



Madrid, diciembre de 2013

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA  
PARA LA SALUD Y LA SEGURIDAD  
ELECTROMAGNÉTICA PERSONAL  
TECNOLOGICAL INNOVATION  
FOR HEALTH AND PERSONAL  
ELECTROMAGNETIC SAFETY

*Monografías*



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD



Unidad de investigación  
en Telemedicina y e-Salud

Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud  
Instituto de Salud Carlos III  
Ministerio de Economía y Competitividad  
Avda. Monforte de Lemos, 5 – Pabellón 14  
28029 MADRID (ESPAÑA)  
Tel.: 91 822 21 28  
Fax: 91 387 75 67

Catálogo general de publicaciones oficiales:

[http://www.mpt.gob.es/es/publicaciones/catalogo\\_general.html](http://www.mpt.gob.es/es/publicaciones/catalogo_general.html)

Para obtener este informe de forma gratuita en Internet (formato pdf):

<http://publicaciones.isciii.es/unit.jsp?unitId=aets>



**Reconocimiento – NoComercial – Compartirlgual (by-nc-sa):**

No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.

EDITA: UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN TELEMEDICINA Y E-SALUD  
Instituto de Salud Carlos III

N.I.P.O. en línea: 725-13-029-1

N.I.P.O. libro electrónico: 725-13-030-4

I.S.B.N.: No (Free online version)

Imprime: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.  
Avda. de Manoteras, 54. 28050 – MADRID

Este documento es un Informe Técnico de la Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud del Instituto de Salud Carlos III

**Autores:**

Victoria Ramos (ISCIII)  
Pilar García-Santesmases (ISCIII)  
Silvia de Miguel-Bilbao (ISCIII)  
Jorge García (ISCIII)  
José Roldán (ISCIII)  
Miguel García-Santesmases (INDRA)  
Alejandro Úbeda (IRYCIS)  
M. Antonia Martínez (IRYCIS)  
M. Antonia Cid (IRYCIS)  
Lucía Chacón (IRYCIS)  
M. Ángeles Trillo (IRYCIS)  
Francisco Falcone (UPN)  
Leire Azpilicueta (UPN)  
M. Dolores Marcos (UAH)  
José L. Bardasano (UAH)

**Edición:**

Victoria Ramos (ISCIII)

**Para citar este informe:**

Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud  
Instituto de Salud Carlos III

RAMOS, V.; GARCÍA-SANTESMASES, P.; DE MIGUEL-BILBAO, S.; GARCÍA, J.; ROLDÁN, J.; FALCONE, F.; AZPILICUETA, L.; MARCOS, M.D.; BARDASANO, J.L.; ÚBEDA, A.; MARTÍNEZ, M.A.; CID, M.A.; CHACÓN, L.; TRILLO, M.A.; GARCÍA-SANTESMASES, M.; ED. RAMOS, V., "Innovación tecnológica para la salud y la seguridad electromagnética personal".

Unidad de Investigación en telemedicina y e-Salud- Instituto de Salud Carlos III, Madrid. 2013.

Este texto puede ser reproducido siempre que se cite su procedencia.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	6
SUMMARY .....	9
<b>CAPÍTULO I. HACIA NUEVOS ESPACIOS INNOVADORES EN E-SALUD.....</b>	<b>13</b>
1.1. Nuevos espacios de innovación .....	13
1.2. Innovación y e-Salud .....	14
1.3. Modelos de e-Salud.....	14
1.4. Prioridades en innovación en e-Salud.....	15
1.5. Construyendo el futuro de los modelos de e-salud-asistivos. Retos y oportunidades.....	15
1.6. Liderazgo de la Unión Europea en innovación y e-salud .....	16
1.6.a. E-Salud y envejecimiento.....	16
1.6.b. Capacitación del paciente.....	17
1.7. Cultura sanitaria digital y nuevos perfiles de trabajo.....	17
1.8. Oportunidades en e-salud laboral. Tecnologías emergentes y gestión del riesgo.....	18
1.9. Desarrollos Innovadores en el medio largo plazo .....	19
1.10. Conclusiones .....	20
1.11. Referencias .....	20
<b>CAPÍTULO II. POSIBILIDADES TECNOLÓGICAS PARA LA ATENCIÓN SANITARIA UBICUA.....</b>	<b>21</b>
2.1. Introducción .....	21
2.2. Redes Inalámbricas en Entornos Sanitarios .....	22
2.2.1. Body Area Networks (BAN) .....	24
2.3. Mobile-Health (mHealth).....	26
2.4. M2M y la visión de Internet de las Cosas.....	27
2.5. RFID en Entornos Sanitarios .....	28
2.6. Dispositivos para Ambientes Asistidos, e-Salud y Bienestar Personal.....	29
2.6.1. Dispositivos para Ambientes Asistidos .....	29
2.6.2. Dispositivos para e-Salud .....	31
2.6.3. Dispositivos para el Bienestar Personal .....	33
2.6.4. Enlaces.....	35
2.7. Conclusiones .....	35
2.8. Referencias .....	36
<b>CAPÍTULO III. ESTIMACIÓN DE NIVELES DE EMISIÓN DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN ENTORNOS INTERIORES COMPLEJOS .....</b>	<b>37</b>
3.1. Introducción .....	37
3.2. Técnicas de estimación .....	37
3.3. Casos de Estudio sobre el Impacto Topo-Morfológico en la Estimación de Niveles de Campo Recibido .....	40
3.4. Conclusiones .....	48
3.5. Referencias .....	48
<b>CAPÍTULO IV. LOS DISPOSITIVOS DE CORTO ALCANCE PARA AMBIENTES ASISTIDOS DE CUIDADOS DE LA SALUD .....</b>	<b>51</b>
4.1. Introducción.....	51
4.2. Antecedentes .....	52

4.3. Estado del Arte .....	53
4.4. Metodología: revisión de la literatura .....	54
4.5. Resultados .....	55
4.6. Discusión .....	58
4.7. Conclusiones .....	59
4.8. Referencias .....	60
<b>CAPÍTULO V. EXPOSICIÓN A CAMPOS DE FRECUENCIA INDUSTRIAL EN MEDIOS OCUPACIONALES HOSPITALARIOS.....</b>	<b>61</b>
5.1. Introducción .....	61
5.2. Metodología .....	63
5.2.1. Cumplimiento de los requisitos éticos .....	63
5.2.2. Medición del nivel de campo magnético en entornos seleccionados.....	63
5.2.3. Selección de los Voluntarios y Monitorización Personal en los Ambientes Estudiados .....	65
5.3. Resultados .....	67
5.3.1. Valores de Frecuencia y Densidad de Flujo Magnético .....	67
5.3.2. Estimación de los Niveles de Exposición .....	68
5.4. Discusión.....	72
5.5. Conclusiones .....	74
5.6. Agradecimientos.....	75
5.7. Referencias .....	75
<b>REFERENCIAS BIOGRÁFICAS DE LOS AUTORES .....</b>	<b>78</b>
<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>82</b>
<b>ÍNDICE FIGURAS .....</b>	<b>83</b>
<b>ÍNDICE TABLAS .....</b>	<b>85</b>

## Resumen

La innovación se contempla en la actualidad no sólo como una simple creación de productos o servicios por las empresas, sino como un amplio conjunto de acciones orientadas a que el conocimiento se convierta en la base fundamental del crecimiento económico. La nueva estrategia Europa 2020, incorpora el concepto de innovación social como nuevas ideas (productos, servicios y modelos) que permiten superar simultáneamente desafíos sociales, satisfacen necesidades sociales y generan nuevas relaciones sociales entre los grupos en cuestión.

El sector de la e-salud por su carácter integrador, su actuación transversal en los entornos TIC y socio-sanitarios y su capacidad para incorporar modelos de innovación social en sus desarrollos, se percibe como uno de los vectores para responder a este nuevo paradigma. La tecnología, nuevos hábitos de consumo, modos de vida cambiantes, nuevas generaciones y transformaciones socio-laborales están en la base de la nueva oferta de servicios.

El trabajo en nuevos desarrollos innovadores implica el control y minimización de los efectos que en el corto y medio plazo impondrá la existencia de todo tipo de dispositivos inalámbricos. El desarrollo de las comunicaciones inalámbricas ha afectado a casi todas las actividades del día a día, tales como: actividades domésticas, laborales, ocio, deportes, desplazamientos, y las relaciones humanas, lo que ha provocado un interés creciente en las comunicaciones ubicuas. Hoy en día, la población está provista de aplicaciones ubicuas de salud, nuevas formas de entretenimiento, de un mayor acceso a la información y una mejor adaptación al entorno de trabajo, por lo que es obvia la mejora de la calidad de vida.

La expansión del uso de las nuevas aplicaciones basadas en las tecnologías inalámbricas ha supuesto el aumento de los niveles de los campos electromagnéticos (CEM) en los entornos laborales y de la vida cotidiana. Los CEM son generados por una gran variedad de fuentes de radiación, tales como: equipos eléctricos, dispositivos de comunicación personal, material de oficina y productos de consumo. Esto supone la necesidad implícita de garantizar la seguridad de las personas, así como es necesario garantizar condiciones de funcionamiento correctas de aparatos eléctricos y electrónicos y de los dispositivos electromédicos, siendo necesario el cumplimiento de todos los estándares recomendados. En estas condiciones, donde existe un riesgo potencial para la salud humana, los procedimientos de simulación facilitan el control dosimétrico para la prevención y detección de posibles situaciones de riesgo para el público en general.

Los entornos sanitarios son espacios especialmente sensibles en lo referente a la exposición a los CEM sin olvidar que los entornos sanitarios pueden ser considerados como fuentes de radiación no ionizante. Los hospitales están equipados con dispositivos y equipos cuyo funcionamiento se basa en la emisión de radiaciones. No hay que olvidar el creciente uso de redes de sensores para la monitorización de pacientes y de parámetros biológicos en cualquier lugar y en cualquier momento.

Las tecnologías de corto alcance proporcionan beneficios directos en aplicaciones de atención sanitaria, como la asistencia en situaciones de peligro y accidentes, emergencias de salud, y el seguimiento de los parámetros físicos y fisiológicos de la vida diaria. Estas aplicaciones de salud se proporcionan a través de dispositivos de última generación que permiten la comunicación entre los propios objetos y entre los objetos y las personas. La implicación especial de estos dispositivos con los requisitos de bienestar y de seguridad implica un interés especial en sus condiciones de funcionamiento, así como en la promoción de hábitos correctos de utilización.

## Capítulo I

### HACIA NUEVOS ESPACIOS INNOVADORES EN e-SALUD

Pilar García-Santesmases, Victoria Ramos

Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud. Instituto de Salud Carlos III, Madrid

Miguel García-Santesmases

Sistemas-Business Analytics INDRA

La innovación se contempla en la actualidad no sólo como una simple creación de productos o servicios por las empresas, sino como un amplio conjunto de acciones orientadas a que el conocimiento, toda clase de

conocimiento, se convierta en la base fundamental del crecimiento económico. La nueva estrategia Europa 2020, incorpora el concepto de innovación social como nuevas ideas (productos, servicios y modelos) que permiten superar simultáneamente desafíos, necesidades y generan nuevas relaciones sociales entre los grupos en cuestión.

El sector de la e-salud por su carácter integrador, su actuación transversal en los entornos TIC y socio-sanitarios y su capacidad para incorporar modelos de innovación social en sus desarrollos, se percibe como uno de los vectores para responder a este nuevo paradigma.

Desde el punto de vista de actividades incentivadoras de la I+D+I, la Unión Europea en su plan de acción sobre la salud electrónica 2012-2020: *atención sanitaria innovadora para el siglo XXI*, contempla como un eje de actuación prioritario las nuevas tecnologías y aplicaciones móviles, de Internet y de medios digitales, así como instrumentos digitales que integren los sistemas de asistencia sanitaria y social y que apoyen la promoción de la salud y la prevención.

El desarrollo de estrategias preventivas para enfermedades específicas o condiciones ligadas a la edad, se perciben como áreas donde se generarán los nuevos **modelos de negocio e-salud asistivos** junto con el diseño y desarrollo de soluciones innovadoras en condiciones de compatibilidad de comunicaciones y seguridad electromagnética; o el desarrollo de actividades de capacitación que respondan a los nuevos marcos flexibles de trabajo, **ambient-assisted working**.

Hay que destacar la iniciativa liderada por la Comisión que, bajo el paraguas de Unión por la Innovación, fomenta la participación de los Estados miembros en la **Asociación Europea para la Innovación sobre un Envejecimiento Activo y Saludable** que integra actividades de salud electrónica y se orienta al abordaje de la cronicidad, a la prevención de la fragilidad y a facilitar la vida independiente.

**Palabras clave:** Telemedicina, innovación en Plataformas de e-salud, modelos conceptuales, servicios TICs en crónicos y ancianos.

## Capítulo II

### POSIBILIDADES TECNOLÓGICAS PARA LA ATENCIÓN SANITARIA UBICUA.

**Silvia de Miguel-Bilbao, Jorge García, José Roldán, Victoria Ramos**  
**Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud. Instituto de Salud Carlos III**

Actualmente, la introducción de sistemas de comunicaciones inalámbricas en entornos sanitarios ha fomentado la mejora en la eficiencia del cuidado del paciente y de la gestión sanitaria. Caben destacar los siguientes escenarios de aplicabilidad: redes de gestión hospitalaria, redes de telemedicina y redes de área corporal (body area network, BAN).

El rápido incremento de la demanda de atención sanitaria ubicua ha llevado a un creciente interés en el desarrollo de las BANs. La tecnología BAN consiste en una red de sensores que de manera continua miden parámetros físicos y fisiológicos críticos, por ejemplo, la movilidad, el ritmo cardíaco y los niveles de glucosa. Su característica de conectividad inalámbrica es la clave de su éxito, ya que garantiza la portabilidad y flexibilidad para el usuario. Supone un claro ejemplo de la interacción entre los dominios de la medicina, la ingeniería y las tecnologías de la información.

Se presentan nuevos conceptos como Internet de las cosas (internet of things, IoT) y machine-to-machine (M2M) que facilitan la interacción entre las personas, los objetos entre sí, y entre las personas y los objetos, en cualquier lugar y en cualquier momento. El concepto de mobile health (mHealth) se define como un mercado naciente dirigido a mejorar la calidad del cuidado de los pacientes y a reducir los costes de la atención sanitaria. Se basa en la comunicación más exacta y rápida de los cambios en la condición física del paciente, en la conectividad automática de los dispositivos médicos con la red hospitalaria, y la promoción del intercambio de datos médicos entre los hospitales y los grupos médicos tales como laboratorios o farmacias para reducir los costes de transacción.

**Palabras clave:** atención sanitaria, redes de área personal, tecnologías inalámbricas, ubicuidad, IoT, M2M, mHealth

### Capítulo III

#### ESTIMACIÓN DE NIVELES DE EMISIÓN DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN ENTORNOS INTERIORES COMPLEJOS

Leire Aizpilicueta, Francisco Falcone

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Pública de Navarra

La estimación de niveles de emisión de radiación no ionizante es una de las herramientas aplicables a la hora de realizar políticas activas de asesoramiento y control dosimétrico. En este apartado se analizarán los factores que influyen en la determinación de los valores de campo radiado para emisiones de alta frecuencia en entornos interiores. Se expondrán las técnicas de análisis empleadas, así como resultados obtenidos para diversos escenarios bajo consideración.

**Palabras Clave:** Radiación No Ionizante, Estimación Dosimétrica, Método determinista de Lanzado de Rayos 3D, Propagación Radioeléctrica.

### Capítulo IV

#### LOS DISPOSITIVOS DE CORTO ALCANCE PARA AMBIENTES ASISTIDOS DE CUIDADOS DE LA SALUD

M. Dolores Marcos, José Luis Bardasano

Departamento de Especialidades Médicas. Universidad de Alcalá de Henares Madrid

Victoria Ramos

Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud. Instituto de Salud Carlos III

Debido el ritmo al que se producen las innovaciones tecnológicas se ha considerado primordial llevar a cabo una búsqueda sistemática de publicaciones que aborden el uso de los dispositivos de corto alcance o SRD. El objetivo de esta revisión es determinar el grado de penetración real de estos dispositivos en la operativa sanitaria e identificar qué factores pueden influir en su aceptación o rechazo. Junto con una exposición sobre la tecnología disponible y el análisis de sus ventajas e inconvenientes, este artículo incide en la aportación de estos dispositivos en un nuevo modelo de atención al paciente, más personalizado y continuo, gracias a los Ambientes Asistidos AAL y las aportaciones del Internet de las Cosas.

**Palabras clave:** Dispositivos de corto alcance, revisión de literatura, ambientes asistidos, monitorización, enfermos crónicos, mayores.

### Capítulo V

#### EXPOSICIÓN A CAMPOS DE FRECUENCIA INDUSTRIAL EN MEDIOS OCUPACIONALES HOSPITALARIOS

Alejandro Úbeda, María Antonia Martínez, María Antonia Cid, Lucía Chacón y María Ángeles Trillo

Servicio de Investigación - BEM, Hospital Ramón y Cajal - IRYCIS, Madrid

Se ha propuesto que la exposición ocupacional crónica a campos magnéticos (CM) de frecuencia extremadamente baja (ELF) podría representar un factor de riesgo para una serie de trastornos de la salud. Los trabajadores sanitarios y técnicos de los hospitales pueden verse expuestos a campos ELF relativamente elevados. El objetivo del presente trabajo es caracterizar la exposición a CM en un rango de frecuencias de entre 5 Hz - 2 kHz en un gran hospital, a través de mediciones ambientales puntuales y de monitorización personal de los trabajadores. El estudio se llevó a cabo en diferentes entornos de un hospital con más de 4.000 empleados, muchos de los cuales trabajan en dos o más puestos diferentes y, en consecuencia, están expuestos a niveles de CM de distribución heterogénea en el espacio y en el tiempo. Los resultados indican que: (1) La frecuencia dominante en los ambientes estudiados era de 50 Hz ( $90,8 \pm 6\%$  del valor total B de exposición); (2) La información que mejor describe la exposición del trabajador se obtiene de la monitorización personal; (3) Las medias aritméticas de los niveles de exposición obtenidos de la monitorización osciló entre  $0,03 \pm 0,01 \mu\text{T}$  en enfermeras y  $0,39 \pm 0,13 \mu\text{T}$  en los fisioterapeutas, y (4) La descripción del entorno magnético mediante mediciones puntuales en el lugar de trabajo, aunque coherente con los datos de la monitorización personal podría no estimar adecuadamente la exposición a CM en algunas categorías profesionales.

**Palabras clave:** campos magnéticos, ELF, dosimetría, exposición ocupacional.

## SUMMARY

### TECHNOLOGICAL INNOVATION FOR HEALTH AND PERSONAL ELECTROMAGNETIC SAFETY

**Authors:** Ramos V, García-Santesmases P, De Miguel-Bilbao S, García J, Roldán J, Falcone F, Azpilicueta L, Marcos M.D, Bardasano J.L, Úbeda A, Martínez M.A, Cid M.A, Chacón L, Trillo M.A, García-Santesmases, M.  
**Contact:** Victoria Ramos, vramos@isciii.es **Date:** December 2013. **Pages:** 96 **References:** 121. **Price:** Free on-line versión. **Language:** Spanish. **English abstract:** Yes. **NIPO on line:** 725130291 **Technologies:** e-Health and EM safety. **MeSH keywords:** Spain, Telemedicina, innovación en Plataformas de e-salud, modelos conceptuales, servicios TICs en crónicos y ancianos, atención sanitaria, redes de área personal, tecnologías inalámbricas, ubicuidad, Radiación No Ionizante, Estimación Dosimétrica, Método determinista de Lanzado de Rayos 3D, Propagación Radioeléctrica, Dispositivos de corto alcance, revisión de literatura, ambientes asistidos, monitorización, enfermos crónicos, mayores, campos magnéticos, ELF, dosimetría, exposición ocupacional, Innovation. e-health business models. Telemedicine and Ageing, healthcare, body area networks, wireless technologies, ubiquity, internet of things (IoT), machine-to-machine (M2M), mobile health (mHealth), Non-Ionizing Radiation, Dosimetric Estimation, Deterministic 3D Ray Launching Wireless Propagation, Short Range Devices, literature review, Assisted livings, monitoring, chronic illness, elderly, Magnetic field, ELF, dosimetry, occupational exposure.

### TECHNOLOGICAL INNOVATION FOR HEALTH AND PERSONAL ELECTROMAGNETIC SAFETY

#### SUMMARY

Nowadays we understand innovation not only as the private sector production of new products, processes or services, but also as a wide mix of actions focused on that knowledge, every kind of knowledge, will be on the basis of economic growth. The new strategy of "Europe 2020" also defines social innovations as new ideas (products, services and models) that simultaneously meet social needs (more effectively than alternatives) and create new social relationships or collaborations.

The e-health sector, given its inclusive character, its transversal ICT and social care activities and its potential to develop social innovation models, is envisioned as one of the motors for the future of economic and sustainable growth.

The significant progress in wireless technologies has caused a great growth of personal communications. The development of wireless communications has affected almost every day-to-day activity, such as: household activities, occupational, leisure, sports, displacements, and human relationship, which has caused an increasing interest in ubiquitous communications.

The expanding of the use of new applications based on wireless technologies has involved the increase of the levels of electromagnetic fields (EMF) in both the working and living environments. EMF are generated by a great range of radiation sources, such as: electrical equipment, personal communication devices, office equipment and consumer products. The use of wireless communications affects the electromagnetic environment, so there is an implicit need to assure the safety of people as well as it is necessary to guarantee the correct working conditions of electric and electronic equipment and electromedical devices, being necessary the compliance with all the recommended standards. In these conditions, where there is a potential risk for the human health, the simulation procedures facilitate the prevention and detection of possible hazardous situation for the general public.

