados para asegurar la trazabilidad de las mediciones a patrones de referencia internacionales (Physikalisch-Technische Bundesanstalt - PTB- Alemania) y poseen una incertidumbre de calibración máxima de 1,5 dB, la cual es inferior a los 2 dB aconsejados por ICNIRP [10].

Para determinar la dosis que recibe el operador de cada equipo se utilizó un dosímetro:

- Monitor de Radiación marca Narda, modelo Rad-Man-XT.

Este presenta un rango de medición de campo eléctrico de 1 MHz a 40 GHz y uno de campo magnético de 27 MHz a 1 GHz. Además, posee seis sensores isotrópicos que detectan los valores de campo eléctrico y magnético de forma simultánea e independiente. El dispositivo registra los valores ponderados en frecuencia respecto del nivel de referencia ocupacional, conforme la norma ICNIRP 1998 [11], almacenándolas en su memoria. La lectura y exportación de los datos a un ordenador se realiza mediante el uso de software dedicado. Su trazabilidad metrológica también está asegurada (PTB).

### B. Procedimiento de medición

Se desarrolla un procedimiento de medición que diferencia entre dos escenarios: *mediciones de campo* y *mediciones de laboratorio*. Las primeras se realizan en el lugar donde se utiliza habitualmente el equipo. En cambio, las segundas se realizan en lugares distintos a donde se emplea corrientemente el mismo.

A su vez, el procedimiento se divide en dos etapas. La primera, denominada "*Etapas de vista rápida del entorno electromagnético*", consiste en un relevamiento de la radiación electromagnética de RF emitida por los equipos médicos para poder definir cuáles son los equipos con mayor emisión, a los cuales se les realiza una medición más detallada. En primera instancia, en ambos escenarios, se realizan mediciones preliminares para definir la configuración (equipo accesorios, modos de funcionamiento) más desfavorable. Una vez determinada ésta, se procede a medir entre

1 a 5 puntos ubicados en el perímetro del equipo a 0,2 m de distancia horizontal del mismo y a una altura del piso variable entre 1 y 1,5 m.

En las mediciones de campo se respeta la ubicación y disposición del equipo en el lugar y el mobiliario existente; por ello, la cantidad de puntos a medir puede variar según características y espacios existentes.

La segunda etapa se denomina "*Etapas de estudio detallado del entorno electromagnético*". En la misma, se mide exhaustivamente el ambiente adyacente a los aparatos que superan los límites permitidos; es decir, se mide en puntos adicionales ubicados a mayor distancia del equipo y a diferentes alturas (entre 0,5 m y 2 m) como así también en algunos puntos claves del ambiente donde es más probable que se sitúe el operador. Esta etapa incluye la dosimetría, para ella se realizaron simulaciones, a la vez que se estudiaron casos reales con el instrumento adosado a un profesional mientras desarrollaba su jornada laboral.

En cumplimiento con los requisitos de integración espacial y temporal establecidos en la normativa aplicable, en cada punto se mide durante 6 minutos. Como resultado de esta operación se obtiene un valor de densidad de potencia electromagnética (S [mW/cm<sup>2</sup>]) que es el promedio de todos los valores instantáneos de densidad de potencia muestreados durante el citado intervalo. Todas las mediciones se realizaron en banda ancha (rango 100 kHz – 3 GHz).

Los resultados obtenidos en la dosimetría se encuentran expresados en porcentaje ([%]) de campo eléctrico, y magnético, referidos a los niveles de exposición ocupacionales, compensados en frecuencia [11].

### C. Datos

Los datos provienen de ensayos realizados sobre 26 equipos. Dicha muestra incluye los que utilizan RF como principio de funcionamiento y los que fueron estudiados para verificar la existencia de emisión secundaria.

Los datos se procesaron para obtener el valor promedio máximo ( $S_{pm}$ ), el máximo instantáneo ( $S_{max}$ ) y el promedio general ( $S_p$ ).

Debido a los instrumentos de medición utilizados, la diversidad de frecuencias de los equipos y por tratarse de entornos no controlados, los resultados se compararon con el nivel de seguridad más estricto establecido por la Comisión Nacional de Comunicaciones de la República Argentina en su Resolución 269/95 [12]. Este valor es de 0,20 mW/cm<sup>2</sup> y también coincide con la normativa internacional.