Healthcare environments are especially sensible to the exposure of CEM. We must not forget that healthcare environments can be considered as sources of non-ionizing radiation. Hospitals are equipped with devices and equipments whose working conditions are based of the emission of radiations. It is worth mentioning the new sensor networks that aim the monitoring of patients and physiological parameters, being possible their use anywhere and anytime.

The short range technologies provide direct benefits in healthcare applications such as, assistance in distress situations and accidents, health emergencies, and the monitoring of physical and physiological parameters of daily life. These healthcare applications are provided through next generation devices that enable communications between objects themselves and between the objects and people. The special implication of these devices with welfare and safety requirements involves a special interest in its operating conditions as well as in promoting correct habits of use.

## Chapter I

### PROMOTING e-HEALTH INNOVATION

Pilar García-Santemases, Victoria Ramos

Telemedicine and e-Health Research Unit, Instituto de Salud Carlos III, Madrid

Miguel García-Santemases

Sistemas-Business Analytics INDRA

Nowadays we understand innovation not only as the private sector production of new products, processes or services, but also as a wide mix of actions focused on that knowledge, every kind of knowledge, will be on the basis of economic growth. The new strategy of “Europe 2020” also defines social innovations as new ideas (products, services and models) that simultaneously meet social needs (more effectively than alternatives) and create new social relationships or collaborations.

The e-health sector, given its inclusive character, its transversal ICT and social care activities and its potential to develop social innovation models, is envisioned as one of the motors for the future of economic and sustainable growth.

From the point of view of research and innovation incentives, the European Union has developed an e-Health Action Plan 2012-2020 - Innovative healthcare for the 21st century- That looks to address several of the most pressing health and health systems challenges. One of the priorities of the research and innovation supporting areas will be: new digital media, web and mobile technologies and applications, as well as digital instruments that integrate healthcare and social care systems and support health promotion and prevention.

Some of the new e-health assistive business models are going to come from the provision of services addressing the active empowerment of the patients (users); web interactive platforms to promote and stimulate their physical and mental capabilities; the development of prevention strategies to control specific illnesses or age related conditions. The control of the EMF effects on smart homes as well as the development of new e-health learning capabilities to answer the challenge of new occupational working conditions- ambient-assisted working- will be other areas of interest to develop in the near future.

**Keywords:** Innovation. e-Health business models. Telemedicine and Ageing

## Chapter II

### TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES FOR UBIQUITOUS HEALTHCARE

Silvia de Miguel-Bilbao, Jorge García, José Roldán; Victoria Ramos

Telemedicine and e-Health Research Unit, Instituto de Salud Carlos III, Madrid

Nowadays, the introduction of wireless communication systems in healthcare environments has encouraged the improvement in the efficiency of patient care and health management. It should be noted the following scenarios of applicability: hospital management networks, telemedicine networks and body area networks (BAN).

The rapid increase of the demand of ubiquitous healthcare has led to a growing interest in the development of BANs. BAN technology consists on a network of continuously operating sensors, which measure critical physical and physiological parameters e.g., mobility, heart rate, and glucose levels. One of the main features of this type of networks is the wireless connectivity that is the key to its success as it grants portability and flexibility to the user. The increasing implementation and continuous improvement of wireless connectivity in healthcare applications is a clear example of the interaction between the followings domains of knowledge: medicine, engineering and information technology.

The new systems of communication based on emerging wireless technologies facilitate interaction between people, objects together, and between people and objects, anywhere and at any time. It presents new concepts such as internet of things (internet of things, IoT) and machine-to-machine (M2M). This chapter takes a closer look at these applications, specifically with regard to the healthcare industry and their underlying link technologies. The interconnection of objects has led to the birth of the term IoT, which comprises three fundamental concepts: union between low cost and high performance, high scalability connection and cloud-based mass device management and services.

With the concept of mobile health (mHealth) it is defined a nascent market aimed at improving the quality of patient care and reducing healthcare costs. The improvement of the patient care is based on the more accurate and faster reporting of changes in the patient’s physical condition, the automated connectivity of medical devices to the hospital network, and the promoting of the exchange of medical data between hospitals and medical groups such as laboratories or pharmacies to lower transaction costs.

**Keywords:** healthcare, body area networks, wireless technologies, ubiquity, internet of things (IoT), machine-to-machine (M2M), mobile health (mHealth).

### Chapter III

#### ESTIMATION OF NON-IONIZING RADIATION LEVELS IN COMPLEX INDOOR SCENARIOS

Leire Aizpilicueta, Francisco Falcone

Electrical and Electronic Engineering Department. Public University of Navarra

One of the fundamental tools in order to provide assessment on non-ionizing radiation exposure levels is to provide estimation of such levels produced by radiofrequency sources. The use of the electromagnetic spectrum is becoming more and more intensive, mainly due to the advance in the use of mobile terminals as well as in the advent of context aware scenario, such as those given by Ambient Assisted Living or Smart Cities. In this sense, not only the evolution of Public Land Mobile Networks, from existing 3G voice and data networks to Long Term Evolution systems will play a key role, but also the growth in the use of Wireless Sensor Networks. In this later case, different type of Personal Area Networks and Body Area Network devices can potentially be deployed in order to provide as ambient sensing elements, as well as for real time monitoring of biomedical signals. The final outcome is an heterogeneous wireless environment, in which several devices will be operating under different modulation and coding schemes, with different power requirements and in different frequencies bands.

The density of this type of Wireless Sensor Networks will be in comparison larger in indoor environments, given by the trends in home automation systems as well as in e-Health and m-Health devices. This requires the analysis of electromagnetic field levels within these indoor environments, in which complex radioelectric phenomena, such as diffraction, scattering and material absorption are predominant. In this section, an overview of the topological and morphological impact on wireless channel behavior and hence, on signal level estimation will be presented. Several test cases will be derived for mobile systems as well as for wireless sensor networks. The use of deterministic tools in order to estimate impact of multiple systems operating within an indoor environment can aid in effective assessment and adoption of minimization techniques due to RF field exposure.

**Keywords:** Non-Ionizing Radiation, Dosimetric Estimation, Deterministic 3D Ray Launching Wireless Propagation

### Chapter IV

#### SHORT RANGE DEVICES (SRD) IN ASSISTED LIVINGS FOR HEALTHCARE

M. Dolores Marcos, José Luis Bardasano

Departamento de Especialidades Médicas. Universidad de Alcalá de Henares Madrid

Victoria Ramos

Telemedicine and e-Health Research Unit, Instituto de Salud Carlos III, Madrid

In order to address the current state of the art in Short Range Devices, systematic reviews are essential. The aim of our review is both clarify the real use of Short Range Devices in Healthcare and identify what factors influencing health managers' acceptance or rejection of those supplies. This article exposes available technologies and analyzes advantages and disadvantages. However the main goal is to stress SRD contributions in a new more personalized and continuous patient caring approach, supported by smart and assistive environments AAL within the Internet of Things paradigm.

**Keywords:** Short Range Devices, literature review, Assisted livings, monitoring, chronic illness, elderly.

### Chapter V

#### CHARACTERIZATION OF OCCUPATIONAL EXPOSURE TO LOW FREQUENCY MAGNETIC FIELDS IN HOSPITALS

Alejandro Úbeda, María Antonia Martínez, María Antonia Cid, Lucía Chacón y María Ángeles Trillo

Servicio de Investigación - BEM, Hospital Ramón y Cajal - IRYCIS, Madrid

It has been proposed that occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields (ELF MF) could be a risk factor for a number of disorders. Hospital personnel have been reported to be potentially exposed to relatively strong MF. The present study aims to characterize exposure to 5 Hz – 2 kHz MF of hospital workers through instantaneous environmental measurements and personal monitoring. The study was conducted in different occupational environments of a hospital with more than 4000 employees, many of them working at two or more different working stations and consequently, exposed to field levels unevenly distributed in space and time. The obtained results indicate that: (1) The dominant MF frequency at the studied environments was 50 Hz; (2) The most complete description of the actual exposure was provided by personal monitoring; (3) The arithmetic averages of exposure values obtained from the monitoring ranged from  $0,03 \pm 0,01 \mu\text{T}$  in nurses to  $0,39 \pm 0,13$

$\mu\text{T}$  in physiotherapists; (4) The description of the MF environment through spot measurements, although coherent with the data from personal monitoring, might misestimate MF exposure in some of the studied professional categories.

**Key words:** Magnetic field, ELF, dosimetry, occupational exposure.

## I. HACIA NUEVOS ESPACIOS INNOVADORES EN e-SALUD

*Pilar García-Santesmases, Victoria Ramos*

email: psantesm@isciii.es

*Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud. Instituto de Salud Carlos III, Madrid*

*Miguel García-Santesmases*

*Sistemas-Business Analytics INDRA*

### 1.1. NUEVOS ESPACIOS DE INNOVACIÓN

En la actualidad la innovación se contempla no sólo como una simple creación de productos o servicios por las empresas, sino como un amplio conjunto de acciones orientadas a que el conocimiento, toda clase de conocimiento, se convierta en la base fundamental del crecimiento económico. El desarrollar y fomentar la innovación entendiéndola como [Martin Schuurmans. 2010] “Innovation is producing something new, whether that is a service, a product or the development of a new market” es en estos momentos vital para mejorar nuestra competitividad y posicionarnos en los próximos años.

El concepto de innovación ha ido evolucionando en estos últimos años. Dentro del marco de la UE [COM (2000)] ya en el año 2000, se contempla la innovación desde un enfoque sistémico, no lineal, como suma de interacciones complejas que integran en un todo el factor humano, las organizaciones y las tecnologías. Posteriormente, se comienza a hablar de la necesidad de incorporar toda la cadena de valor en el diseño y desarrollo de actividades de I+D+I.

Por otro lado, la Escuela de Negocios de la Universidad de Stanford, define la innovación social como una “solución que resulte novedosa, efectiva, eficiente, sostenible y justa para una necesidad o problema social y que es mejor a las aproximaciones existentes, atacando problemas de la sociedad como un todo y no de un solo sector de individuos”. Esta definición, incluye por tanto no sólo desarrollos con un componente tecnológico, sino todos aquellos cambios que se dirigen a la introducción de mejoras en calidad de vida y bienestar.

En este sentido, la estrategia de crecimiento Europa 2020 de la Comisión hace referencias expresas a la innovación en general y a la innovación social en particular. La innovación social se considera cada vez más como un modo de compensar la ineficacia tanto del Estado como de la economía al abordar no solo la pobreza, sino retos mayores como el envejecimiento de las sociedades y el cambio climático. La **BEPA** define la innovación social como nuevas ideas (productos, servicios y modelos) que permiten superar simultáneamente desafíos sociales, satisfacen necesidades sociales y generan nuevas relaciones sociales entre los grupos en cuestión.

Diversos estudios coinciden, además, en señalar la capacidad innovadora de un país —es decir, la capacidad para integrar la innovación en el conjunto de su economía y su tejido productivo— como el principal factor diferenciador entre países desarrollados y países de economías avanzadas. [Global Competitiveness Report 2003].

Esta nueva realidad en la orientación y en las estrategias de desarrollo caracterizada por una progresiva interdependencia, pluridisciplinariedad y globalización en el diseño de programas y políticas en el campo de la I+D+i; una aceleración en la competencia tecnológica y en la captación de recursos y la aparición de nuevos escenarios en la gestión de la I+D, obliga a establecer tanto en el ámbito de las políticas públicas nacionales como en el marco de la UE, Planes y Estrategias dirigidas a promover y fomentar este nuevo enfoque.

## **1.2. INNOVACIÓN Y E-SALUD**

Europa, en plena crisis financiera, en el año 2010, aprobó una estrategia para salir reforzados que basa el crecimiento en la conjunción de tres pilares, inteligente, sostenible e integrador [COM (2010)]. “... en cuanto al crecimiento inteligente significa la consolidación del conocimiento y la innovación como impulsores de nuestro crecimiento futuro. Esto requiere mejorar la calidad de nuestra educación, consolidar los resultados de la investigación, promover la innovación y la transferencia de conocimientos en toda la Unión, explotar al máximo las TIC y asegurarse de que las ideas innovadoras puedan convertirse en nuevos productos y servicios que generen crecimiento y empleos de calidad y que ayuden a afrontar los retos derivados de los cambios sociales en Europa y en el mundo...”

El sector de la e-salud por su carácter integrador, su actuación transversal en los entornos TIC y socio-sanitarios y su capacidad para incorporar modelos de innovación social en sus desarrollos, se percibe como uno de los vectores para impulsar la innovación en el ámbito europeo. En este sentido, la UE ha elaborado [COM (2012)] un Plan dirigido a promover el desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) que aplicadas a los sistemas sanitarios pueden hacerlos más eficaces, mejorar la calidad de vida e impulsar la innovación en los mercados de la salud.

## **1.3. MODELOS DE E-SALUD**

Pero cuando se habla del negocio de la e-salud [García-Santesmases y Monteagudo (2006)] hay que ser conscientes que esto implica la coexistencia de múltiples modelos de negocios, que parecen, pero no son iguales, ni se dirigen a los mismos colectivos, ni buscan los mismos resultados, ni siquiera cuentan con los mismos clientes ni con el mismo tipo de profesionales, tanto a la hora de su diseño, como en su desarrollo.

Desde el punto de vista de la oferta: La tecnología, nuevos hábitos de consumo, modos de vida cambiantes, nuevas generaciones y transformaciones socio-laborales están en la base de las ideas a las que recurren los emprendedores para poner en marcha sus nuevas empresas.

Desde el punto de vista de la demanda: a la hora de analizar estos modelos los podemos subdividir en cuatro apartados.

- Herramientas especializadas para profesionales sanitarios y transmisión de datos de unas instituciones a otras.
- Sistemas no clínicos dirigidos fundamentalmente a pacientes.

- Cuidados basados en la telemedicina. Interacción entre los pacientes y los proveedores de servicios sanitarios.
- Historia clínica electrónica.

#### **1.4. PRIORIDADES EN INNOVACIÓN EN E-SALUD**

Centrándonos específicamente en los Cuidados basados en la telemedicina, [COM (2012)], se han definido cuatro ejes de actuación enmarcados en el epígrafe de «Salud, cambio demográfico y bienestar» para el periodo comprendido entre 2014 y 2020 y que incluyen los ámbitos siguientes:

- Ciencia e ingeniería computacionales y de las TIC de cara a una medicina digital, personalizada y predictiva que incluya modelizaciones y simulaciones avanzadas.
- Instrumentos, herramientas y métodos innovadores para revelar el valor de los datos y de cara a unos análisis, diagnósticos y tomas de decisiones avanzados.
- Nuevas tecnologías y aplicaciones móviles, de Internet y de medios digitales, así como instrumentos digitales que integren los sistemas de asistencia sanitaria y social y que apoyen la promoción de la salud y la prevención.
- Sistemas y servicios de salud electrónica con alta participación de los usuarios, que hagan hincapié en la interoperabilidad y la integración de las nuevas tecnologías centradas en los pacientes de cara a una atención sanitaria rentable.

Desde el Marco Europeo se busca, por tanto, mediante el liderazgo de actuaciones en el campo de la salud electrónica dar respuestas mediante actuaciones integradoras, a los múltiples desafíos que en la segunda mitad del siglo XXI habrán de enfrentar los países desarrollados en materia de salud y sistemas sanitarios.

#### **1.5. CONSTRUYENDO EL FUTURO DE LOS MODELOS DE E-SALUD-ASISTIVOS. RETOS Y OPORTUNIDADES.**

Refiriéndonos en concreto al desarrollo del vector de -nuevas tecnologías y aplicaciones móviles, de Internet y de medios digitales- se vislumbran que es en el tratamiento de crónicos, los programas de prevención y promoción de la salud y el desarrollo de estrategias preventivas para enfermedades específicas o condiciones ligadas a la edad, donde habrá posibilidades claras de avanzar en nuevos nichos de mercado. Las futuras intervenciones se enfocaran a desarrollar aplicaciones asistivas que puedan ayudar a mejorar la salud general, la calidad de vida percibida y en definitiva posibilitar una vida más satisfactoria de la población, a través de

- Sistemas que permitan detección temprana de enfermedades.
- Sistemas que ayuden en el cuidado de personas mayores
- Sistemas que promueven una vida saludable.
- Sistemas que mejoren el seguimiento mediante cuidados progresivos y continuados.

Por un lado, proveer servicios que tengan que ver con facilitar la capacitación del usuario-paciente, desarrollo de herramientas de búsqueda y opinión con múltiples y aumentadas capacidades. Pero, también, estudiar las nuevas posibilidades de conectar y localizar a un nivel hiperlocal a los usuarios; satisfacer sus necesidades de manera personalizada; aconsejar y guiar, etc.

Un gran número de mayores desean envejecer en su hogar, la oferta a este colectivo de entornos asistidos y orientados al abordaje de la cronicidad y dirigidos a la prevención de la fragilidad y a facilitar la vida independiente, está generando a su vez nuevas oportunidades.

A este respecto se están desarrollando plataformas interactivas que mediante la utilización de técnicas específicas, entre otras de herramientas de juegos on-line, facilite el estímulo y control de habilidades cognitivas, mejorando su desempeño, la memoria y otros factores ligados a la vida diaria.

El nuevo e-hogar, o hogar inteligente, que se percibe, conllevará también la creación de nuevos productos dirigidos a controlar, valorar y minimizar los efectos que en el corto y medio plazo supondrá la existencia en los hogares de todo tipo de dispositivos llevables, tecnología de presencia, sistemas dirigidos a prevenir el deterioro, sensores inteligentes que midan parámetros fisiológicos para su posterior transmisión a través de redes, robots de ayuda para la discapacidad, etc.

Sin olvidar los dispositivos implantables en el cuerpo humano como marcapasos, implantes cloqueares, implantes para control de la obesidad, bio-nano sensores, etc. Así como la previsible necesidad de contar con estudios de bio-tic-arquitectura dirigidos a medir, definir y diseñar variables para la optimización de localización.

## **1.6. LIDERAZGO DE LA UNIÓN EUROPEA EN INNOVACIÓN Y E-SALUD**

### **1.6.a. E-Salud y envejecimiento**

La Comisión consciente del potencial que implica el desarrollo del desafío derivado del envejecimiento de la población [Ageing Report, 2012], fomenta desde 2012 la participación de los Estados miembros en la Asociación Europea para la Innovación sobre un Envejecimiento Activo y Saludable, con la finalidad de ayudarlos a desarrollar y compartir sus estrategias de salud electrónica nacionales y regionales, teniendo en cuenta las recomendaciones internacionales y aplicando soluciones prometedoras para un envejecimiento activo y saludable a mayor escala.

Es interesante a estos efectos consultar la página web de la Asociación, [http://ec.europa.eu/health/ageing/innovation/index\\_es.htm](http://ec.europa.eu/health/ageing/innovation/index_es.htm), que a través de un programa piloto busca aumentar en dos años la esperanza de vida con buena salud de los europeos de aquí a 2020 a través de: La mejora de la salud y la calidad de vida, en especial de la gente mayor; unos sistemas de asistencia sanitaria y social sostenibles y eficaces a largo plazo; el aumento de la competitividad de la industria de la UE a través de las empresas y la expansión en nuevos mercados. A través de la herramienta <https://webgate.ec.europa.eu/eipaha/> se pueden buscar partenaire, proponer líneas de actuación, liderar proyectos o conocer iniciativas similares en las que se está trabajando o se piensa trabajar.

CommonWell, INDEPENDENT, inCASA, CLEAR DREAMING, son algunos de los muchos proyectos que están investigando en este campo, auspiciados por el programa de competitividad e innovación. <http://ec.europa.eu/cip/>

### **1.6.b. Capacitación del paciente**

El crecimiento del mercado de los servicios de salud y bienestar ha coincidido una explosión del número de aplicaciones informáticas para dispositivos móviles. Estas aplicaciones pueden ofrecer información, herramientas de diagnóstico, posibilidades de autocuantificación y nuevas modalidades de asistencia. Según un informe reciente, se prevé que en 2015 las aplicaciones de mHealth sean usadas por 500 millones de personas en todo el mundo y que el mercado global de aplicaciones apps en salud (mHealth) puedan alcanzar los 26 billones de dólares para 2017.

Desde el punto de vista del paciente, usuario final, esta nueva oferta acrecentará las demandas dirigidas a los proveedores de servicios de salud, sean éstos farmacias, profesionales o centros sanitarios, de forma que les faciliten asistencia y seguimiento de su cronicidad y apoyo en su tratamiento, vía las nuevas herramientas TIC, utilización de tecnologías móviles, desarrollo de apps, etc, lo que previsiblemente ampliará la cartera de servicios y fomentará la competencia entre estos proveedores.

Estos nuevos desarrollos obligaran a revisar el papel que los operadores de redes, los proveedores de equipos, los desarrolladores de programas informáticos y los profesionales de la salud, pueden desempeñar en la cadena del valor en el sector de los servicios de salud.

A estos efectos, es interesante apuntar que la entrada en vigor de la [Directiva 2011], sobre asistencia sanitaria transfronteriza, abre nuevas posibilidades en la oferta de provisión y financiación de servicios que cubran el espacio europeo, lo que amplía el campo de acción y genera nuevas perspectivas y oportunidades de negocio.

La Comisión ha puesto en marcha el proyecto epSOS —Servicios abiertos e inteligentes para pacientes europeos— Se considera en la actualidad el mayor proyecto europeo en eSalud e interoperabilidad cofinanciado por la Comisión europea. Su objetivo es mejorar la atención sanitaria de los ciudadanos cuando están fuera de su país, y permitiendo a los profesionales de la salud de cualquier país participante en epSOS acceder a sus datos médicos. Se sugiere conectar con la web para conocer las funcionalidades, posibilidades y líneas de trabajo, <http://www.epsos.eu/>

## **1.7. CULTURA SANITARIA DIGITAL Y NUEVOS PERFILES DE TRABAJO**

Por otra parte, el desarrollo de estos nuevos servicios, productos y procesos conllevará la necesidad de desarrollar actividades de formación y capacitación dirigidas a profesionales y usuarios-pacientes para facilitarles la gestión de su salud-enfermedad, sobre indicaciones de uso, análisis de especificaciones, normas para seguridad electromagnética, guías de buenas prácticas, etc.

A partir de 2013, primero mediante el Programa Marco para la Innovación y la Competitividad y luego al amparo de la iniciativa Horizonte 2020, la Comisión apoyará las actividades destinadas a aumentar la cultura sanitaria digital de los ciudadanos. De cara a los profesionales (comunidades científica y sanitaria), se hará hincapié en la elaboración de directrices de prácticas clínicas basadas en pruebas para los servicios

de telemedicina, haciendo especial hincapié en los trabajadores de enfermería y asistencia social.

Un proyecto liderado por el IPTS, CARICT (‘care’ and ‘ICT’), refiere que se necesitarán trabajadores en el entorno de las TIC y los cuidados sanitarios con nuevas habilidades en el manejo, conocimiento y comprensión relacionados con las tecnologías asistivas. Señala la aparición de nuevos perfiles de trabajo de apoyo en los cuidados sanitarios en el hogar con experiencia en el empleo de estas nuevas tecnologías AAL

En materia de salud y seguridad en el trabajo, [EU-OSHA. 2013] está asimismo trabajando en diversas líneas tendentes a promover e incentivar no sólo la calificación y formación continua de los trabajadores en la utilización de las nuevas tecnologías (TIC) y en concreto en su aplicación a entornos de salud y seguridad en el trabajo, sino que se subraya la necesidad de contar con nuevas investigaciones sobre los efectos que sobre el trabajador pueden generar estas nuevas formas de trabajo caracterizadas por un aumento en el número de horas trabajadas, incremento en la complejidad de las tareas y creciente dificultad en discernir entre información significativa e insignificante.

## 1.8. OPORTUNIDADES EN E-SALUD LABORAL. TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y GESTIÓN DEL RIESGO

Es interesante mencionar a estos efectos una nueva línea de actuación que bajo las mismas coordenadas del “ambient-assisted living” busca generar nuevos marcos flexibles de trabajo, “**ambient-assisted working**”, que tengan en cuenta a todo tipo de trabajadores, incluyendo a trabajadores con discapacidades y trabajadores mayores, lo que abre una línea de trabajo enfocada a generar productos y servicios que busquen soluciones a estos nuevos entornos, así como a trabajar en nuevos protocolos y guías de utilización y usabilidad.

Es un hecho la creciente implantación de nuevos sistemas de tecnologías inalámbricas emergentes en diversos entornos como son el doméstico, laboral, y por supuesto el sanitario. En especial las aplicaciones de sistemas de la información basadas en tecnologías de corto alcance, SRD, caben destacar RFID, Bluetooth (BT), ZigBee, ANT, Ultra Wide Band (UWB), Wi-Fi, Near Field Communication (NFC) Estos nuevos sistemas presentan/ facilitan la interacción entre personas, objetos entre sí, y entre personas y objetos en cualquier lugar y en cualquier momento. Lo que se ha definido bajo el concepto de internet de las cosas.

Por otra parte, sobre todo en ambientes de creciente tecnificación, se subraya la necesidad de buscar nuevas evidencias científicas sobre el análisis de límites de exposición en EMF y MFI de trabajadores, en particular en los ambientes hospitalarios, lo que se traduce en nuevas oportunidades en el diseño y desarrollo de soluciones innovadoras de compatibilidad de comunicaciones y seguridad electromagnética.

La [Directiva 2013] sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad por lo que respecta a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos), aprobada en junio de 2013, obligará a realizar nuevos estudios de valoración del riesgo. Se especifica que Las nuevas medidas deben tener como finalidad no solo garantizar la salud y la seguridad de cada trabajador por separado, sino también crear una base mínima de protección para

todos los trabajadores de la Unión, así como disminuir las posibles distorsiones de la competencia.

Tanto la iniciativa [http://www.cost.eu/domains\\_actions/bmbs/Actions/BM0704](http://www.cost.eu/domains_actions/bmbs/Actions/BM0704) centrada en la gestión del riesgo en tecnologías emergentes como el grupo de trabajo de [WHO 2012], sobre campos electromagnéticos, aglutinan grupos de actividad que están trabajando sobre los efectos de las tecnologías inalámbricas sobre la salud.

## **1.9. DESARROLLOS INNOVADORES EN EL MEDIO LARGO PLAZO**

Pero no solo se incentivan actuaciones desde el programa de I+D+I de salud y bienestar, sino que la Comisión está convencida de que en los próximos cinco a diez años va a cambiar la forma y el potencial de las industrias en todo el mundo y se crearán nuevos bienes y servicios [COM (2009)]. Se desconoce en qué consistirá una buena parte de los bienes y servicios que ofrecerá el mercado en el año 2020, pero el principal motor de su desarrollo será la utilización de tecnologías facilitadoras esenciales (TFE). Dentro de éstas se incluyen las tecnologías TIC y en concreto los sistemas de comunicaciones de identificación por radio frecuencia (Radio Frequency Identification, RFID).

Las TFE requieren un uso intensivo de conocimientos y están asociadas a una alta intensidad de I+D, ciclos rápidos de innovación, grandes inversiones de capital y empleos de alta cualificación. Estas tecnologías favorecen la innovación en procesos, bienes y servicios en toda la economía y revierten en todo el sistema.

Además, son pluridisciplinarias y repercuten en muchos ámbitos tecnológicos, con una tendencia hacia la convergencia y la integración. Las TFE pueden servir de ayuda a la vanguardia tecnológica en otros campos para sacar rendimiento de las inversiones en investigación. Los objetivos de investigación a más largo plazo refieren por tanto a líneas de actividad que pueden estimular sinergias entre las ciencias y las tecnologías relacionadas y acelerar los descubrimientos en el ámbito de la salud y el bienestar.

Pero no cualquier tecnología emergente tiene a su vez la condición de tecnologías con capacidad disruptiva, es decir tiene el potencial de alterar el status quo, la forma en la que las personas viven, trabajan y orientan su forma de vida. Dentro de esta definición un informe [McKinsey Global Institute 2013] identifica 12 tecnologías que pueden conllevar transformaciones económicas masivas y cambios radicales en los años venideros. Entre ellas se incluyen las aplicaciones de Internet móvil y Internet de las cosas. Esto se traducirá en nuevas necesidades de desarrollar guías, protocolos, para uso por las autoridades sanitarias, así como plantearán desafíos en los ámbitos legales, de seguridad, económicos y sociales que conllevara el desarrollo de investigaciones dirigidas a evaluar la complejidad de estos sistemas [Krotof and Junglas, 2008].

El nuevo plan estatal de investigación científica y técnica y de innovación 2013-2016, subraya asimismo la necesidad de impulsar un nuevo modelo de políticas de I+D+I y ocupa un lugar destacado el fomento de la investigación científica y técnica en la «frontera del conocimiento», asociado a modelos disruptivos que aun siendo claves para el liderazgo tecnológico de un país se caracterizan por la inestabilidad de las trayectorias y estándares tecnológicos, por ello se promueve la movilización de esfuerzos en áreas emergentes a partir de aproximaciones interdisciplinares y convergentes.

## 1.10. CONCLUSIONES

Por tanto a la hora de hablar de innovación y e-salud muchas son las líneas, programas y actividades que de una u otra forma integran la vertiente de apoyo e incentivación a la actividad innovadora. En el caso específico de las aplicaciones inalámbricas, móvil e internet, enfocadas al sector sanitario, las posibilidades en los próximos años vendrán desde proyectos orientados a las mejoras en la seguridad personal, tanto en entornos asistidos como en entornos laborales, hospitales y residencias; la puesta en el mercado de nuevos productos, procesos y servicios en los campos de la domótica, el hogar inteligente y los nuevos sistemas dirigidos a facilitar la vida independiente; las investigaciones relacionadas con la gestión del riesgo y el manejo estructurado de los datos sobre exposiciones de trabajadores a diferentes agentes, entre otros los EMF; o las nuevas herramientas web dirigidas a desarrollar modelos de prevención y promoción en el abordaje de la cronicidad y en el seguimiento de patologías específicas; sin olvidar los nuevos avances que en el largo plazo se generaran en productos derivados del desarrollo de tecnologías disruptivas; con el corolario de la necesidad de desarrollar actividades de capacitación para generar perfiles de trabajo adaptados a estos nuevos entornos del internet de las cosas.

## 1.11. REFERENCIAS

- [Ageing Report, 2012] The Health of older people in the European union 2012. Current state and future trends. European Commission. ISBN 978-92-79-19298-2.
- [COM (2000)] La Innovación en una Economía del Conocimiento Documento COM 2000/567 FINAL (20-9-2000).
- [COM 2009] COM(2009) 512 final. Preparar nuestro futuro: desarrollo de una estrategia común en la UE para las tecnologías facilitadoras esenciales.
- [COM (2010)] EUROPA 2020 Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.
- [COM (2012)] COM(2012) 736 final “Plan de acción sobre la salud electrónica 2012-2020: atención sanitaria innovadora para el siglo XXI”.
- [Directiva, 2011] DIRECTIVA 2011/24/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 9 de marzo de 2011, relativa a la aplicación de los derechos de los pacientes en la asistencia sanitaria transfronteriza.
- [Directiva, 2013] DIRECTIVA 2013/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 26 de junio de 2013, sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos).
- [EU-OSHA. 2013] Priorities for occupational safety and health research in Europe: 2013-2020. European Agency for Safety and Health at Work – EU-OSHA. 2013.
- [García-Santesmases y Monteagudo, 2006] García-Santesmases P., Monteagudo JL. Country Studies. Chapter 4 (The role of Kisa in Health care) pg 93-127. (L)Innovation and knowledge-Intensive Service Activities. Organización para la cooperación y desarrollo económico. ISBN 92-64-02273-2.OCDE 2006.
- [Global Competitiveness Report 2003] The Global Competitiveness Report, Institute for Strategy and competitiveness Harvard Business School. Global innovation Forum. Institute for the Future, Menlo Park California.
- [Krotof and Junglas, 2008] Vlad Krotof and Iris Junglas RFID as a Disruptive Innovation. 2008.
- [Martin Schuurmans. 2010] Martin Schuurmans, former Chairman of the EIT Governing Board at the Lisbon Council's 2010 Innovation.
- [McKinsey 2013] Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. McKinsey Global Institute. May 2013.
- [WHO 2012] <http://www.who.int/peh-emf/en/>

## II. POSIBILIDADES TECNOLÓGICAS PARA LA ATENCIÓN SANITARIA UBICUA

*Silvia de Miguel-Bilbao, Jorge García, José Roldán, Victoria Ramos*

Email: [sdemiguel@isciii.es](mailto:sdemiguel@isciii.es)

*Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud. Instituto de Salud Carlos III, Madrid*

### 2.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la introducción de sistemas de comunicaciones inalámbricas en entornos sanitarios ha fomentado la mejora en la eficiencia del cuidado del paciente y de la gestión sanitaria. Caben destacar los siguientes escenarios de aplicabilidad: redes de gestión hospitalaria, redes de telemedicina y redes de área corporal (body area network, BAN).

El rápido incremento de la demanda de atención sanitaria ubicua ha llevado a un creciente interés en el desarrollo de las BANs. La tecnología BAN consiste en una red de sensores que de manera continua miden parámetros físicos y fisiológicos críticos, por ejemplo, la movilidad, el ritmo cardíaco y los niveles de glucosa. Una de las principales características de ese tipo de redes es la conectividad inalámbrica que es la clave de su éxito, ya que garantiza la portabilidad y flexibilidad para el usuario. La creciente implantación y mejora continua de la conectividad inalámbrica en aplicaciones de atención médica es un claro ejemplo de la interacción entre los siguientes dominios del conocimiento: medicina, ingeniería, y tecnologías de la información.

Los nuevos sistemas de comunicación basados en tecnologías inalámbricas emergentes facilitan la interacción entre las personas, los objetos entre sí, y entre las personas y los objetos, en cualquier lugar y en cualquier momento. Se presentan nuevos conceptos como Internet de las cosas (internet of things, IoT) y machine-to-machine (M2M). Este capítulo aporta una mirada más de cerca a estas aplicaciones, especialmente enfocado al ámbito de la salud y a sus tecnologías de enlace correspondientes.

La interconexión entre objetos ha llevado al nacimiento del término IoT que consta de tres conceptos fundamentales: unión entre bajo coste y alto rendimiento, alta escalabilidad de conexión, y servicios y gestión de dispositivos basados en la nube.

En lo que respecta al concepto de mobile health (mHealth) se define como un mercado naciente dirigido a mejorar la calidad del cuidado de los pacientes y a reducir los costes de la atención sanitaria. La mejora del cuidado del paciente se basa en la comunicación más exacta y rápida de los cambios en la condición física del paciente, en la conectividad automática de los dispositivos médicos con la red hospitalaria, y la promoción del intercambio de datos médicos entre los hospitales y los grupos médicos tales como laboratorios o farmacias para reducir los costes de transacción.

## 2.2. REDES INALÁMBRICAS EN ENTORNOS SANITARIOS

El desarrollo de las tecnologías inalámbricas ha llevado a un incremento notable del uso de nuevos dispositivos de comunicaciones inalámbricos, apoyándose por el auge importante de la oferta de nuevos servicios de voz, video, acceso a internet móvil y transferencia de datos a alta velocidad. Estos nuevos dispositivos de comunicaciones móviles han irrumpido en prácticamente todos los ámbitos de la vida cotidiana incluyendo los entornos domésticos, de salud, laboral, incluso en los desplazamientos. Todo esto ha propiciado un gran interés en las comunicaciones ubicuas, buscando la conexión en cualquier lugar y en cualquier momento.

En el entorno sanitario la introducción de sistemas de comunicaciones inalámbricos ha fomentado la mejora en la eficacia del cuidado de los pacientes y de la gestión sanitaria. Cabe destacar los siguientes escenarios de aplicabilidad [Soomro 2007]:

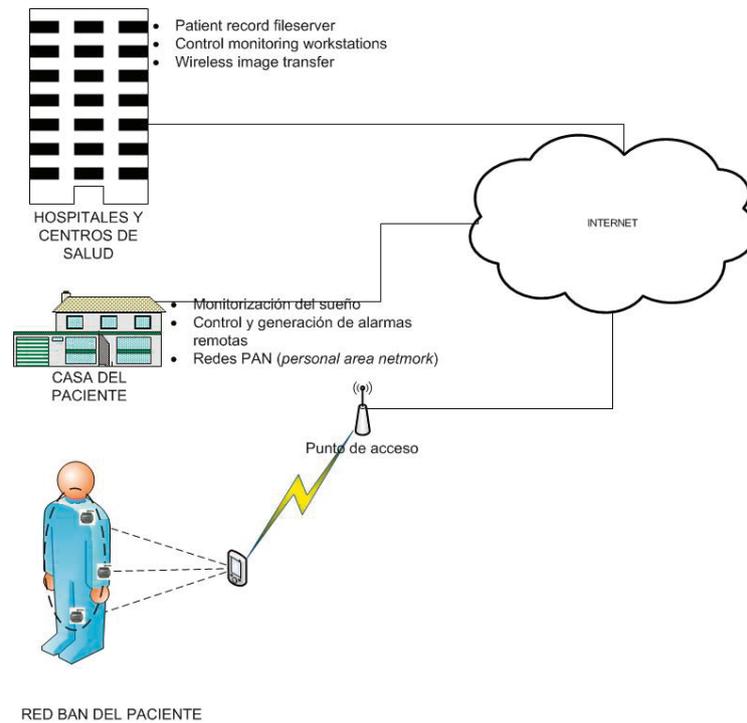
— Redes de gestión hospitalaria: la infraestructura de red de los hospitales no sólo proporciona los servicios típicos de transferencia de información (intranet, email, conectividad web, servicios corporativos del hospital, etc...), si no que también proporciona una amplia variedad de aplicaciones médicas, entre las que se incluyen: almacenamiento, recuperación y procesamiento de la información del paciente, transferencia de imágenes y vídeo, acceso a historias clínicas, etc.

— Redes de atención domiciliaria, servicios de teleasistencia: una característica intrínseca de las aplicaciones móviles es la ubicuidad, esto permite que algunos servicios de atención sanitaria que no sean especialmente críticos puedan ofrecerse de forma remota en los domicilios de los pacientes evitando los costes asociados, como son los desplazamientos de los pacientes. En este apartado tienen especial mención los dispositivos de telemetría portables de control de parámetros biológicos como pueden ser: pulsímetro, pulsioxímetro, básculas, etc..., los cuales están provistos de conectividad Wi-Fi y/o Bluetooth (BT), siendo capaces de generar una alarma al servidor central en el caso que se detecte algún tipo de anomalía.

— Redes ubicuas de atención sanitaria: este tipo de redes permiten la atención y asistencia del paciente independientemente de cuál sea su localización. Se trata de redes de área personal formadas por dispositivos de telemetría y un dispositivo que actúa como pasarela y/o router, como por ejemplo un smart phone que recoge la información de los sensores enviándolos al centro de control.

Estos tres escenarios se ilustran en la [Figura 1](#):

Figura 1. Escenarios de aplicabilidad de redes de comunicaciones en entornos sanitarios y del cuidado del paciente



La mayoría de las soluciones descritas en los dos últimos apartados se basan en uno o más tipos de sensores llevados por el paciente, formando una red de área corporal (body area networks, BAN), y uno o más tipos de sensores desplegados en el entorno formando una red de área personal (personal area networks, PAN) [Alemdar 2010].

En la implantación de este tipo de redes participan diferentes dominios interdisciplinarios que se muestran en la [Figura 2](#).

Figura 2. Dominios interdisciplinarios de colaboración para la implantación de redes de sensores en el ámbito sanitario



Diversos campos interdisciplinarios como la informática, la ingeniería y la medicina trabajan conjuntamente para proporcionar redes de sensores corporales portátiles e implantables (wearable and implantable body sensor networks, WIBSNs) [Darwish 2011].

### 2.2.1. Body Area Networks (BAN)

Hoy en día, un aspecto importante en el cuidado de la salud es la asistencia continua de pacientes de forma remota mediante redes de sensores inalámbricos. Los sistemas BAN consisten en redes de sensores para el cuidado de la salud junto con una infraestructura de red, evitando la necesidad de un sistema de salud administrado de forma manual, y que además permite a los usuarios tomar el control de sus problemas de salud en el futuro.

Las redes BAN han tenido el potencial de revolucionar la asistencia sanitaria en las ambulancias, salas de urgencias, quirófanos, salas de recuperación postoperatoria, clínicas y hogares.

Este tipo de redes se caracterizan por los siguientes componentes:

- Los nodos de la red son sensores o dispositivos de telemetría que recogen los parámetros biológicos y los envían al router o Gateway.
- El router y/o gateway, será típicamente un smart phone que recopila la información detectada por los sensores para luego transmitirla al centro de control.

En cuanto al tipo de interfaces que conforman las BAN, es interesante considerar los siguientes tipos:

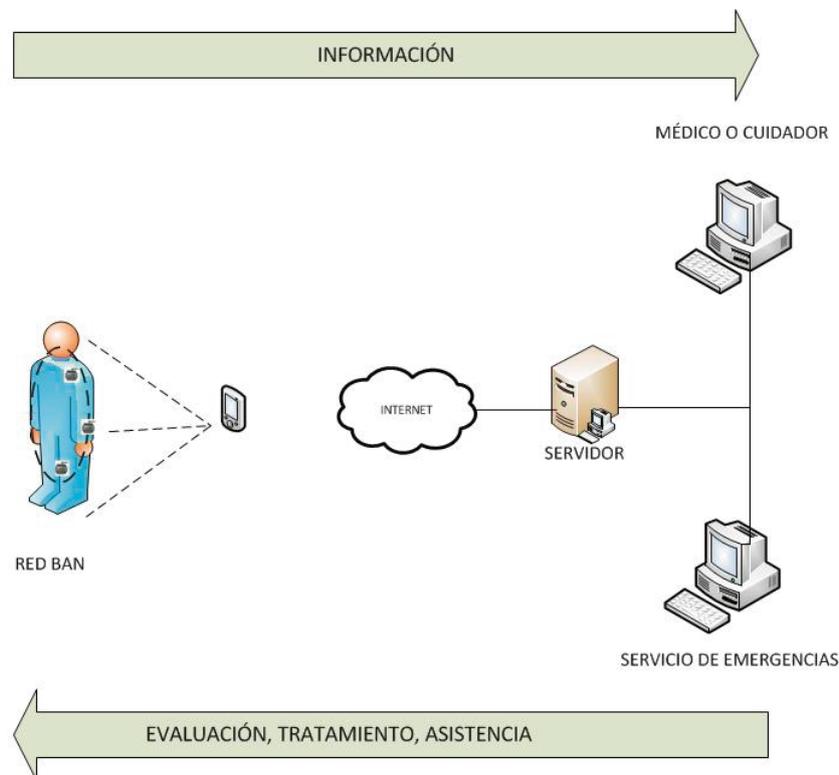
- Interfaz de red de corto alcance, que conecta los dispositivos de telemetría con el router o Gateway.
- Interfaz de red de largo alcance, que permite la conectividad entre el router con el centro de control. Este tipo de red puede ser inalámbrica o bien cableada.