Los valores de porcentaje de campo entregado por el dosímetro son procesados para obtener el porcentaje de campo respecto al nivel de referencia poblacional y su valor correspondiente en unidades de densidad de potencia.

### III. RESULTADOS

Los resultados de la primera etapa se encuentran en la Tabla 1. En ella se expresan los valores  $S_{pm}$ ,  $S_{max}$  y  $S_p$  obtenidos de cada equipo ensayado:

**Tabla 1. Resultados de "Etapa de vista rápida del entorno electromagnético".**

| Equipo                   | $S_{pm}$ [mW/cm <sup>2</sup> ] | $S_p$ [mW/cm <sup>2</sup> ] | $S_{max}$ [mW/cm <sup>2</sup> ] |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Electrodepilador         | 0.000020                       | 0.000020                    | 0.000033                        |
| Electroestimulador       | 0.000028                       | 0.000015                    | 0.000247                        |
| Electroporador           | 0.023853                       | 0.009675                    | 0.026518                        |
| RF Monopolar             | 0.031683                       | 0.031683                    | 0.040597                        |
| RF Tripolar              | 0.023853                       | 0.009675                    | 0.026518                        |
| Ultracavitador           | 0.000266                       | 0.000186                    | 0.000686                        |
| Ultrasonido/Estimulación | 0.001672                       | 0.001288                    | 0.019657                        |
| Laser de fisioterapia    | 0.000070                       | 0.000052                    | 0.000219                        |
| Magnetoterapia           | 0.000020                       | 0.000018                    | 0.000122                        |
| <b>Onda Corta</b>        | <b>6.596500</b>                | <b>1.646910</b>             | <b>8.186770</b>                 |
| Ultrasonido/fisioterapia | 0.000111                       | 0.000070                    | 0.000343                        |
| <b>Electrobisturí</b>    | <b>0.666220</b>                | <b>0.215620</b>             | <b>0.714380</b>                 |
| Electrocoagulador        | 0.026750                       | 0.026750                    | 0.028525                        |
| Cámara Gamma             | 0.000010                       | 0.000010                    | 0.000350                        |
| Ecógrafo                 | 0.000290                       | 0.000290                    | 0.001190                        |
| Mamografo                | 0.000040                       | 0.000040                    | 0.000130                        |
| Ortopantomografo         | 0.000010                       | 0.000005                    | 0.000150                        |
| Rx Telecomandado         | 0.000180                       | 0.000105                    | 0.002940                        |
| Tomógrafo                | 0.000210                       | 0.000100                    | 0.001210                        |
| IRMN                     | 0.000480                       | 0.000480                    | 0.022240                        |
| Campana de Extracción    | 0.000010                       | 0.000010                    | 0.000060                        |
| Centrifuga               | 0.018880                       | 0.018880                    | 0.042110                        |
| Espectrofotómetro        | 0.000060                       | 0.000060                    | 0.000120                        |
| Lavador Ultrasónico      | 0.000010                       | 0.000010                    | 0.000180                        |
| Incubadora Neonatal      | 0.000016                       | 0.000015                    | 0.000066                        |
| Nebulizador              | 0.002719                       | 0.002719                    | 0.003499                        |

$S_{pm}$ : densidad de potencia promedio máxima.  
 $S_p$ : densidad de potencia promedio del total de las mediciones en cada equipo.  
 $S_{max}$ : densidad de potencia instantánea máxima.  
 NOTA: los datos del equipo de IRMN fueron extraídos de [7].

Los resultados obtenidos para los equipos de Onda Corta y Electrobisturí superan el nivel de referencia adoptado en este trabajo (0,2mW/cm<sup>2</sup>). En consecuencia, se procede a realizar el estudio detallado de su entorno electromagnético.

Los resultados de la segunda etapa son los siguientes:

#### Equipo de Onda Corta

En la Tabla2 se observan los valores  $S_{pm}$ ,  $S_{max}$  y  $S_p$  obtenidos en el ensayo de emisión realizado a diferentes distancias horizontales del equipo:

**Tabla 2. Resultados de estudio detallado de Equipo de Onda Corta.**

|                                 | 20 [cm]  | 40 [cm]  | 60[cm]   |
|---------------------------------|----------|----------|----------|
| $S_{pm}$ [mW/cm <sup>2</sup> ]  | 6.596500 | 0.092460 | 0.026610 |
| $S_p$ [mW/cm <sup>2</sup> ]     | 0.609835 | 0.015242 | 0.006511 |
| $S_{max}$ [mW/cm <sup>2</sup> ] | 8.186770 | 0.103110 | 0.239700 |