Idealmente, buscando la mayor ubicuidad en el cuidado del paciente se persigue que todas las redes tengan cierta independencia por lo que se presupondrá siempre que las interfaces de red de las BANs sean inalámbricas. De esta forma este tipo de plataformas se pueden integrar dentro del concepto denominado de m-healthcare [Ren 2010] que se caracteriza por soluciones móviles garantizando la ubicuidad. M-healthcare (o cuidado portátil de la salud) se concibe cada vez más como una aplicación potencial de la computación ubicua para mejorar la calidad y la eficiencia de la atención sanitaria, que precisa de un considerable desarrollo de los sensores corporales portátiles.

La tecnología BAN está basada en sensores miniaturizados llevables o implantados en el cuerpo, que continuamente realizan un seguimiento continuo de los parámetros de salud y que actúan con el fin de prevenir problemas críticos. La ventaja de miniaturizar los sensores y actuadores para el control y diagnóstico de pacientes, y funciones terapéuticas, y los avances en las tecnologías inalámbricas, han abierto nuevas fronteras para alcanzar nuevos retos sanitarios. Por ejemplo, los diabéticos pueden tener acceso a una bomba de insulina automática que controla los niveles de glucosa y administra insulina cuando los niveles de glucosa son altos. Una futura aplicación sería el uso de tecnologías similares en dispositivos que puedan reducir al mínimo la incidencia de un ataque al corazón o un derrame cerebral [Seyedi 2013].

La **Figura 3** muestra un esquema básico de una red BAN dentro de un entorno básico de aplicabilidad:

**Figura 3. Red BAN y su entorno**



Este ejemplo y muchos otros muestran la ventaja de prevenir las visitas frecuentes a los hospitales, lo que supone un ahorro de costes no solo para los pacientes si no también para el sistema nacional de salud, existiendo estadísticas reales que demuestran la necesidad de dispositivos portables de control de pacientes para garantizar una atención más eficiente. Una característica importante de este tipo de redes es la necesidad de implementar sistemas de comunicaciones inalámbricos, no solo entre los sensores y el nodo de toma de decisiones si no también entre el nodo y los actuadores, como en el caso de los sistemas de provisión de insulina.

Los sistemas de comunicaciones inalámbricos basados en radio frecuencia (RF) se han implementado mediante protocolos conocidos como Bluetooth, ZigBee y ANT. El principal inconveniente de este tipo de sistemas es el consumo elevado de energía lo que limita en muchos casos la capacidad de actuación. Estudios actuales revelan que ZigBee y ANT cuentan con baterías que pueden durar hasta 3 años, pero presentan una velocidad de transferencia de datos bastante baja: transmisión de 1 byte cada 5 minutos. El estándar 802.15.4 del protocolo ZigBee de bajo consumo tiene una potencia de emisión permitida de 1 mW.

El funcionamiento continuo a la una velocidad de 250 kbps generalmente consume una batería de iones de Litio en cuestión de horas. Es evidente la necesidad de nuevas propuestas de tecnologías inalámbricas de bajo consumo para una nueva generación de tecnologías BAN.

Es importante señalar que las redes BAN cuentan con una gran variedad de campos de aplicación además del sanitario como pueden ser fitness, juegos, entretenimiento y aplicaciones de electrónica de consumo. Las BANs pueden proporcionar conectividad

inalámbrica a los desfibriladores implantados, así como también se pueden emplear para el suministro implantado de fármacos, electromiograma (EMG) portátil, seguimiento de embarazos de riesgo, control del sueño, control de la marcha, etc... [Patel 2010]. Otras aplicaciones pertenecientes a otros ámbitos serían conservación y seguimiento de bienes culturales, vigilancia y rastreo, asistencia en desastres naturales, y control de ambientes peligrosos como zonas sísmicas [Rodríguez-Sánchez 2011].

Una de las principales características de las redes BAN es su portabilidad. En lo referente a esta característica merece la pena mencionar lo que se ha denominado ropa inteligente que permite monitorizar parámetros fisiológicos como son la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la temperatura corporal y la respuesta galvánica de la piel. Este tipo de ropa cuenta con sensores integrados en el tejido y fibras conductoras que actúan como electrodos para capturar las señales corporales, se incluyen además técnicas de adquisición de datos y procesamiento hardware portátil, y una estación base para el control remoto. [Pandian 2007] [Darwish 2011].

A continuación se describen las principales tecnologías inalámbricas que se emplean en la implementación de las BAN [Abidi 2012]: RFID, Bluetooth (BT), ZigBee, ANT, *Ultra Wide Band* (UWB), Wi-Fi, *Near Field Communication* (NFC), etc.

### **2.3. MOBILE-HEALTH (MHEALTH)**

El concepto de Mobile-Health (mHealth) hace referencia a las nuevas soluciones tecnológicas en el ámbito de la salud en las que se hace uso de dispositivos portables e inalámbricos capaces de transmitir, almacenar, procesar y recuperar datos en tiempo real, y no real, entre usuarios finales, por ejemplo: pacientes, médicos y farmacéuticos, etc... [Abidi 2012]. El concepto de mHealth se considera como un subconjunto del concepto más amplio denominado eHealth (electronic Health)

mHealth es un mercado emergente que tiene por objeto la mejora de la calidad del cuidado del paciente y la disminución del gasto sanitario. Dentro de los servicios ofrecidos se incluye la telemedicina para mejorar la atención al paciente en virtud de los siguientes aspectos: información más precisa y rápida sobre los cambios en la condición física del paciente, conectividad automática y gestión remota de dispositivos médicos de la red hospitalaria, y la representación y el intercambio electrónico de datos médicos entre hospitales y grupos médicos como laboratorios o farmacias para reducir los costes de transacción [Geng 2011].

Los sistemas móviles en el ámbito sanitario se están utilizando para controlar, registrar, y transmitir gran variedad de datos relacionados con la salud, tales como la hipertensión, los niveles de oxígeno en la sangre, azúcar en la sangre, peso, y control cardiovascular. Existen otros dominios de aplicación que son necesarios en el desarrollo de la actividad médica y que constituyen una necesidad inminente en cualquier entorno sanitario, tales como el seguimiento de la ubicación del material, y la localización de personas o de pacientes. Estas aplicaciones son también implementadas mediante plataformas que se engloban bajo el concepto de mHealth.

Entre los principales retos actuales de los sistemas y aplicaciones de mHealth se encuentran los siguientes:

- 1) Garantizar la seguridad de todas las partes implicadas, incluyendo la privacidad de la información que está transmitiendo.

- 2) Interoperabilidad semántica.
- 3) Escalabilidad en la vinculación de los proveedores de salud a los usuarios finales.
- 4) Conseguir acuerdos unificados entre los proveedores de los servicios de salud.
- 5) Proporcionar educación unificada referente a los conceptos eHealth / mHealth.
- 6) Disponibilidad ubicua: en cualquier lugar y en cualquier momento.
- 7) Gestión distribuida, descentralizada y compartida de los recursos disponibles.
- 8) Infraestructura de gestión de multicapa.
- 9) Garantía de la propiedad de los datos médicos y de salud.

## 2.4. M2M Y LA VISIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS

Los nuevos sistemas de comunicación basados en tecnologías inalámbricas emergentes facilitan la interacción entre personas, objetos entre sí, y entre personas y objetos en cualquier lugar y en cualquier momento. Surgen así nuevos conceptos como son internet de las cosas (internet of things, IoT) y machine-to-machine (M2M) [Geng 2011] [Zhong 2011]. La idea fundamental que se esconde detrás de estos conceptos es extender la comunicación entre individuos a la comunicación entre los individuos y los dispositivos [Chen 2012].

Dentro del ámbito del cuidado de la salud el concepto de M2M hace referencia a las comunicaciones entre sensores que forman una red de área personal o red de área corporal. Estos sensores envían la información recopilada a un dispositivo M2M (por ejemplo, el teléfono móvil de un paciente) que actúa como un agregador de información y envía los datos al servidor de aplicaciones M2M en la nube. El servidor M2M responde a los datos recogidos enviando las alertas y registros médicos adecuados a los proveedores de servicios médicos. En situaciones de emergencia, un dispositivo M2M puede proporcionar directamente el estado de un paciente de camino hacia el hospital (por ejemplo, en la ambulancia), permitiendo a los médicos prepararse para el tratamiento antes de la llegada del paciente. Se trata de un escenario en el que se requiere una conectividad de alta velocidad fiable, que puede ser proporcionada por las redes 4G.

La interconexión de objetos ha conducido al nacimiento del término de Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT), que engloba tres conceptos fundamentales [Geng 2011]:

### 1. Unión entre bajo coste y alto rendimiento:

En el mercado de M2M, se espera que un gran número de dispositivos sean dispositivos embebidos de bajo coste y bajo consumo. Sin embargo, dispositivos de alta gama como gateways, módulos de control, sistemas de visión inteligente son también componentes importantes de la infraestructura de red propia de los servicios socio sanitarios, en donde el concepto de IoT encuentra un extenso campo de actuación.

### 2. Alta escalabilidad de conexión:

Podría decirse que es el componente más importante de la visión M2M. Un dispositivo que no esté conectado no puede ser gestionado ni funcionar acorde con otros dispositivos. El reto más crítico es el de facilitar la conectividad de bajo coste

que aborda no sólo la escalabilidad de red masiva, sino también los requisitos necesarios para que los dispositivos operen de manera continua sin interrupciones.

### 3. Servicios y gestión de dispositivos basados en la nube:

La visión de IoT no es un dispositivo que funciona sólo, si no varios dispositivos que trabajan de forma conjunta. Por lo que aunque el procesado distribuido es crítico para dirigir la complejidad de las aplicaciones M2M, la toma de decisiones centralizada y la gestión de billones de dispositivos dentro de la nube llegan a ser un valor esencial de la visión de IoT. Aunque esta visión no es nueva, es sólo ahora cuando la conectividad ubicua está llegando a ser una realidad, los dispositivos han llegado a tener un coste y un tamaño lo suficientemente pequeño que garantiza la existencia de dispositivos inteligentes en cualquier momento y en cualquier lugar.

## 2.5. RFID EN ENTORNOS SANITARIOS

El objetivo de contar con una solución RFID no solo se centra en permitir la identificación y localización fácil y fiable de los pacientes individuales, si no también mantener los registros médicos más precisos, facilitar una mejor atención sanitaria, e incluso mejorar la calidad de vida de los pacientes que están lejos de un centro médico [Chia 2013].

Actualmente en entornos sanitarios los sistemas RFID presentan las siguientes funcionalidades:

- Identificación de pacientes y de material necesario para el desempeño de la actividad sanitaria.
- Transferencia de datos recopilados desde las unidades RFID al servidor central.
- Detección, telemetría y diagnóstico.
- Integración con otras infraestructuras de información.

Dichas funcionalidades son de aplicación en los siguientes dominios del ámbito sanitario:

- Seguridad y calidad de cuidado del paciente.
- Aplicaciones farmacéuticas.
- Gestión del material, suministros, y dispositivos.
- Apoyo y gestión a la atención profesional de la salud.

Las plataformas de localización por RFID se componen de tags portables provistos de una antena, que generalmente consiste en un hilo de cobre enrollado, que transmite una señal RFID permitiendo la comunicación sin línea de visión (*no-line-of-sight*, NLOS) con otra unidad denominada lector. Esta característica es especialmente importante porque permite la transmisión en una gran variedad de entornos, así como la localización del individuo que los lleva.

A continuación se hace mención de una selección de pilotos y ensayos existentes en entornos reales. Merece la pena citar la existencia de hospitales en Canadá [Bacheldor 2008] y Reino Unido [Maselli 2003] donde se han implantado soluciones RFID de localización y seguridad de pacientes, especialmente destinados a ancianos con Alzheimer o demencia y neonatos. En estos casos los pacientes están provistos de un tag que permite detectar si están atravesando una salida sin autorización, enviándose automáticamente una alerta a las enfermeras o personal de seguridad.

## 2.6. DISPOSITIVOS PARA AMBIENTES ASISTIDOS, E-SALUD Y BIENESTAR PERSONAL

En este punto se pretende realizar un análisis prospectivo de los dispositivos de corto alcance existentes actualmente en el mercado, destinados al entorno domiciliario y personal. Para ello se han establecido tres ámbitos de aplicación, las relacionadas con la e-Salud, bienestar personal, ambientes asistidos y ayudas técnicas para la discapacidad. Todo ello teniendo en cuenta las tecnologías de SRD utilizadas, para la comunicación de datos, programación de dispositivos, monitorización o integración en redes más amplias. No se pretende hacer un estudio exhaustivo sino mostrar una imagen actual del estado real de las tecnologías SRD, el cual nos pueda mostrar una foto fija de todo el espectro de aplicaciones y dispositivos existentes en este ámbito, así como para vislumbrar las tendencias en el uso de dichas aplicaciones en el futuro inmediato.

La irrupción de conceptos como “internet en las cosas”, teléfonos y los televisores inteligentes o tabletas, han sido un acicate fundamental para la aparición de multitud nuevos dispositivos de electrónica de consumo, que incluyen entre sus funcionalidades comunicaciones basadas en tecnologías SRD, también es de reseñar los diferentes grados de implantación de cada una de las tecnologías, siendo sin duda Bluetooth, la más ampliamente utilizada seguida de WiFi, ANT o Zwave, sin embargo otras tecnologías como Zigbee o RFID crecen a un ritmo más lento de lo esperado.

Debemos reseñar el éxito de los consorcios como Continua, Zwave o ANT para impulsar el desarrollo de dichas tecnologías en el ámbito de la salud y la domótica respectivamente.

En el cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF 2010) se identifican las bandas reservadas para SRD, que junto con los agentes de normalización nacionales e internacionales establecen un marco normativo favorable para el desarrollo seguro de dichas tecnologías.

En este capítulo vamos a mostrar los diferentes dispositivos clasificándolos por su área de aplicación pero haciendo especial énfasis en la tecnología SRD empleada para su comunicación.

### 2.6.1. Dispositivos para Ambientes asistidos.

Entendiendo estos como los dispositivos que utilizan todas aquellas tecnologías [AALJP2012] que tienen como objetivo para extender el tiempo las personas pueden vivir en su entorno preferido. Mejorando su autonomía, autoestima y la movilidad, apoyando el mantenimiento de la salud y la capacidad funcional de las personas de edad avanzada, o en situaciones de riesgo y discapacidad, mejorando la seguridad, evitando el aislamiento social y apoyando el mantenimiento de la red multifuncional alrededor del individuo. Así como el apoyo a los cuidadores, las familias y las organizaciones relacionadas con su atención.

En estas tecnologías podemos englobar los dispositivos y redes domóticas destinados a conseguir dichos objetivos, las ayudas técnicas para la discapacidad así como los dispositivos de alarmas domiciliarias o teleasistencia.

En la [Tabla 1](#) se muestran una serie de dispositivos que pueden prestar servicios de apoyo a la vida independiente en ambientes asistidos, ya sea prestando apoyo a la seguridad personal, como los pulsadores de telealarma domiciliaria y la ampliación de este servicio con sensores de alarmas técnicas (sensores de incendios, humos,

inundación...) asociados a dicha red también se muestran dispositivos asociados a la monitorización y a la seguridad como son los sensores de caídas, detectores de eventos de epilepsia, anuresis, pastilleros inteligentes o sensores de ocupación de cama, sin olvidar los asociados al control del hogar y las instalaciones como los de control de electrodomésticos, iluminación o calefacción y climatización. En esta tabla se presentan algunos ejemplos de las aplicaciones y las tecnologías SRD disponibles para cada tipo, así como referencias de fabricantes y distribuidores.

### Ayudas técnicas:

Según la norma UNE-EN-ISO 9999 se define ayuda técnica [Álvarez 2004], específicamente entendida para personas con discapacidad, como “cualquier producto, instrumento, equipo o sistema técnico usado por una persona con discapacidad, fabricado especialmente o disponible en el mercado, para prevenir, compensar, mitigar o neutralizar la deficiencia, discapacidad o minusvalía”. En España, el Catalogo General de Ayudas Técnicas del CEAPAT (Centro Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas) muestra una amplia selección de ayudas técnicas ordenadas siguiendo los criterios de clasificación marcados por la Norma Internacional ISO 9999.

En la **Tabla 2**, se muestran los dispositivos atendiendo al tipo de ayuda mostrando la foto de un ejemplo significativo y las tecnologías SRD disponibles para cada ayuda, así como la web de los principales fabricantes (en algunos de los dispositivos mostrados se muestra el acrónimo “GVMF” haciendo referencia a la existencia de Gran Variedad de Modelos y Fabricantes encontrados).

**Tabla 1: Dispositivos para Ambientes Asistidos**

Tipo de dispositivo	Imagen	Tech SRD	Referencia
Pastillero inteligente		Bluetooth, FET, NFC	<a href="http://www.abiogenix.com">www.abiogenix.com</a> URL 4, 5, 6, 7, 11, 12
Detectores caídas		Bluetooth, FET, NFC	<a href="http://www.senso-connect.com">www.senso-connect.com</a> URL 4, 5, 6, 7
Epilepsy Sensor Epi-Care®Free - Wrist Worn		FET, RF433Mhz	<a href="http://danishcare.dk">http://danishcare.dk</a> URL 5, 13
Boton Personal de Telealarma		FET	<a href="http://www.gruponeat.com">www.gruponeat.com</a> URL: 5, 5, 6, 7,
Alarma Técnica inundación		FET, ZWAVE, Zigbee, X10	<a href="http://www.gruponeat.com">www.gruponeat.com</a> URL: 5, 5, 6, 7, 9, 10,
Detect. Incendio		Zigbee, FET, Zwave, X10 RF	<a href="http://www.zwavespain.com">http://www.zwavespain.com</a> URL: 1, 4, 6, 7, 9, 10, 14
Detector de Presencia		Zigbee, Zwave, FET, KNX RF, X10 RF	<a href="http://www.zwavespain.com">http://www.zwavespain.com</a> URL: 1, 4, 6, 7, 9, 10, 14
Ocupación Cama		FET	<a href="http://www.tynetec.co.uk">http://www.tynetec.co.uk</a> URL:4, 5, 6, 7
Detector de Anuresis		FET	<a href="http://www.tynetec.co.uk">http://www.tynetec.co.uk</a> URL:4, 5, 6
Control iluminación		Z-Wave, Zigbee, X10 RF, KNX RF	<a href="http://www.zwavespain.com">http://www.zwavespain.com</a> URL: 8, 9, 10, 14
Control Calefacción		Z-Wave, Zigbee, X10 RF, KNX RF	<a href="http://www.zwavespain.com">http://www.zwavespain.com</a> URL: 8, 9, 10, 14
Detector de uso Electrodomésticos		Z-Wave, Zigbee, X10 RF, KNX RF, FET	<a href="http://www.zwavespain.com">http://www.zwavespain.com</a> URL: 5, 8, 9, 10, 14
Detector Temperatura Elevada		Z-Wave, Zigbee, X10 RF, KNX RF, FET	<a href="http://www.tunstall.com">http://www.tunstall.com</a> URL: 4, 5, 8, 9, 10, 14

**Tabla 2: Ayudas técnicas para la discapacidad**

Tipo de ayuda	Imagen	Tech SRD	Usuarios	Referencia
Banda de cuello con bucle inductivo		Bucle Inductivo	Discap. Auditiva	GVMF, ICATC, <a href="http://www.boschsecurity.es">www.boschsecurity.es</a>
Transmisor Amplificador		Bluetooth, FM	Discap. Auditiva	GVMF ICATC, <a href="http://www.phonakpro.com">www.phonakpro.com</a>
Avisador luminoso, Vibración		FM, 433Mhz	Discap. Auditiva	GVMF ICATC, <a href="http://www.phonicear.com">www.phonicear.com</a>
Teclado + Línea Braille		Wi-Fi Bluetooth	Discap. Visual	<a href="http://www.humanware.com">www.humanware.com</a>
Lápiz Escaner		Bluetooth	Discap. Visual, Discap. Intelectual, Aprendizaje	<a href="http://www.cpen.com">www.cpen.com</a>
Pulsador/Commutador		Bluetooth	Discap. Motora	GVMF ICATC, <a href="http://www.ablenetinc.com">www.ablenetinc.com</a>
Mando Universal Multidispositivo		RF 433, Zwave, X10-RF, Zigbee	Disc. Motora, Disc. Visual, Disc. Auditiva	GMVF <a href="http://www.possum.co.uk">www.possum.co.uk</a>
Augm. Alt. Comm. (AAC)		Bluetooth, WiFi	Apoyo a la comunicación y. leng	ICATC, <a href="http://www.dynavotech.com">www.dynavotech.com</a>
Localización personas y objetos		2.45GHz ISM	Mayores, Alzheimer, Discap. Intelectual	<a href="http://www.loc8tor.com">www.loc8tor.com</a> <a href="http://www.keruve.es">www.keruve.es</a>
Apertura puerta/ventana		Zigbee, NFC, MIFARE, Z-Wave	Seguridad, Discap. Motora	GVMF, <a href="http://www.simons-voss.es">www.simons-voss.es</a> URL 1, 10 <a href="http://www.kimaldi.com">www.kimaldi.com</a>

## 2.6.2. Dispositivos para e-Salud

La telemedicina como elemento en los últimos años a pasado de ser una práctica relacionada con los entornos sanitarios y atendida en los dos extremos (el remoto y el local) por profesionales sanitarios y orientada principalmente a la atención de agudos, a ser un servicio enfocado al tratamiento de crónicos. Siendo estos o sus cuidadores y familiares, quienes se encargan de realizar la medida parámetros fisiológicos, que hasta entonces, se realizaban exclusivamente, en entornos sanitarios. Todo ello ha sido posible gracias al abaratamiento de los dispositivos, junto con la mejora en la facilidad de utilización y la extensión de las redes de datos a los entornos personales y domiciliarios. Consiguiendo de este modo, un ahorro en los costes y una mejora en el tratamiento y atención de los pacientes [Tink 2005].