Exposición a la radiofrecuencia originada por aparatos electromedicos

|                                 | 80[cm]   | 100[cm]  | 120[cm]  |
|---------------------------------|----------|----------|----------|
| $S_{pm}$ [mW/cm <sup>2</sup> ]  | 0.009430 | 0.004720 | 0.021890 |
| $S_p$ [mW/cm <sup>2</sup> ]     | 0.002586 | 0.001489 | 0.002779 |
| $S_{max}$ [mW/cm <sup>2</sup> ] | 0.014720 | 0.061480 | 0.111000 |

$S_{pm}$ : densidad de potencia promedio máxima.  
 $S_p$ : densidad de potencia promedio del total de las mediciones por equipo.  
 $S_{max}$ : densidad de potencia instantánea máxima.

Los resultados de dosimetría quedan determinados en la Tabla 3:

**Tabla 3. Resultados de dosimetría en Equipo de Onda Corta**

|                                 | $E_{max}$ [%] | $E_p$ [%] |
|---------------------------------|---------------|-----------|
| <b>Simulación I</b>             | 127.002       | 7.404     |
| <b>Simulación II</b>            | 97.617        | 6.266     |
| <b>Simulación III</b>           | 127.002       | 5.824     |
| <b>Simulación IV</b>            | 127.002       | 6.853     |
| <b>Jornada laboral completa</b> | 127.002       | 4.629     |

%  $E_{max}$ : porcentaje de campo eléctrico máximo instantáneo respecto del nivel de referencia.

%  $E_p$ : porcentaje de campo eléctrico promedio respecto del nivel de referencia.

#### Electrobisturí:

La Tabla 4 contiene los valores  $S_{pm}$ ,  $S_{max}$  y  $S_p$  obtenidos en el ensayo de emisión realizado a diferentes distancias horizontales del equipo:

**Tabla 4. Resultados de estudio detallado de Electrobisturí.**

|                                 | 20 [cm]  | 40 [cm]  |
|---------------------------------|----------|----------|
| $S_{pm}$ [mW/cm <sup>2</sup> ]  | 1.399490 | 0.658330 |
| $S_p$ [mW/cm <sup>2</sup> ]     | 0.171131 | 0.092846 |
| $S_{max}$ [mW/cm <sup>2</sup> ] | 1.551170 | 0.809480 |

$S_{pm}$ : densidad de potencia promedio máxima encontrada.  
 $S_p$ : densidad de potencia promedio del total de las mediciones por equipo.  
 $S_{max}$ : densidad de potencia instantánea máxima

Los resultados de dosimetría se muestran en la Tabla5:

**Tabla 5. Resultados Dosimetría en Electrobisturí.**

|                     | $E_{max}$ [%] | $E_p$ [%] |
|---------------------|---------------|-----------|
| <b>Simulación I</b> | 127.002       | 5.609     |
| <b>Cirugía I</b>    | 77.197        | 4.869     |
| <b>Cirugía II</b>   | 127.002       | 5.167     |

%  $E_{max}$ : porcentaje de campo eléctrico máximo instantáneo respecto del nivel de referencia.

%  $E_p$ : porcentaje de campo eléctrico promedio respecto del nivel de referencia.

El diseño y construcción del electrobisturí no contempla el funcionamiento continuo, por consiguiente, se modificó la configuración del instrumento de medición a un tiempo de integración de 1 minuto para efectuar este ensayo. Aun con esta precaución, el aparato presentó sobreelevación de temperaturas durante el mismo, razón por la cual no se hicieron mediciones a distancias superiores a 40 cm para evitar daños en el dispositivo bajo estudio.

#### IV. CONCLUSIONES

De la totalidad de equipos analizados en la primera etapa, se observa que, tanto para el equipo de onda corta como para el electrobisturí, los niveles de campo electromagnético de RF superan los límites de exposición establecidos por la normativa argentina e internacional. En el caso del electrobisturí, es aproximadamente tres veces superior, mientras que para el equipo de onda corta es alrededor de 33 veces más elevado que el límite más estricto.