En la [tabla 3](#) se muestran dispositivos utilizados en la monitorización de parámetros biológicos en el ámbito personal ambulatorio. En dicha tabla se puede apreciar que Bluetooth es la tecnología SRD más utilizada para la comunicación de datos, con 21 de los 30 dispositivos mostrados, seguida de ANT+ con 4 , WiFi 802.11 y NFC ambas con 2.

**Tabla 3: Dispositivos e-Salud.**

Dispositivo	Imagen	Conectividad	Modelo / URL
Monitor holter presión arterial		Bluetooth	Cardioline Walk200b <a href="http://www.cardioline.it">www.cardioline.it</a> Norav NBP-24 NG <a href="http://www.norav.com">www.norav.com</a>
Monitor holter presión arterial		WiFi 802.11	Blipcare BlipBP <a href="http://www.blipcare.com">www.blipcare.com</a>
Holter ECG 3Ch Presión Arterial		Bluetooth	abtech EC-3h/ABP <a href="http://www.labtech.hu">www.labtech.hu</a>
Presión Arterial, Pulso		Bluetooth	Omron BP792IT <a href="http://www.healthcare.omron.co.jp">www.healthcare.omron.co.jp</a> A&D UA-767 PBT-C <a href="http://www.aandd.jp">www.aandd.jp</a>
Presión Arterial, Pulso		ANT+	SmartLab profi+ <a href="http://www.smartlab.org">www.smartlab.org</a> UA-851ANT A&D Medical <a href="http://www.andonline.com">www.andonline.com</a>
Blood Glucose & Blood Pressure		Bluetooth	Fora DUO D40 <a href="http://www.foracare.ch">www.foracare.ch</a> PMP4 Easy2Check <a href="http://www.cardguard.com">www.cardguard.com</a>
ECG 12ch		Bluetooth	Corsiense BT-12 <a href="http://www.corsiense.de">www.corsiense.de</a> SECA CT321-6ch <a href="http://www.seca.com">www.seca.com</a>
Monitoring ECG, Heart Rate ...		Bluetooth	Zephyr BioHarness 3 <a href="http://www.zephyr-technology.com">www.zephyr-technology.com</a>
Heart Rate, Respiration.		ANT+	Isansys LifeTouch HRV011 <a href="http://www.isansys.com">www.isansys.com</a>
Holter ECG 3-12 channels		Bluetooth	Cardioline dp_walk400h <a href="http://www.cardioline.it">www.cardioline.it</a> Card Guard PMP4 <a href="http://www.cardguard.com">www.cardguard.com</a>
ESPIROMETRÍA PMP4 SpiroPro		Bluetooth	PMP4 SpiroPro Card guard SDI Astra 300 <a href="http://www.sdidiagnostics.com">www.sdidiagnostics.com</a>
Spitometry and Oximetry		Bluetooth	MIR Speredoc 3D <a href="http://www.spirometry.com">www.spirometry.com</a>
Peak flow meter		Bluetooth	Vitalgraph Asma-1 BT <a href="http://www.vitalograph.com">www.vitalograph.com</a> Corsiense AM1 +BT <a href="http://www.corsiense.de">www.corsiense.de</a>
Bomba Insulina Glucómetro		Bluetooth	Accu-check Spirit Combo <a href="http://www.accu-check.es">www.accu-check.es</a>
Glucómetro		Bluetooth	Allmedicus Gluco AGM300 <a href="http://www.allmedicus.com">www.allmedicus.com</a>
Glucómetro		ANT+	SmartLab Genie+ <a href="http://www.smartlab.org">www.smartlab.org</a>
Glucómetro		WiFi 802.11	Accu-Check Informil <a href="http://www.roche.com.tw">www.roche.com.tw</a>
Pulsioxímetro monitor SpO2		Bluetooth	Nonin 9560 <a href="http://www.nonin.com">www.nonin.com</a>
Monitor temperatura		NFC 13,56Mhz	FEVER MONITORING SKIN PATCH <a href="http://www.gentag.com">www.gentag.com</a>
Termómetro		Bluetooth / RF 433Mhz	Fora IR20b <a href="http://www.foracare.ch">www.foracare.ch</a> MSR ts323 <a href="http://www.measure.com.tw">www.measure.com.tw</a>

La creación de consorcios como “Continua Health Alliance” favorecen la integración de tecnologías SRD para la comunicación de datos en dispositivos para la salud y el bienestar.

Según se muestra en la [tabla 4](#), de las 240 organizaciones que forman Continua, 30 cuentan alguna certificación, de las cuales 9 han certificado dispositivos finales para la salud y el bienestar personal, quedando las otras 21 en los ámbitos de: componentes electrónicos, dispositivos compatibles de uso genérico (Smart Phones, equipos informáticos etc...), aplicaciones y software compatible o Gateways.

En la [tabla 5](#) se muestra el número de dispositivos de e-Salud certificados en Continua atendiendo a su función y su tecnología de comunicación, de lo que se desprende que Bluetooth con 18 dispositivos seguida de Wan y Zigbee con 12 y 8 respectivamente (USB cuenta con 11 dispositivos certificados pero dicha tecnología no se considera SRD por ser cableada).

Tabla 4: Distribución de las entidades con productos certificado en Continua (Sept 2013)

	A&D Medical	Bluegiga	Brunel University	Elbrys Networks	Freescala	Fujitsu Limited	Info Solution SpA	Insung Information Intel	Lamprey Networks, Inc.	LG Electronics	MindTree	Nonin	NTT DOCOMO	OMRON	openit Inc.	Panasonic	Qualcomm Incorporated	Renesas Electronics America	Robert Bosch Healthcare	Roche	Samsung Electronics	Sharp	Signove Tecnologia S.A.	STMicroelectronics N.V.	Stollmann GmbH	TaiDoc	Texas Instruments	Toshiba	Vignet Inc.	Wipro
Dispositivos Health	X		X				X				X		X		X			X	X						X					
Componentes electrónicos		X			X	X	X											X						X		X				
Dispositivos uso general						X						X									X							X		
Aplicaciones y Software									X						X						X		X					X		
Gateways				X	X				X	X	X						X							X					X	

Tabla 5: Tipos de dispositivos certificados en Continua por tipo de conexión (Sep. 2013)

	Bluetooth	Bluetooth low energy	Zigbee	WAN	HRN	USB
Adherence Monitor	0	0	0	1	0	0
Blood Pressure Monitor	5	0	1	2	0	2
Cardiovascular	1	0	0	1	0	0
Glucose Meter	2	0	1	2	0	5
Independ. Living Activ. Hub	0	0	3	1	0	0
Peak Flow Monitor	0	0	0	1	0	0
Pulse Oximeter	2	0	2	1	0	2
Thermometer	1	0	0	1	0	1
Weighing Scale	7	0	1	2	0	1
<b>total</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>11</b>

### 2.6.3. Dispositivos para el Bienestar Personal

Entendiendo como tales los dispositivos destinados a la monitorización de la actividad física, fomento de la vida saludable y el bienestar personal. Cabe reseñar la gran implantación de los dispositivos que utilizan ANT+ seguidos de Bluetooth y WiFi 802.11. El éxito de ANT+ sin duda se debe a la apuesta de las principales agentes del sector como tecnología de comunicación a integrar en los dispositivos en este campo. El consorcio “ANT+ Alliance” está formado por más de 240 organizaciones y cuenta con aproximadamente 270 dispositivos certificados.

Tabla 6: Resumen de dispositivos certificados en ANT+ Alliance (Sep. 2013)

Activity Monitors	Bike Computers	Bike Power Meters	Bike Speed / Cadence Sensors	Blood Pressure Monitors	Fitness/Gym Equipment	Foot Speed & Distance Sensors	Geocache Sensors	Handheld GPS Devices	Heads-up Displays	Heart Rate Sensors	Mobile Phones/Devices	Other	Phone Accessories	Watches/Wrist Displays	Weight Scales
2	58	64	58	1	19	10	1	36	2	36	21	14	10	44	9

**Tabla 7: Dispositivos para el bienestar personal.**

Dispositivo	Imagen	Conectividad	Modelo / URL
Ritmo Cardíaco (Pulsómetro)		Bluetooth	Polar H7 HR <a href="http://www.polar.fi">www.polar.fi</a>
Ritmo Cardíaco (Pulsómetro)		ANT+	Decathlon Cardio Belt <a href="http://www.decathlon.co.uk">www.decathlon.co.uk</a>
Monitor de Actividad y Sueño		Bluetooth	Fitbit One <a href="http://www.fitbit.com">www.fitbit.com</a>
Monitor de Actividad y Sueño		ANT+	wActiSleep+ <a href="http://www.actigraphcorp.com">www.actigraphcorp.com</a>
Podómetro		Bluetooth	Omron HJ-721IT <a href="http://www.healthcare.omron.co.jp">www.healthcare.omron.co.jp</a>
Monitor de Actividad		ANT+	XL-25KIT <a href="http://www.aandd.jp">www.aandd.jp</a>
Podómetro y Actividad		ANT+	Garmin <a href="http://buy.garmin.com">buy.garmin.com</a> Adidas SPEED_CELL <a href="http://www.adidas.com">www.adidas.com</a>
Peso, IMB		Bluetooth	BF-206BT <a href="http://www.healthcare.omron.co.jp">www.healthcare.omron.co.jp</a> Fora W310b <a href="http://www.foracare.ch">www.foracare.ch</a>
Báscula		WiFi 802.11	Fitbit Aria <a href="http://www.fitbit.com">www.fitbit.com</a> Blip Weight Scale <a href="http://www.blipcare.com">www.blipcare.com</a>
Báscula, IMB		ANT+	Tanita HD400F <a href="http://www.tanita.com">www.tanita.com</a> SmartLAB fit+ <a href="http://www.smartlab.org">www.smartlab.org</a>
Localización		ANT+	GarminChirp <a href="https://buy.garmin.com">https://buy.garmin.com</a>
Temperatura Ambiental		ANT+	Garmin Tempe <a href="https://buy.garmin.com">https://buy.garmin.com</a>
Monitor		ANT+	screeneye <a href="http://www.o-synce.com">www.o-synce.com</a> Sportiiiis <a href="http://4iiii.com">http://4iiii.com</a>
Remo, Pulso		ANT+	Indoor Rower <a href="http://www.concept2.com">www.concept2.com</a>
Bicicleta Estática		ANT+	BODY BIKE <a href="http://www.bodybike.dk">www.bodybike.dk</a>
Cinta Running Pulso		ANT+	Desmo Elite <a href="http://www.woodway.com">www.woodway.com</a>
Podómetro HR GPS		ANT+	Ironman Global Trainer <a href="http://www.timex.com">www.timex.com</a>

Como se muestra en la [tabla 6](#), pese a que dicha tecnología cuenta con un perfil de dispositivos orientados a la salud, actualmente la gran mayoría de los dispositivos ANT+ están enfocados al deporte y al bienestar personal.

En esta tabla se muestran dispositivos destinados al seguimiento y control de la actividad física, el control de parámetros para la nutrición y vida saludable o rehabilitación de dolencias cardíacas, respiratorias o músculo-esqueléticas. Como se puede observar la tecnología ANT es la más prevalente en dicha tabla seguida de Bluetooth.

Los dispositivos para cuidados personales y el bienestar han estado tradicionalmente enfocados un segmento de la población formado en su gran mayoría por personas jóvenes y deportistas, pero es de reseñar que en la actualidad se han introducido nuevos perfiles de usuarios, como son personas de edad avanzada o pacientes (en el seguimiento y tratamiento de multitud de patologías), forzando un cambio en el enfoque a fabricantes y diseñadores de dispositivos.

#### 2.6.4. Enlaces

1. <http://www.catalogo-ceapat.org/>
2. <http://www.gentag.com>
3. <http://www.vitalsignals.ca>
4. <http://www.gruponeat.com>
5. <http://www.tunstall.com>
6. <http://philippseniorliving.com> Teleasistencia/ Telealarma
7. <http://www.tynetec.co.uk> Teleasistencia/ Telealarma
8. <http://www.dinuy.com> KNX-RF
9. <http://www.wulian.cc> dispositivos Zigbee
10. <http://www.zwavespain.com>
11. <http://www.vitalsignals.ca>
12. <http://www.gentag.com> Dispositivos NFC
13. <http://www.medpage-ltd.com/page65.html> dispositivos Detectores epilepsia.
14. <http://www.verybox.com/domotica/> (productos X10-RF)
15. <http://www.continuaalliance.org/>
16. <http://www.boe.es/boe/dias/2010/02/19/pdfs/BOE-A-2010-2719.pdf>
17. <http://www.thisisant.com/developer/ant-plus/certification>

## 2.7. CONCLUSIONES

Con el fin de satisfacer la demanda creciente de asistencia sanitaria ubicua, BAN puede ser considerada como una tecnología prometedora que puede revolucionar no sólo la próxima generación de la asistencia sanitaria, si no también las aplicaciones de entretenimiento. BAN presenta varias características que se pueden considerar como auténticas ventajas, tales como: escalabilidad, eficiencia energética, la calidad de servicios (QoS) y la reducción del coste sanitario.

Además de la asistencia sanitaria, este capítulo aborda las diferentes aplicaciones de las BANs: ambientes asistidos para la vida independiente, bienestar personal, ayudas técnicas, control del entrenamiento personal, etc. También se analiza el estado del arte de las tecnologías y estándares relacionados, así como sus ventajas y desventajas.

Debido a las diversas áreas del conocimiento que se involucran en el desarrollo e implementación de las BANs en materia de salud y aplicaciones de telemedicina, ingenieros, investigadores y profesionales de múltiples disciplinas deben unirse y esforzarse para superar los obstáculos técnicos a fin de que la ubicuidad en la atención sanitaria llegue a ser una realidad.

Es evidente la riqueza que la implementación de las BANs ha aportado a la eficacia de los sistemas de atención sanitaria, pero a pesar de las ventajas expuestas, hay muchos retos que todavía deben ser abordados, especialmente referentes al gran

ancho de banda y los protocolos de comunicación de bajo consumo, a la interoperabilidad entre las BANs y otras tecnologías inalámbricas, y al diseño de aplicaciones exitosas.

## 2.8. REFERENCIAS

- [AALJP 2012] Ambient Assisted Living Joint Programme (AAL JP) <http://www.aal-europe.eu/about/objectives/>
- [Abidi 2012] Adibi, S. Link Technologies and BlackBerry Mobile Health (mHealth) Solutions: A. Review. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 16(4):586-597; 2012.
- [Alemdar 2010] Alemdar, H.; Ersoy, C. Wireless sensor networks for healthcare: A. survey. *Comput. Netw.* 54:2688-2710; 2007.
- [Álvarez 2004] Álvarez, D.; Beatriz Arregui, B. La sordoceguera, un análisis multidisciplinar. ONCE 2004.
- [Bacheldor 2008] Bacheldor, Beth. BlueTag Patient-Tracking Comes to North America. *RFID Journal*, 2008.
- [Carranza 2011] Carranza N., Febles V., Hernandez J.A., Bardasano J.L., Monteagudo J.L., Fernández de Aldecoa J.C., Ramos V. "Patient safety and electromagnetic protection: a review," *Health Physics*, 100(5):530-541; 2011.
- [Chen 2012] Chen, KC. Machine-to-machine communications for healthcare, *Journal of Computing Science and Engineering* 6 (2); 2012.
- [Chia 2013] Chia S., Zalzalá A., Zalzalá L., Karim A. Intelligent Technologies for Self-Sustaining, RFID-Based, Rural e-Health Systems. *IEEE Technology and Society Magazine*, 32 (1): 36-43; 2013.
- [Darwish 2011] Darwish, A.; Hassanien, A.E. Wearable and Implantable Wireless Sensor Network Solutions for Healthcare Monitoring. *Sensors*, 11:5561-5595; 2011.
- [Geng 2011] Geng W., Talwar S., Johnsson K, Himayat N., Johnson K.D. M2M: From mobile to embedded internet. *IEEE Communications Magazine*, 49(4):36-43; 2011.
- [Maselli 2003] Maselli, Jennifer. Xtag Unveils Infant Security System, *RFID Journal*. 2003.
- [Pandian 2007] Pandian, P.S.; Mohanavelu, K.; Safeer, K.P.; Kotresh, T.M.; Shakunthala, D.T.; Gopal, P.; Padaki, V.C. Smart vest: Wearable multi-parameter remote physiological monitoring system. *Med. Eng. Phys.*, 30:466-477; 2007.
- [Patel 2010] Patel, M.; Jianfeng Wang, "Applications, challenges, and prospective in emerging body area networking technologies," *IEEE Wireless Communications*, 17 (1):80-88; 2010.
- [Ren 2010] Ren Y., Pazzi RWN, Boukerche A. Monitoring patients via a secure and mobile healthcare system. *IEEE Wireless Communications*, 17(1):59-65; 2010.
- [Rodriguez-Sanchez 2011] Rodriguez-Sanchez, M.C.; Borromeo, S.; Hernández-Tamames, J.A., "Wireless Sensor Networks for Conservation and Monitoring Cultural Assets," *IEEE Sensors Journal*, 11(6):1382-1389; 2011.
- [Seyedi 2013] Seyedi, M.; Kibret, B.; Lai, D.T.H.; Faulkner, M., "A Survey on Intrabody Communications for Body Area Network Applications," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(8):2067-2079; 2013.
- [Soomro 2007] Soomro A., Cavalcanti D. Opportunities & Challenges using WPAN and WLAN Technologies in Medical Environments. *IEEE Communications Magazine*, 45(2): 114-122; 2007.
- [Tink 2005] Tinker A., Lansley P. Introducing assistive technology into the existing homes of older people: feasibility, acceptability, costs and outcomes. *J. Telemed Telecare.* ; 11 Suppl 1:1-3; 2005.
- [Zhong 2011] Zhong F., Siok T. M2M communications for e-health: Standards, enabling technologies, and research challenges. 2012 6th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), pp: 1-4; 2012.

### III. ESTIMACIÓN DE NIVELES DE EMISIÓN DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN ENTORNOS INTERIORES COMPLEJOS

Leire Aizpilicueta, Francisco Falcone

Email: francisco.falcone@unavarra.es

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Pública de Navarra

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

El uso de tecnologías inalámbricas para diversos sectores de aplicación y con diferentes sistemas se ha extendido a lo largo de la última década. Tras el enorme éxito de implantación de las redes de telefonía móvil y de las redes de área local inalámbricas, WiFi, se está desarrollando un nuevo conjunto de aplicaciones basadas en el concepto de Inteligencia Ambiental, soportado por redes de sensores inalámbricos. De esta manera, se está haciendo un uso intensivo del espectro electromagnético, fundamentalmente de ondas de radiofrecuencia no ionizantes. Tras el despliegue masivo de redes de comunicaciones móviles y la estimación de niveles de emisión de dichas instalaciones, el siguiente paso es la estimación de los niveles en recintos interiores en los que está presente este nuevo ecosistema inalámbrico. Dichos escenarios se caracterizan por contar con una gran cantidad de sensores y elementos que emplean canales radioeléctricos en un mayor rango frecuencial que los sistemas móviles previos para establecer los diversos mecanismos de transmisión de datos. Otro aspecto diferenciador es la persistencia de los enlaces radioeléctricos, que potencialmente pueden establecerse durante intervalos de tiempo mayores en promedio, al realizar de manera periódica intercambios de información automáticos con el fin de poder realizar tareas de telemonitorización y telecontrol dentro del recinto interior. Es por ello necesario analizar el impacto que tiene el empleo simultáneo de dichos sistemas en términos de exposición global a campos electromagnéticos. En este sentido, la complejidad propia de los recintos interiores, con gran cantidad de elementos de diversas formas y tamaños, así como la variedad de materiales constitutivos de los mismos juega un papel relevante en la estimación final de valores de campo potencialmente presentes en dichos recintos.

En esta sección se describe dicho impacto de la topología y la morfología de los escenarios en los valores de estimación de campo que se obtienen. Se presentarán diversos casos de análisis empleando diversos sistemas, tales como redes de área personal, redes de área local inalámbrica y sistemas de comunicaciones móviles y su variación en función de la localización como de los materiales empleados.

#### 3.2. TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN

Uno de los parámetros fundamentales a la hora de poder valorar el nivel de exposición de radiación no ionizante es la estimación de niveles de campo eléctrico en la zona bajo análisis. Desde el punto de vista de efectos térmicos, la estimación de niveles de campo es una variable necesaria para la estimación de los niveles de SAR en diferentes partes del cuerpo humano. En cuanto a mecanismos sub-térmicos, dicha

estimación de niveles se relaciona con otros indicadores de actividad a nivel celular o molecular.

La estimación de los niveles de campo existente depende tanto de las características de los elementos transmisores de radiofrecuencia, como de las pérdidas causadas por las variables topológicas y morfológicas del entorno circundante. En el caso de las fuentes transmisoras, sus características vienen determinadas por la potencia de emisión, el diagrama de radiación de la antena transmisora, la frecuencia de operación y el esquema de modulación empleado. En cuanto a las pérdidas del canal radioeléctrico, vienen determinadas por las siguientes causas:

- Frecuencia de operación: a mayor frecuencia, mayores son las pérdidas del enlace radioeléctrico.
- Distancia entre el transmisor y el punto de observación: a mayor distancia, el nivel de campo recibido decae de manera potencial.
- Pérdidas por absorción: la interacción de las ondas electromagnéticas con los elementos materiales presentes en el entorno se pueden manifestar debido a la conversión de dicha energía en calor. Dicho proceso viene determinado por el valor de la parte compleja de la permitividad relativa de dichos materiales, habitualmente caracterizado por la tangente de pérdidas de dicho material a la frecuencia de operación. Cabe destacar el papel del propio cuerpo humano, habitualmente considerado como un elemento adicional de pérdidas radioeléctricas en el diseño de sistemas de comunicaciones inalámbricos.
- Pérdidas por difracción, promovida por la existencia de bordes y esquinas, propiciando la aparición de un nuevo frente de ondas, consecuencia del Principio de Huygens.
- Propagación multitrayecto: la existencia de múltiples reflexiones es uno de los elementos más relevantes a la hora de considerar el análisis del canal radioeléctrico en un entorno que presenta complejidad topológica y morfológica. El carácter vectorial de los campos electromagnéticos presenta un comportamiento en el cual las diferentes componentes de campo recibidas se puedan combinar de manera constructiva o destructiva, dando lugar a distribuciones de campo no uniformes en el escenario bajo análisis.