En el estudio detallado del equipo de onda corta se advierte que, a una distancia de 20 cm, los niveles de exposición exceden los límites establecidos por la normativa vigente; pero, al aumentar la distancia, los niveles de densidad de potencia disminuyen notablemente (entre 1 y 3 órdenes de magnitud). Por lo cual, una distancia mayor o igual a 40 cm del equipo es una ubicación segura para el operador y para cualquier persona del público en general. En cuanto a las dosimetrías se verifica que, en el peor de los casos, el nivel de exposición al que se encuentra el operador es del 2,7 % del límite de referencia adoptado. Aun así, existen picos de exposición a los que está sometido el operador, los cuales deben ser evitados y, en caso de no ser posible, se debe limitar el tiempo de exposición a 6 minutos como máximo.

Para el electrobisturí se revela que, a una distancia de hasta 20 cm, los puntos con mayor densidad electromagnética se encuentran alrededor de 8 veces por encima del nivel de referencia más estricto. Estos puntos se correlacionan con la ubicación del operador y paciente. A medida que se realizan mediciones a mayor distancia los niveles de densidad disminuyen hasta 2 órdenes de magnitud, pero continúan superando el límite. No se pudieron determinar distancias de seguridad, las cuáles serían válidas sólo para los asistentes, por cuanto el operador no puede alejarse del punto de emisión. En cuanto a la dosimetría correspondiente a este equipo, el mayor porcentaje de campo eléctrico promedio al que está expuesto el operador es de 5,609 % lo que corresponde a un nivel de densidad electromagnética de 0,3105 mW/cm<sup>2</sup> el cual supera el límite utilizado en este trabajo. Debido a que el operador no puede alejarse de su posición para realizar su trabajo y a que el tiempo que se utiliza el equipo es de algunos pocos segundos, sería posible tolerar una mayor exposición del operador. Aun así, se recomienda estudiar más en detalle esta situación particular.

Para ambos casos es necesario medir en banda angosta y estudiar niveles de RNI en frecuencias inferiores a los 100 KHz.

Ya que sólo se analizó un modelo de cada equipo, y debido a la gran variedad existente, este estudio no puede

describir todos los posibles escenarios de exposición para todos ellos.

Los autores declaran que no poseen conflictos de interés.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba quien fuera una de las fuentes de financiamiento de este trabajo (Proyecto 2012-2013 “*Exploración de nuevos escenarios de exposición a las radiaciones no ionizantes*” – Código 05/M230).

Agradecemos al Consejo Federal de Ciencia y Tecnología (COFECYT) quien fuera una de de las fuentes de financiamiento de este trabajo (proyecto PFIP “*Desarrollo de procedimientos para verificar la seguridad de las personas expuestas a radiación no ionizante (RNI) provista por aparatos de uso médico y estético*”. 2013-2015).

#### REFERENCIAS

1. OMS. Organización Mundial de la Salud (2005) Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos. Ginebra, Suiza.
2. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP (2008) Statement on EMF-Emitting new technologies. HEALTH PHYSICS 94(4):376-
3. WHO. World Health Organization (2010). Research Agenda for Radiofrequency Fields. Geneva, Switzerland.
4. Arumugam D, Gautham A et al. (2008) Impacts of RF Radiation on the Human Body in a Passive Wireless Healthcare Environment. IEEE Proc 2nd International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare. Tampere, Finland 2008, pp 181–182
5. Fuentes M, Trakic A et al. (2008) Analysis and Measurements of Magnetic Field Exposures for Healthcare Workers in Selected MR Environments IEEE Trans on Biomedical Engineering, Vol 55, No 4 1355-1364 DOI 10.1109/TBME.2007.913410
6. McROBBIE D (2012) Occupational exposure in MRI The British Journal of Radiology, Vol 85, No 1012:293–312 DOI 10.1259/bjr/30146162
7. Rodriguez C, Vanella O et al. (2013) Research of NIR exposure levels in diagnostic MRI environments IEEE Latin America Trans Vol 11, No 1:319-323. DOI: 10.1109/TLA.2013.6502823
8. JCGM 200 (2008) JCGM International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)
9. IEEE Std C95.3 – 2002. IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz–300 GHz.
10. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP (2009) Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz – 300 GHz) Oberschleissheim, Germany.
11. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP (2008) Statement on EMF-Emitting new technologies. HEALTH PHYSICS 94(4):376-392
12. Comisión Nacional de Comunicaciones. Resolución 269/95. Ministerio de Planificación Federal, inversión Pública y Servicios. Secretaría de Comunicaciones. Buenos Aires, Argentina.