Dado que el comportamiento de las ondas electromagnéticas depende fuertemente de su interacción con el medio circundante, es necesario tener en cuenta sus características a la hora de poder realizar estimaciones de distribuciones de campo que se pueden encontrar en un recinto. Existen varias alternativas a la hora de realizar dichas estimaciones, que se enumeran a continuación:

- Modelos de Radiopropagación Empíricos: se basan en la obtención de curvas de estimación mediante procesos de regresión lineal o no lineal, a partir de medidas efectuadas en un escenario concreto. Dicho método permite inferir valores de estimación de campo recibido con cierta precisión para dicho entorno. Dada su fuerte dependencia con el medio que le rodea, dichas curvas de regresión han de ser calibradas mediante campañas de medida para cada uno de los escenarios bajo análisis. Como ventaja, cabe destacar que presenta un coste computacional muy bajo, permitiendo extraer resultados rápidamente.

- **Métodos de Cálculo de Onda Completa:** en este caso, se aplican las Ecuaciones de Maxwell de manera rigurosa para una estructura mallada que modela los objetos reales en el escenario bajo análisis. Los métodos de cálculo pueden ser en el dominio frecuencial o en el dominio temporal. Dichos métodos requieren disponer de una cartografía muy precisa del escenario que se quiere analizar, teniendo un coste computacional muy elevado. Este tipo de técnicas no resultan apropiadas para escenarios en espacio abierto o para recintos muy grandes precisamente por dicho coste computacional. Por el contrario, ofrecen un elevado grado de precisión en los resultados de estimación obtenidos.
- **Métodos Deterministas:** se trata de un compromiso entre precisión y complejidad computacional. Este tipo de métodos de estimación de campo se basan en la aplicación de técnicas de Óptica Geométrica que habitualmente se combinan con la Teoría Uniforme de la Difracción. De esta manera, mediante un motor de cálculo que emula las fuentes radiantes mediante trazado de rayos (se analiza el entorno y se detectan los posibles elementos que interceptan los caminos de los rayos) o de lanzamiento de rayos (se lanzan, en función de parámetros de resolución angular en plano horizontal y vertical). Dicha técnica de cálculo requiere disponer de cartografía del escenario precisa, aunque con un menor grado de detalle que en el caso de técnicas de onda completa.

Las técnicas de tipo empírico se emplean de manera mayoritaria para la estimación de niveles de campo en primera aproximación, así como para recintos de gran extensión. Las técnicas de onda completa son útiles para estimar de manera muy precisa los valores de campo, lo cual es aplicable por ejemplo a la estimación de niveles en partes del cuerpo humano o en las inmediaciones de fuentes radiantes, tales como terminales móviles en la región de campo cercano. Las técnicas deterministas, basadas en trazado o lanzamiento de rayos, aplicables tanto en planos bidimensionales como tridimensionales se emplean tanto para escenarios exteriores complejos (alta densidad de edificios) como en el caso de recintos interiores complejos.

Las técnicas de simulación se complementan con técnicas de medida que verifican los resultados de estimación de campo o que permiten la obtención de valores que no son posibles empleando exclusivamente técnicas de simulación. A continuación se enumeran algunas de las técnicas de medida empleadas para la evaluación de valores de campo:

- **Medición de Espectro de banda ancha:** es la metodología propia dentro de los procesos de certificación radioeléctrica. Se trata de medidores de banda ancha que promedian los valores de campo recibido en todo el ancho de banda de medida. Se emplean antenas omnidireccionales, habitualmente implementadas por triadas de diodos, uno por cada eje cartesiano. Ofrecen una primera estimación de cumplimiento de normas de exposición a emisiones radioeléctricas.
- **Medición de Espectro de banda estrecha:** en este caso, se emplea un analizador de espectros convencional y una antena de alta directividad, con el fin de poder identificar de manera adecuada las fuentes de emisión radioeléctrica.
- **Dosímetros personales:** son llevados durante un periodo de tiempo prolongado con el fin de emular las condiciones de exposición reales. En

función del coste y del tamaño requerido, pueden monitorizar niveles globales de campo recibido para todo el periodo o desglosar niveles de campo para diferentes bandas frecuenciales en diferentes periodos temporales.

- Modelos Sintéticos de Cuerpo Humano: empleados con el fin de poder obtener estimaciones precisas de niveles de campo y de SAR. Mediante el empleo de diversos líquidos y gelatinas, es factible implementar fantasmas o modelos del cuerpo humano o de distintas partes del cuerpo humano. Dichos elementos son posteriormente medidos mediante el empleo de sondas de campo cercano.
- Celdas TEM y celdas resonantes: empleados con el fin de recrear situaciones tanto de ondas viajeras como de ondas estacionarias. En un caso se trata de una cámara de medida metálica que se adapta a una antena de bocina y a conos de adaptación de impedancias, mientras que en el segundo caso es una cámara reverberante. Se emplean de manera habitual para emular condiciones de exposición y medir parámetros tales como incrementos de temperatura en animales, con el fin de poder estimar valores de SAR o parámetros a nivel celular o molecular de los sujetos de medida.

Desde el punto de vista de cumplimiento de los umbrales de emisión de campos electromagnéticos de radiofrecuencia no ionizantes, es necesario estimar los valores de campo eléctrico recibido máximos para la región bajo consideración.

### **3.3. CASOS DE ESTUDIO SOBRE EL IMPACTO TOPO-MORFOLÓGICO EN LA ESTIMACIÓN DE NIVELES DE CAMPO RECIBIDO.**

Con el fin de poder ilustrar el impacto que tiene tanto la topología como la morfología del entorno sobre la estimación de niveles de emisión, se han realizado una serie de estudios sobre recintos interiores, tanto domésticos como de oficina.

El método de cálculo empleado es un código de lanzamiento de rayos 3D que se ha implementado de manera específica en la UPNA. Dicho código tiene en cuenta los procesos de reflexión, refracción y difracción de los rayos lanzados, en función de las propiedades de los materiales que se encuentran en el escenario. Dichos materiales se definen topológicamente, así como fijando sus parámetros de respuesta a campos eléctricos (i.e., constante dieléctrica dispersiva y conductividad). Desde el punto de vista de parámetros numéricos de simulación, se fija la resolución del lanzamiento de rayos en plano horizontal y vertical, el número de reflexiones permitidas hasta la extinción del rayo y la resolución de los cuboides (de tamaño uniforme) en que se discretiza el escenario original. En dicho escenario se pueden fijar diversas fuentes radiantes, en las cuales se parametriza tanto la frecuencia de operación, la potencia de transmisión y el diagrama de radiación de dicha fuente.

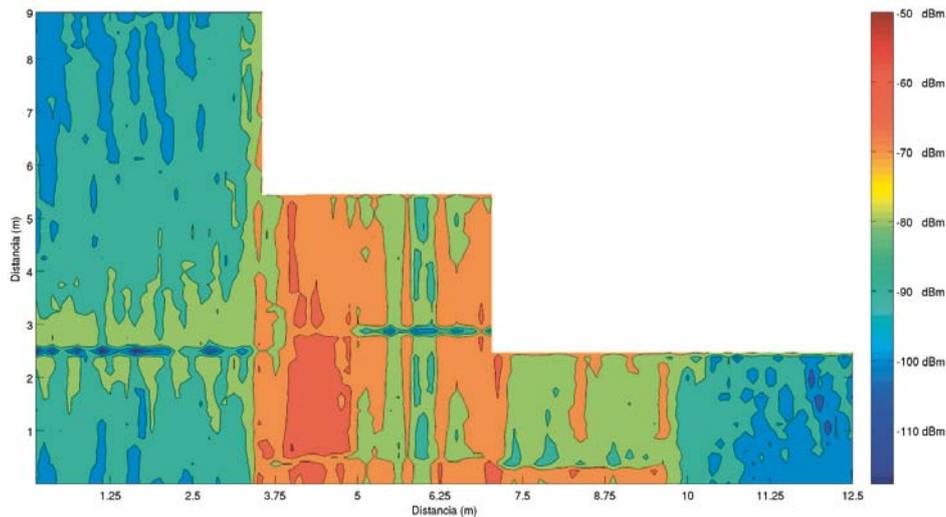
El primer ejemplo consiste en un recinto residencial, ubicado en un edificio de apartamentos en una zona de densidad poblacional elevada. Dicha vivienda tiene en las inmediaciones una serie de estaciones base de telefonía móvil, que disponen de tecnología GSM (900MHz), DCS (1800 MHz) y UMTS (2.1GHz). Para realizar la estimación de densidades de potencia presentes en dicho entorno, se han modelado las estaciones base externas como fuentes equivalentes del escenario de lanzamiento de rayos, teniendo en cuenta tanto los sistemas móviles existentes, los diagramas de

radiación de los diversos sectores que tienen y la potencia máxima de emisión, en función de la cantidad de transceptores activos. Los parámetros de simulación del escenario han sido los siguientes:

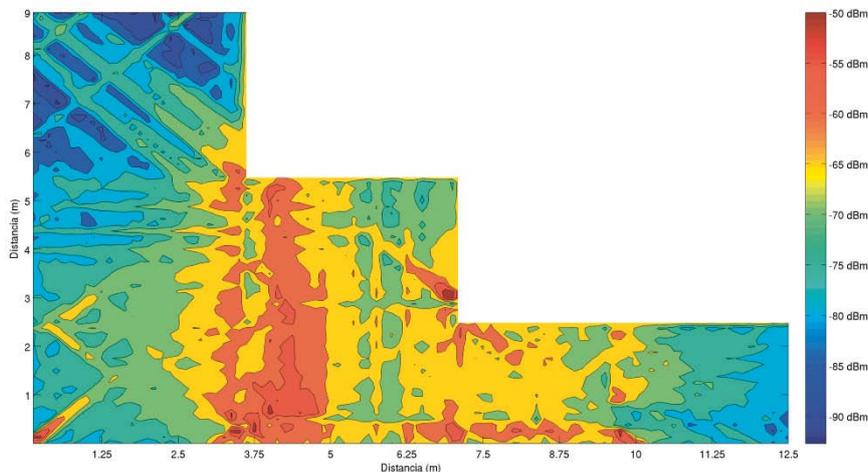
- Resolución de cuboides: uniformes, de 10 cm de lado.
- Resolución angular plano horizontal: 1.º
- Resolución angular plano vertical: 1.º
- Número máximo de reflexiones permitidas hasta extinción: 6.

Los resultados de simulación obtenidos se muestran en la figura 1, 2 y 3 para los diferentes sistemas considerados. En la [figura 1](#) se muestra el resultado para los valores en la banda frecuencial de 900MHz, correspondientes al sistema GSM, en la [figura 2](#) se muestran los resultados en la banda frecuencial de 2.1 GHz correspondientes al sistema UMTS y finalmente, en la [figura 3](#), se muestran los resultados para la banda frecuencial de 2.4 GHz, correspondiente a un router WiFi localizado en el interior de la vivienda.

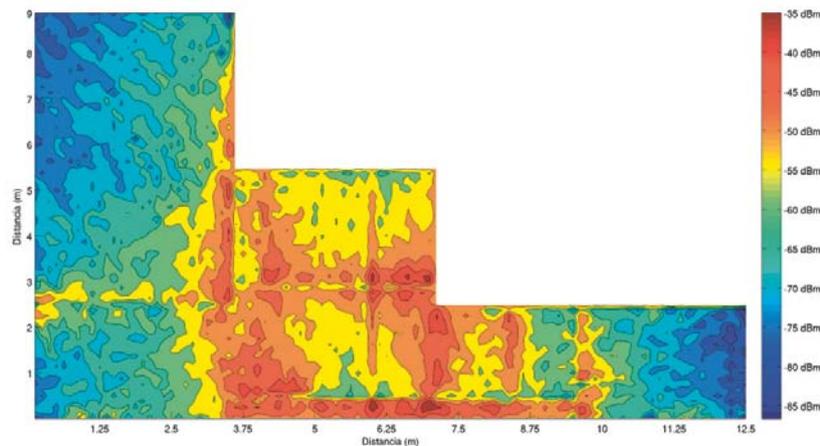
**Figura 1: Estimación de niveles de potencia recibidos correspondientes al sistema GSM 900 en un entorno doméstico**



**Figura 2: Estimación de niveles de potencia recibidos correspondientes al sistema UMTS en el mismo recinto descrito previamente**



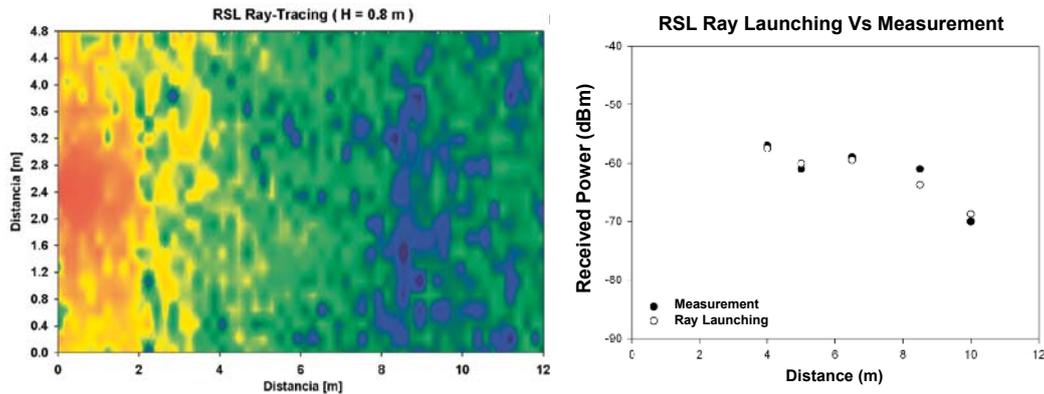
**Figura 3:** Estimación de niveles de potencia recibidos correspondientes a un router WiFi ubicado en el interior de la vivienda



Tal y como se puede observar de los resultados obtenidos, los valores de distribución de potencia dentro de la vivienda dependen fuertemente de la localización de las fuentes de emisión, así como de la ubicación de los elementos constitutivos del interior de la vivienda. Se puede destacar la alta densidad de potencia observable en la [figura 3](#), correspondiente a la ubicación de un router WiFi en el interior de la vivienda, suponiendo el caso más restrictivo (i.e., operando a máxima potencia). La distribución de potencia en los tres casos sigue patrones diferentes, por lo que no es factible realizar una estimación simultánea de todos los sistemas sin considerar los aspectos topológicos de los mismos junto con la morfología propia de la vivienda.

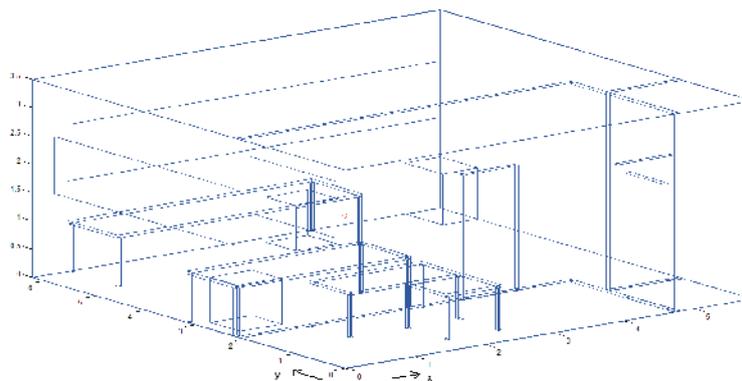
Con el fin de poder ver la influencia del entorno en el caso de redes interiores, se ha realizado la estimación de niveles de emisión para un recinto más simple, correspondiente a un pequeño laboratorio de investigación en la UPNA. Dicho laboratorio no cuenta con paredes de separación, siendo un recinto con 2 mesas adosadas a las paredes laterales y 4 sillas de trabajo, dejando por lo tanto un espacio central diáfano. Dichos resultados de simulación, obtenidos para la banda de trabajo de 2.4 GHz se han comparado con resultados de medida de una red de sensores ZigBee ubicados en dicho entorno. Ambos resultados se muestran en la [figura 4](#). Nuevamente se puede observar que la distribución de potencia no es uniforme, aún en el caso de un recinto pequeño. Las medidas además permiten observar la semejanza con los resultados de simulación, con un error promedio por debajo de 1.6 dB.

**Figura 4:** A la izquierda, estimación de niveles de potencia para un tranceptor operando en la banda frecuencial de 2.4 Ghz, perteneciente a una red inalámbrica personal. A la izquierda se muestran la comparación entre resultados de simulación y medida para sensores ZigBee operando en dicha banda frecuencial



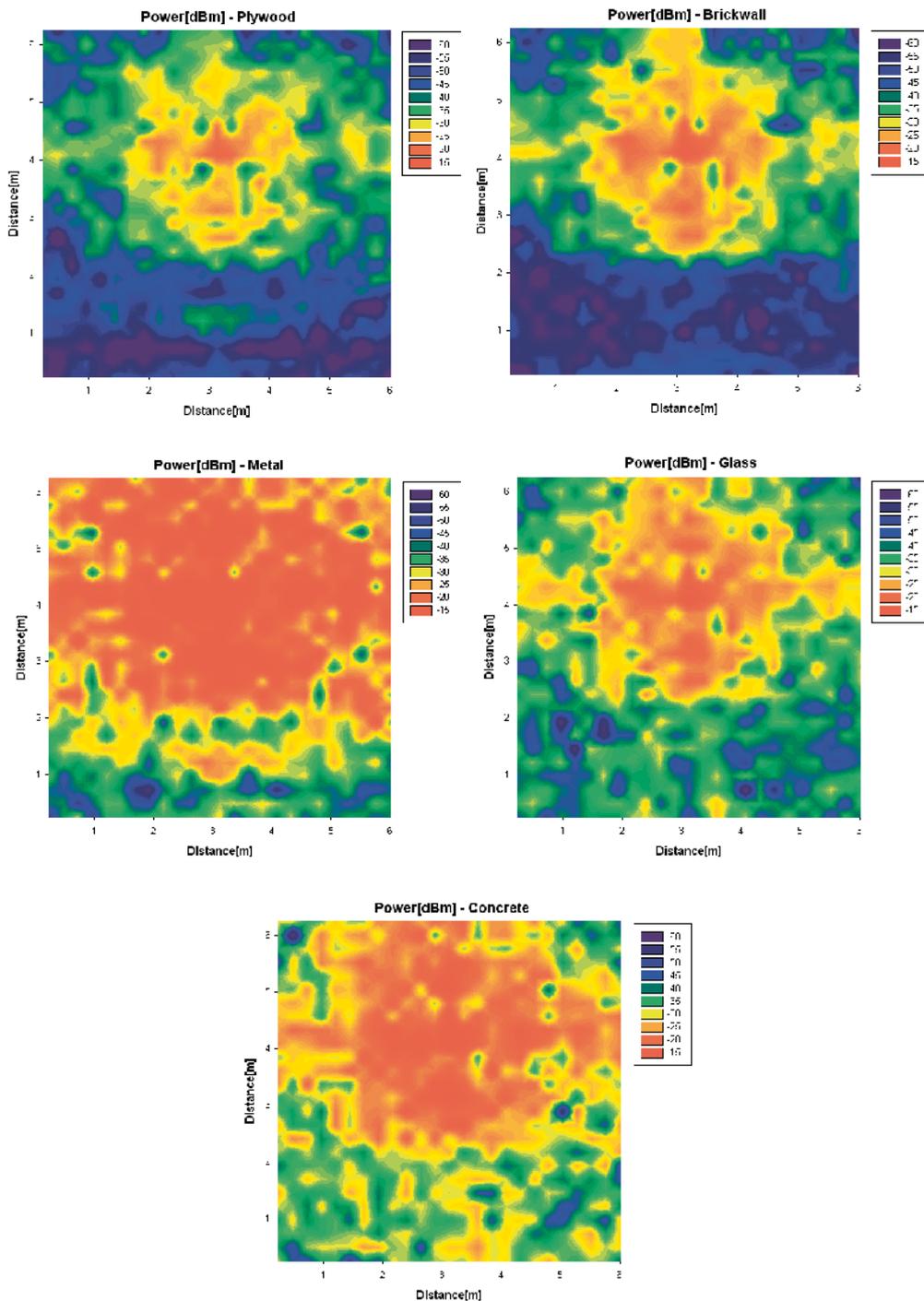
El siguiente ejemplo se centra en la influencia que presentan cambios morfológicos en las estimaciones de niveles de campo recibido. Se trata de un recinto interior correspondiente a una oficina, en la cual se colocan fuentes radiantes que pueden corresponder tanto a elementos de una red de sensores, redes inalámbricas de área local o femtoceldas de sistemas de comunicaciones móviles de cuarta generación. El esquema del recinto para realizar las correspondientes estimaciones mediante técnica de lanzado de rayo 3D se muestra en la [figura 5](#).

**Figura 5:** Esquema del escenario de simulación generado para el análisis de la variación de niveles de campo en función de los materiales constitutivos de las paredes del mismo



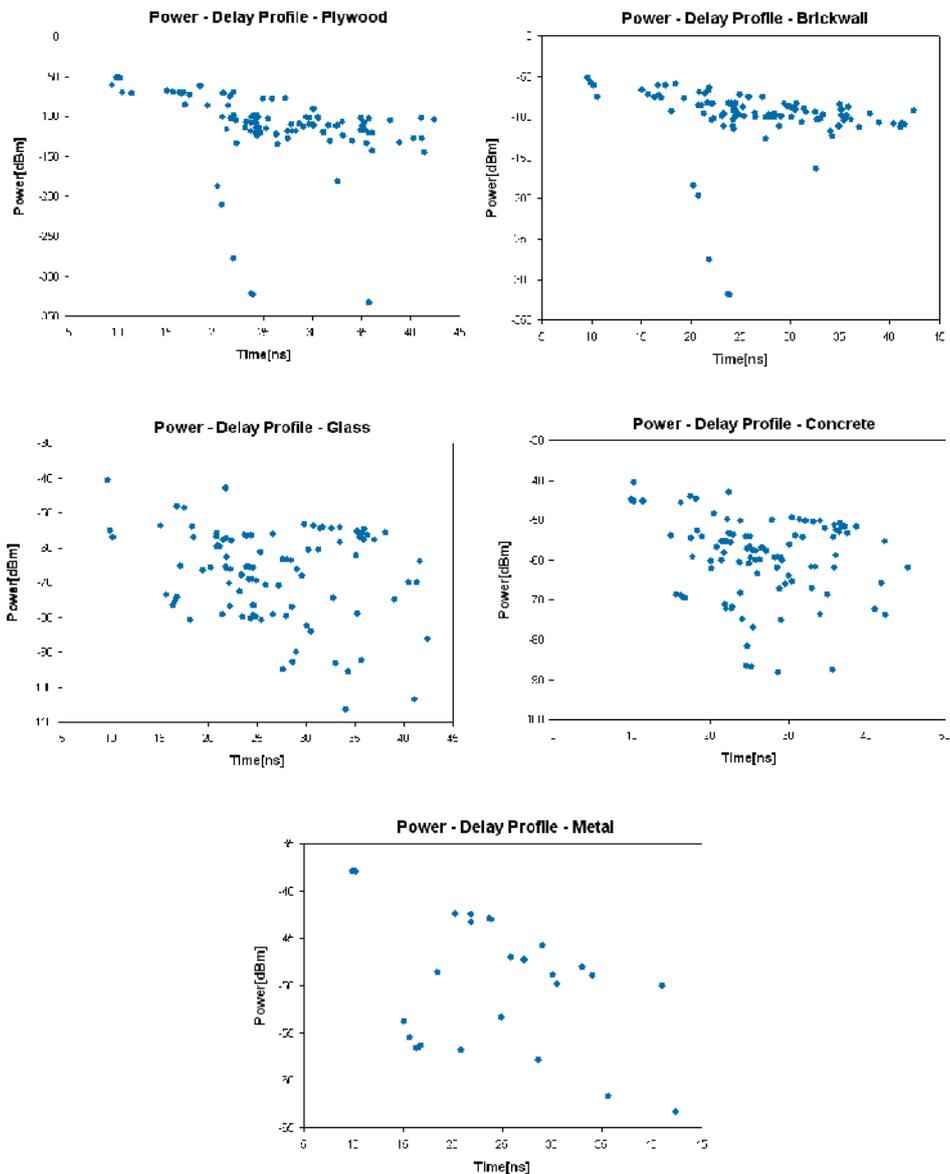
Con el fin de poder observar el impacto al modificar los elementos constructivos empleados en la estimación de niveles de campo recibido, se han realizado diversas simulaciones modificando los materiales constitutivos de las paredes que rodean dicho recinto. Los resultados obtenidos se muestran en la [figura 6](#), en la que se observan cambios significativos en los niveles de campo al modificar los materiales empleados. Los materiales que se han empleado han sido: contrachapado, ladrillo, metal, vidrio y cemento. En todos los casos se han empleado las propiedades dispersivas de los materiales para cada una de las frecuencias de operación seleccionadas.

Figura 6: Estimación de niveles de potencia obtenidos al variar los materiales constructivos de las paredes del recinto de oficina, para una frecuencia de operación de 2.45 GHz y un plano bidimensional ubicado a una altura de 0.5 m



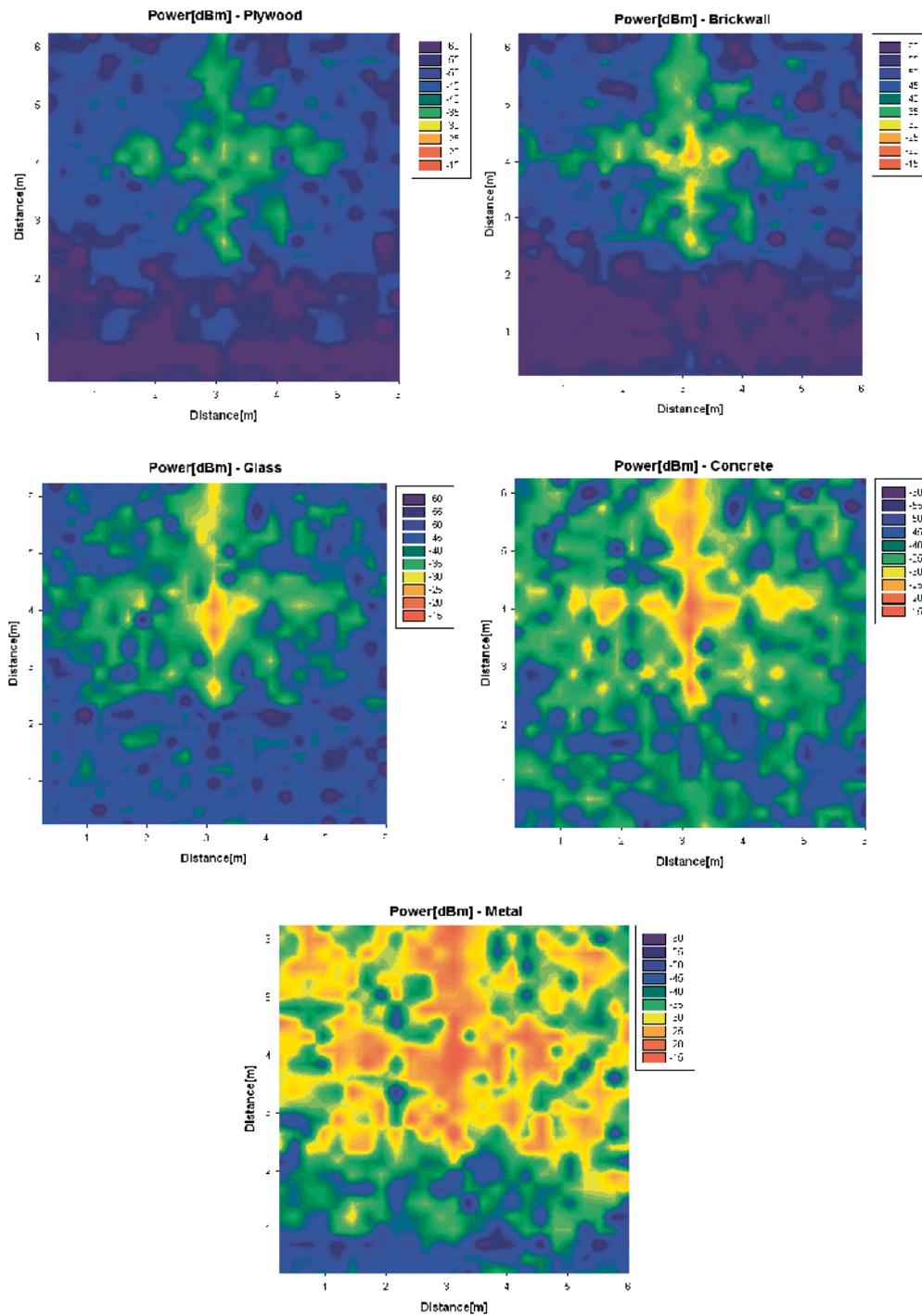
Tal y como se puede observar de los resultados de la distribución de potencia recibida en el recinto, existe una fuerte dependencia con el entorno que le rodea. Esto es debido a las fuertes componentes de propagación multitrayecto presentes en el escenario, consecuencia de las interacciones múltiples de los rayos lanzados (que emulan el frente de onda radiado por la fuente en el escenario) con todos los elementos dentro del mismo. Dichas contribuciones se pueden apreciar de manera más clara al calcular la distribución de los perfiles de retardo potencia para uno de los cuboides de observación dentro del escenario al variar los materiales constitutivos del mismo. Dichos resultados se presentan en la [figura 7](#):

Figura 7: Estimación de perfiles de retardo potencia obtenidos al variar los materiales constructivos de las paredes del recinto de oficina, para una frecuencia de operación de 2.45 GHz y un plano bidimensional ubicado a una altura de 0.5 m

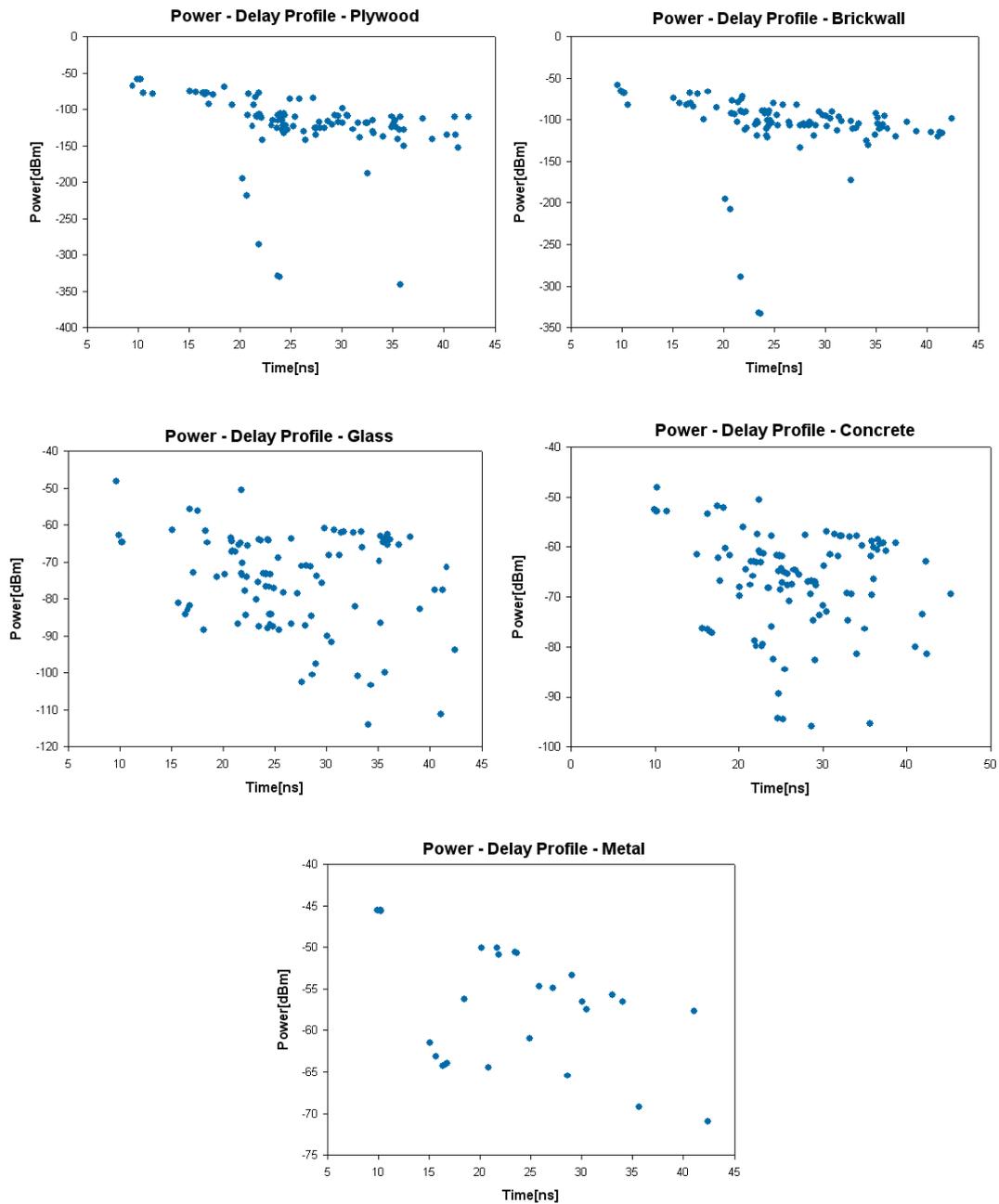


Con el fin de poder observar las diferencias en los valores en función de la frecuencia, se han realizado simulaciones para el caso correspondiente a un sistema WiFi operando en la banda de 5.8 GHz. Al igual que en el caso anterior de 2.4 GHz, se han obtenido tanto los planos bidimensionales de potencia para una cierta altura, como los perfiles de retardo potencia. Dichos resultados se muestran a continuación:

Figura 8: Estimación de niveles de potencia obtenidos al variar los materiales constructivos de las paredes del recinto de oficina, para una frecuencia de operación de 5.8 GHz y un plano bidimensional ubicado a una altura de 0.5 m

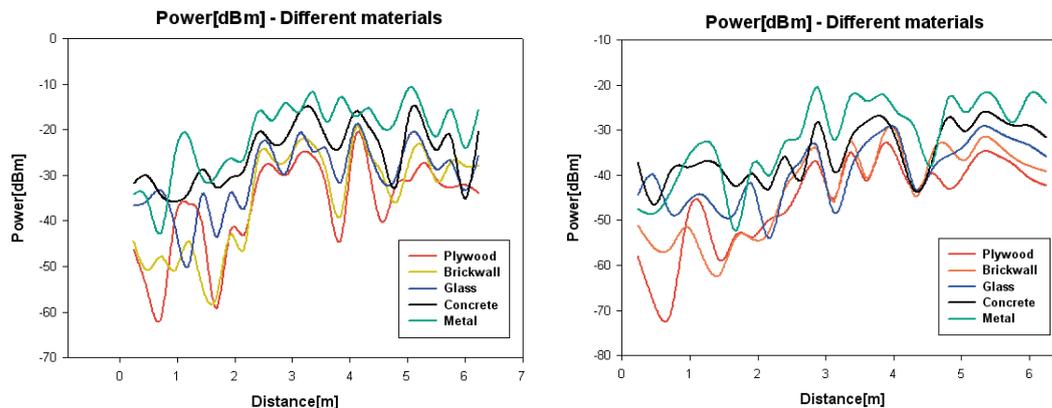


**Figura 9:** Estimación de perfiles de retardo potencia obtenidos al variar los materiales constructivos de las paredes del recinto de oficina, para una frecuencia de operación de 5.8 GHz y un plano bidimensional ubicado a una altura de 0.5 m



Tal y como se puede observar de los resultados anteriores, existe nuevamente una fuerte dependencia con la posición así como el empleo de los materiales constitutivo de las paredes en los valores de campo que se obtienen. El incremento de la frecuencia de operación conlleva además una esperada reducción en los niveles de potencia observados en el escenario bajo análisis. Con el fin de poder observar de manera nítida dicha dependencia con el entorno, se presentan a continuación los resultados para distribuciones de potencia variando la distancia entre la fuente transmisora y potenciales receptores dentro del escenario. Dichos resultados se muestran en la [figura 10](#).

**Figura 10:** Distribuciones de potencia recibida en función de la distancia lineal entre la fuente transmisora y el receptor, para los diferentes materiales considerados. La figura de la izquierda corresponde a la fuente a 2.4 GHz, mientras que la figura de la derecha muestra los resultados para la fuente de 5.8 GHz.



### 3.4. CONCLUSIONES

El avance en la implantación de redes inalámbricas para crear entornos de Inteligencia Ambiental conlleva un uso más intensivo del espectro electromagnético, así como la existencia de múltiples fuentes emisoras en entornos confinados. La topología de las redes de comunicaciones, así como las propias características de los recintos juegan un papel clave en los valores de campo electromagnético emitidos. En esta sección se han mostrado diversos escenarios en los cuales se observa la dependencia de los valores de emisión detectados con dichas características topológicas y morfológicas. El empleo de técnicas deterministas permite analizar el impacto de dichos ecosistemas heterogéneas, permitiendo un mayor control de las emisiones y la posibilidad de emplear, en la fase de diseño de dichos sistemas, técnicas de minimización de niveles de exposición de los mismos.

### 3.5. REFERENCIAS

- Azpilicueta L., Falcone F., Astráin J.J., et al. (2012). Measurement and modeling of a UHF-RFID system in a metallic closed vehicle. *Microwave and Optical Technology Letters* 54: 2126-2130.
- Bhalla, R., Ling, H. (2000). Near-Field Signature Prediction Using Far-Field Scattering Centers Extracted from the Shooting and Bouncing Ray Technique. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 48: 337-338.
- Bioinitiative 2012, The Bioinitiative Report 2012, <http://www.bioinitiative.org/>
- Council recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz).
- Dimitriou, A. G., Sergiadis, G. D. (2006). Architectural features and urban propagation. *IEEE Trans. Antennas and Propag.* 54: 774-784.
- DIRECTIVA 2013/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 26 de junio de 2013 sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos).
- Gajsek P, Pakhomov AG, Klauenberg BJ (2002). Electromagnetic field standards in central and eastern european countries: current state and stipulations for international harmonization. *Health Phys* 82(4): 473-483.
- Genuis, S. J. (2007). *Fielding a Current Idea: Exploring the Public Health Impact of Electromagnetic Radiation*, Elsevier Public Health.
- Grandolfo M. (2009). Worldwide standards on exposure to electromagnetic fields: an overview. *Environmentalist* 29: 109-117.

- Hata, M. (1980). Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. *IEEE Trans. Antennas and Propag.* 29:317-325.
- Hirata, A. (2009). Computational electromagnetic dosimetry of a human body in a vehicle for plane-wave exposure. *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials* 129: 725-726.
- Hondou T., Ueeda T., Sakata Y., Tanigawa N., Suzuki T., Kobayashi T. and Ikeda K (2006). Passive Exposure to Mobile Phones: Enhancement of Intensity by Reflection. *J. Phys. Soc. Jpn.*, 75.
- Hristov, H. D. (2000). *Fresnel Zones in Wireless links, zone plate lenses and antennas*. s.l., Artech House.
- ICNIRP (1998) Guidelines for limiting exposure to protection time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation. *Health Phys* 74: 494-522.
- Ikegami, F., Yoshida, S., Takeuchi, T., Umehira, M. (1984). Propagation factors controlling mean field strength on urban streets. *IEEE Trans. Antennas and Propag.* 32: 822-829.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (1999) IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. Document IEEE C95-1. New York.
- Iskander, M. F., Yun, Z. (2002). Propagation Prediction models for wireless communications systems. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech* 50: 662-673.
- Jin, J. M., Ni, S. S., Lee, S. W. (1995). Hybridization of SBR and FEM for Scattering by Large Bodies with Cracks and Cavities. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 43: 1130-1139.
- Kanatas, A. G., Kountouris, I. D., Kostaras, G. B., Constantinou, P. (1997). A UTD propagation model in urban microcellular environments. *IEEE Trans. Veh. Tech* 46: 185-193.
- Kouyoumjian, R. G., Pathak, P. H. (1974). A uniform theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface. *Proc. IEEE* 62: 1448-1462.
- Lee, D. J. Y., Lee, W. C. Y. (2000). Propagation prediction in and through buildings. *IEEE Trans. Veh. Tech.* 49: 1529-1533.
- Luebbers, R. J. (1988). Comparison of Lossy Wedge Diffraction Coefficients with Application to Mixed Path Propagation Loss Prediction. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 7 36: 1031-1034.
- Luebbers, R. J. (1989). A Heuristic UTD Slope Diffraction Coefficient for Rough Lossy Wedges. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2 37: 206-211.
- Nagaoka, T., Watanabe, S. (2011). GPU-Based 3D-FDTD Computation for Electromagnetic Field Dosimetry. *IEEE Africon*: 1-6.
- Nazábal J.A., Iturri López P., Azpilicueta L., et al.. (2012). Performance Analysis of IEEE 802.15.4 Compliant Wireless Devices for Heterogeneous Indoor Home Automation Environments, *International Journal of Antennas and Propagation*, Hindawi Publishing Corporation.
- Sánchez-Hernández, D. A. (2009). *High Frequency Electromagnetic Dosimetry*, Artech House, Inc.
- Schuster, J. W., Luebbers, R. J. (1997). Comparison of GTD and FDTD predictions for UHF radio wave propagation in a simple outdoor urban environment. *IEEE Antennas and Propag. Society International Symposium* 3: 2022-2025.
- Seidel, S. Y., Rappaport, T. S. (1994). Site-specific propagation prediction for wireless in building personal communication system design. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 43: 879-891.
- Shirai, H., Sato, R., Otoi, K. (2007). Electromagnetic Wave Propagation Estimation by 3-D SBR Method. *International Conference on Method. Electromagnetics in Advanced Applications*: 129-132.
- Son, H. W., Myung, N. H. (1999). A deterministic ray tube method for microcellular wave propagation prediction model. *IEEE Trans. Antennas and Propag.* 47: 1344-1350.
- Spanish Royal Decree 1066/2001, the 28 September, by approving the Regulation on the conditions of protection of public radio, radio emission restrictions and measures of health protection against radio emission.
- Sun, Z., Akyildiz, I. F. (2010). Influences of Vehicles on Signal Propagation in Road Tunnels. *IEEE International Conference on Communications (ICC)*: 1-6.
- Tan, S. Y., Tan, H. S. (1996). A microcellular communications propagation model based on the uniform theory of diffraction and multiple image theory. *IEEE Trans. Antennas and Propag.* 44: 1317-1326.

Taylor, H.C., Hand, J.W., Lau, R. W. (1995). FDTD Modelling for Microwave Dosimetry and Thermography. IEEE Colloquium on Application of Microwaves in Medicine: 11/1-11/6.

Tinniswood, A. D., Furse, C.M.(1997), Computations of SAR Distribution for Two Anatomically-Based Models of the Human Head Using CAD Files of Commercial Telephones and the Parallelized FDTD Code. IEEE. 1997 Digest Antennas and Propagation Society International Symposium 2: 982-985.

World Health Organization. (2010) WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. WHO Research Agenda for Radiofrequency Fields.

Zaridze, R., Razmadze, A., Kajaia, G., Mazmanov, D. (2006). Field Propagation Outdoors, Indoors and Unconfined Spaces. Tbilisi State University, Georgia: 1-6.

## IV. LOS DISPOSITIVOS DE CORTO ALCANCE PARA AMBIENTES ASISTIDOS DE CUIDADOS DE LA SALUD

*M. Dolores Marcos, José Luis Bardasano*

Email: dolores.marcos@uam.es

*Departamento de Especialidades Médicas. Universidad de Alcalá de Henares Madrid*

*Victoria Ramos*

*Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud. Instituto de Salud Carlos III*

### 4.1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la esperanza de vida está dando lugar a un incremento sustancial de enfermedades crónicas así como de otras asociadas al envejecimiento y en consecuencia a una creciente demanda de servicios asistenciales por parte de la ciudadanía. En estas circunstancias, la posibilidad de ofertar atención médica fuera de los recintos sanitarios para ser dispensada en el propio domicilio se perfila como una opción a valorar, más aún si con ello conseguimos mantener la autonomía de los pacientes y provocar un impacto mínimo en sus costumbres y hábitos de vida [Carranza et al., 2010], [Koch, 2006].

La telemedicina y la teleasistencia se han ido incorporando paulatinamente a nuestra operativa sanitaria desde hace ya bastantes años. Por el contrario los Ambientes asistidos o AAL (Ambient Assited Living) como se los denomina comúnmente, son aún relativamente recientes [Herbert et al., 2006] aunque ya despiertan gran interés tanto en los responsables y proveedores de servicios sanitarios como en sus potenciales usuarios [Bensink et al., 2006]. Con la acepción de “vida asistida por el entorno”, los Ambientes asistidos se sirven de la tecnología para facilitar nuestros hábitos cotidianos, evitar el aislamiento y mejorar las habilidades sociales. Una de sus innegables ventajas es la posibilidad de que los profesionales puedan dispensar a los pacientes los cuidados que precisan de forma personalizada pero a distancia, evitando muchos desplazamientos que perturban la rutina diaria de ambos colectivos [Louis et al., 2003], [Meystre, 2005]. Mediante audio, vídeo y otras tecnologías de comunicación, los Ambientes asistidos posibilitan la evaluación y el seguimiento de los pacientes para aquellos casos en los que no sea imprescindible el contacto directo, lo que podría suponer para nuestro sector sanitario la utilización más eficiente de los recursos económicos y humanos de que dispone [Carranza et al., 2010].

Los Ambientes asistidos son hoy en día una posibilidad más tangible gracias a la enorme expansión que ha experimentado Internet durante las últimas tres décadas, pasando de ser una red compuesta por unos cientos de ordenadores a un entramado de conexiones que vincula billones de objetos por todo el mundo [Zheng et al. 2001]. Además se prevé un crecimiento aún mayor ya que todos esos objetos podrán interconectarse entre sí y tendrán capacidades de procesamiento y autogestión, dentro de lo que se concibe como un nuevo paradigma denominado El Internet de las cosas o IoT (Internet of Things).

## 4.2. ANTECEDENTES

Actualmente las sociedades desarrolladas estudian nuevas estrategias para mantener el Estado del Bienestar en poblaciones cada vez más numerosas, envejecidas y con una mayor presencia de enfermedades crónicas. Para poder seguir proporcionando la misma atención sanitaria sin perder calidad se plantea la necesidad de dispensarla fuera de los recintos sanitarios, atendiendo al paciente allí donde se encuentre. Las razones para este cambio responden a varios motivos: por un lado a la demanda de mejores y más completos cuidados médicos y al interés de las administraciones sanitarias en anticiparse a los problemas de salud de la población, pudiendo detectar las enfermedades en sus fases más incipientes incluso antes de que aparezcan los primeros síntomas. Por otra parte, se plantea la urgente necesidad de contrarrestar el importante incremento de los costes sanitarios que se están produciendo debido, como ya se ha mencionado, a los cambios que viene experimentando nuestra sociedad. La atención clínica domiciliaria con el apoyo de la tecnología se perfila como una opción que puede satisfacer tanto a los proveedores de servicios sanitarios como a los pacientes si con ello se consigue además perturbar al mínimo las rutinas diarias de los enfermos.

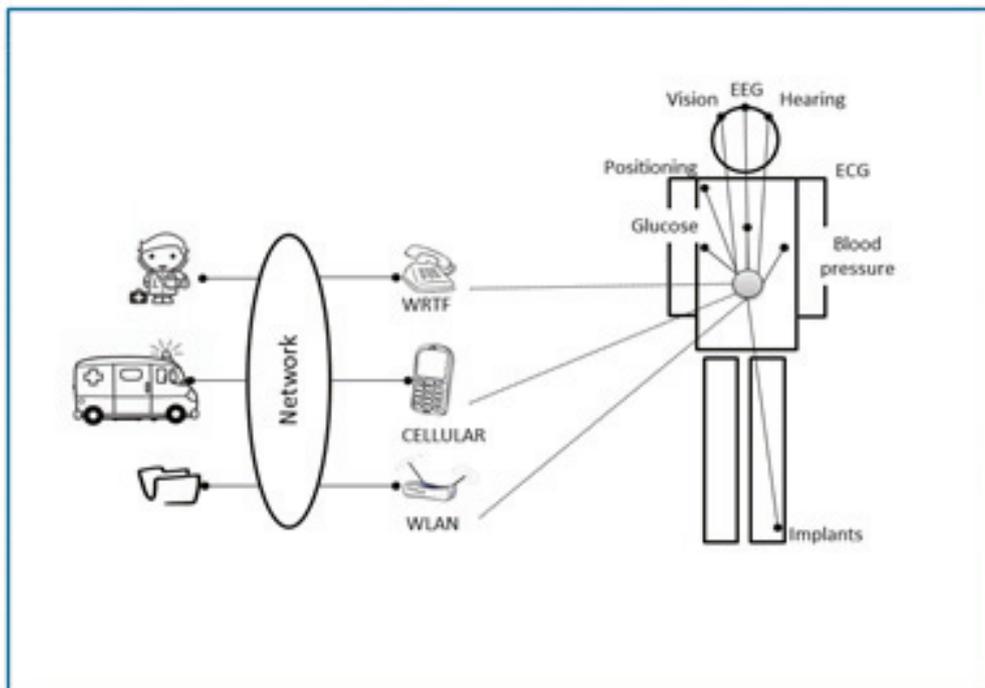
En los últimos años hemos presenciado los grandes avances producidos en el ámbito de los sensores, los dispositivos de corto alcance o SRD (*Short Range Devices*) y otros instrumentos de comunicación inalámbrica emitiendo en baja potencia. La portabilidad de estos elementos, su ubicuidad y su progresiva miniaturización permitirían a los servicios médicos hacer un seguimiento continuo y no invasivo de la salud, lo que adquiere un valor añadido en el caso de personas ancianas, que vivan solas o tengan problemas de movilidad. También estamos siendo testigos de la creciente implantación de sistemas de tecnologías inalámbricas en diversos entornos como el doméstico, laboral, de ocio y por supuesto el sanitario, en lo que se conoce como Ambientes Asistidos. Tecnologías como ZigBee, Radio Frequency Identification (RFID), Ultra Wide Band (UWB), Near Field Communications (NFC), Wireless Local Area Networks (WLAN), Bluetooth, botones de telealarma (alarma social) y dispositivos domóticos son ahora parte integrante de estos entornos como se presenta en la [Figura 1](#). En paralelo, la progresiva miniaturización de sensores y SRD está favoreciendo el desarrollo de soluciones portables de telemetría inalámbrica y biomonitorización, adheridas a prendas de vestir e incluso al propio cuerpo y que ya son utilizadas por profesionales de la salud, pacientes y cuidadores [Zheng et al. 2001], [Zhong and Siok, 2012].

Los sistemas móviles se utilizan ya para controlar, registrar, y transmitir gran variedad de datos relacionados con la salud, tales como la hipertensión, los niveles de oxígeno y de azúcar en la sangre, el peso o el ritmo cardiaco. Existen otros dominios de aplicación que son necesarios en el desarrollo de la actividad médica y que constituye una necesidad inminente en cualquier entorno sanitario, tales como el seguimiento de la ubicación del material, y la localización de personas o de pacientes. Estas aplicaciones son también implementadas mediante plataformas que se engloban bajo el concepto de Salud móvil o mHealth (*Mobile Health*).

La mHealth es un mercado emergente que tiene por objeto la mejora de la calidad del cuidado de pacientes y la disminución del gasto sanitario. En entornos domiciliarios el principal uso de estos sistemas ha sido hasta el momento la gestión de situaciones de emergencia debidas a escapes de gas, agua, humo... y otros

accidentes domésticos como caídas. Sin embargo, su utilización tanto para favorecer el seguimiento y control de enfermedades como para prevenirlas es hoy más cercana gracias al desarrollo de las tecnologías BAN (*Body Area Network* o Red de área corporal). Estas proporcionan información más precisa y rápida sobre los cambios en la condición física del paciente, permitiendo la conectividad automática y gestión remota de dispositivos médicos de la red hospitalaria y el intercambio electrónico de datos médicos entre hospitales y grupos médicos [Geng 2011], [Abidi 2012].

Figura 1. Monitorización de salud ubicua: Red de Area corporal [Body Area Network (BAN)], nodos de sensors inalámbricos, monitorización de señales biomédicas and asistencia sanitaria remota (WRTF: wired telephony service)



### 4.3. ESTADO DEL ARTE

Los teléfonos inteligentes o Smart Phones han significado un gran avance para las redes inalámbricas de área corporal (WBAN), convirtiéndose en elementos esenciales para la implementación de Ambientes asistidos al ser la puerta de acceso a Internet. Incorporan además otras ventajas —accesibilidad, precio reducido, gran capacidad de procesamiento, ubicuidad, utilización de cámaras, posicionamiento global (GPS) y acelerómetros— que facilitan el desarrollo de nuevas aplicaciones de uso sanitario. La generalización de sistemas operativos como Android, iOS, Symbian o Windows Phone que utilizan el Software Development Kit SDK permite que el desarrollo de aplicaciones para Smart Phones sea cada vez más habitual, y como resultado las redes que son compatibles con estos aparatos, tales como Bluetooth, Wi-Fi o NFC, son actualmente las más utilizadas en el entorno sanitario.

En los Ambientes asistidos se utilizan actualmente tres tipos de redes de comunicación de datos: Wi-Fi, domésticas y las compuestas por dispositivos de teleasistencia (SAD). De todas ellas, las redes Wi-Fi, debido a su amplio uso, bajo coste y capacidad de interacción con otros dispositivos como ordenadores personales o PCs (Personal Computers), tabletas o Tablets y los ya mencionados teléfonos

inteligentes, son una propuesta muy interesante para utilizar en entornos de asistencia médica, principalmente por permitir el acceso a Internet. Como desventaja, las redes Wi-Fi conllevan un gran consumo de energía y requieren bastante tiempo para establecer una conexión, junto con una serie de dificultades que incluyen la privacidad, la integridad de los datos, la interrupción de la comunicación, calidad de servicio, la seguridad y la infraestructura de soporte.

Todos estos sistemas de comunicación emergentes facilitan la interacción entre las personas y de estas con los objetos, sin condicionantes geográficos ni temporales. Pero por su gran potencial destaca la interacción de los objetos entre sí y que caracteriza lo que ha venido a denominarse El Internet de las Cosas o IoT [Geng 2011] [Zhong 2011].

El IoT facilita la aparición de aplicaciones y servicios inteligentes destinados a dar nuevas soluciones a necesidades cotidianas de personas y organizaciones. No es por tanto una mera extensión de la actual Internet pues dota a los objetos de nuestro entorno de autonomía para ponerse en comunicación, intercambiar datos e incluso tomar decisiones. Entre otras posibilidades permite la monitorización a distancia de factores que pudieran repercutir negativamente en la salud ambiental y personal —por ejemplo la detección remota de contaminantes en el agua para el consumo— pero pueden también desplegar acciones correctivas e incluso paliativas si el daño es ya real. Sin duda, estos desarrollos cambiarán la sociedad y el modo de proporcionar los cuidados médicos y la atención sanitaria, y en general lo harán de forma positiva. No obstante es importante no olvidar que conllevan ciertos riesgos al incrementar de forma notable los niveles electromagnéticos ambientales y también de los propios usuarios [Ramos y Monteagudo, 2011]. En consecuencia, es necesario llevar a cabo estudios pormenorizados de las condiciones operacionales, de la viabilidad de la implantación y de los posibles riesgos, promoviendo además la redacción y uso de guías y manuales que den lugar a la utilización correcta de estas tecnologías.

#### **4.4. METODOLOGÍA: REVISIÓN DE LA LITERATURA**

A pesar de que los SRD son un elemento recurrente en los trabajos especializados en teleasistencia y telemedicina, no disponemos aún de datos muy concluyentes ni de su grado de penetración ni de su eficacia real. Dado el ritmo al que se producen las innovaciones tecnológicas es fundamental llevar a cabo una búsqueda sistemática de trabajos que focalicen su atención en el uso de los SRD para la asistencia sanitaria. Por dichas razones este trabajo se planteó como objetivo llevar a cabo una revisión de la literatura desde 2001 hasta 2011 inclusive para identificar qué avances tecnológicos podrían ser de utilidad para el cuidado de la salud en general, pero sobre todo para configurar Ambientes asistidos.

La metodología empleada consistió en las siguientes cuatro fases: 1. localización de publicaciones, 2. clasificación en categorías temáticas, 3. filtrado de las publicaciones incluidas en cada categoría según los objetivos de la revisión y 4. conclusiones. La búsqueda de los trabajos, tanto manual como automática, se realizó en las bases de datos EMBASE, MEDLINE y PubMed. En los apartados Título, Palabras clave y Resumen se procedió a buscar los siguientes términos o sus combinaciones:

- “Dispositivo (o dispositivos) de corto alcance”
- “Tecnología (o tecnologías) de corto alcance”

- “Radiofrecuencia”
- “RFID (y sus sinónimos)”
- “Bluetooth”
- “Near Field Communication NFC”
- “Wlan”
- “UWB”

Tras una primera búsqueda se decidió introducir también como criterio la palabra “humanos” para eliminar los trabajos que aún se encontraban en fases preliminares de experimentación animal.

Los documentos inicialmente localizados fueron 653. Tras la eliminación de duplicados y otros resultados no adecuados (en total 378) se seleccionaron finalmente 275 publicaciones. Las revisiones llevadas a cabo por otros autores algunos años e incluso sólo unos meses antes, fueron de gran utilidad pues nos permitieron identificar documentos que los motores de búsqueda no habían localizado y que formaron parte también de nuestra revisión.

Los tipos de publicaciones consideradas fueron: artículo, artículo en prensa, conferencia (extracto), texto de ponencia, conferencia, editorial, carta, nota, revisión y encuesta breve. Editoriales, cartas y documentos de opinión fueron excluidos así como los que abordaban aspectos éticos y legales. No se impusieron restricciones en la calidad del diseño del estudio.

Dos autores revisaron de forma independiente los documentos finalmente elegidos, procediendo a clasificarlos al menos en una de las categorías siguientes:

- Compatibilidad electromagnética.
- Riesgos electromagnéticos para la salud.
- Efectos electromagnéticos sobre tejidos biológicos.
- Entornos monitorizados.
- Ambientes asistidos.
- Evaluación y mejora de la tecnología.

Una lectura más profunda de los resúmenes de los documentos seleccionados puso de manifiesto que, aunque contenían los términos de búsqueda, no concordaban con el tema de esta revisión de la literatura. Este tipo de errores son frecuentes cuando se utilizan herramientas informáticas ya que, aunque son capaces de localizar los términos, no atienden ni a su contexto ni al significado, lo que supone un importante inconveniente en las búsquedas automatizadas.

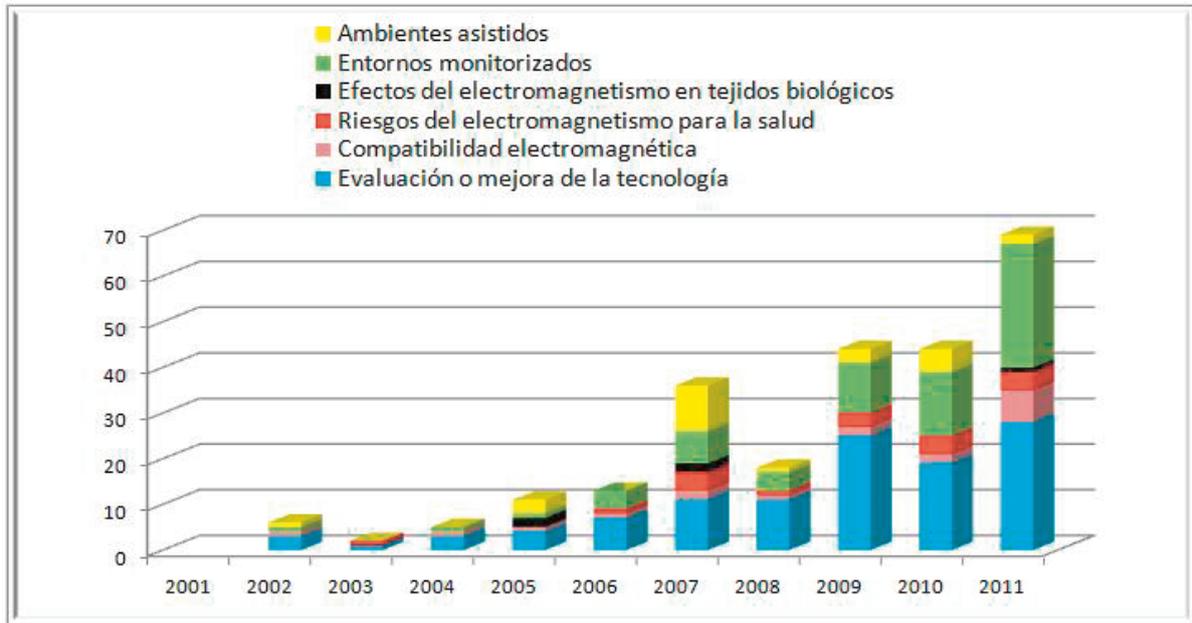
## 4.5. RESULTADOS

Aunque la mayor parte de los documentos localizados se ocupan del tema sólo parcialmente, queda patente la gran cantidad de trabajos que se han publicado en los últimos años relacionados con el uso de los SRD en la asistencia sanitaria.

El número de documentos parece haber aumentado de manera significativa desde 2001, como se aprecia en la [figura 2](#). Se seleccionaron finalmente 248 que se clasificaron en las seis categorías temáticas ya enumeradas. La distribución de los

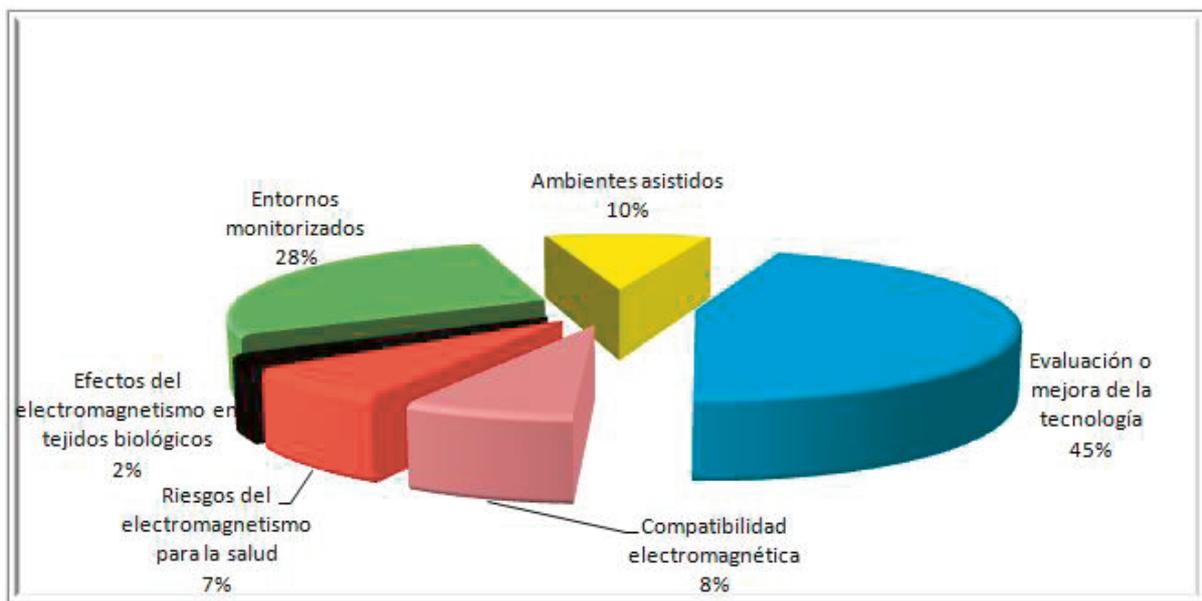
trabajos según su temática, en cada uno de los años del periodo considerado 2001-2011, se muestra en la [figura 2](#).

**Figura 2. Trabajos que hacen referencia a la utilización de tecnologías SRD en atención sanitaria desde 2001 a 2011 (Número total: 248)**



Destaca no obstante, la escasez de publicaciones que evalúen la eficacia de los SRD en entornos sanitarios reales. Además, la mayoría de ellas se centran en aspectos puramente técnicos, como muestra la [figura 3](#).

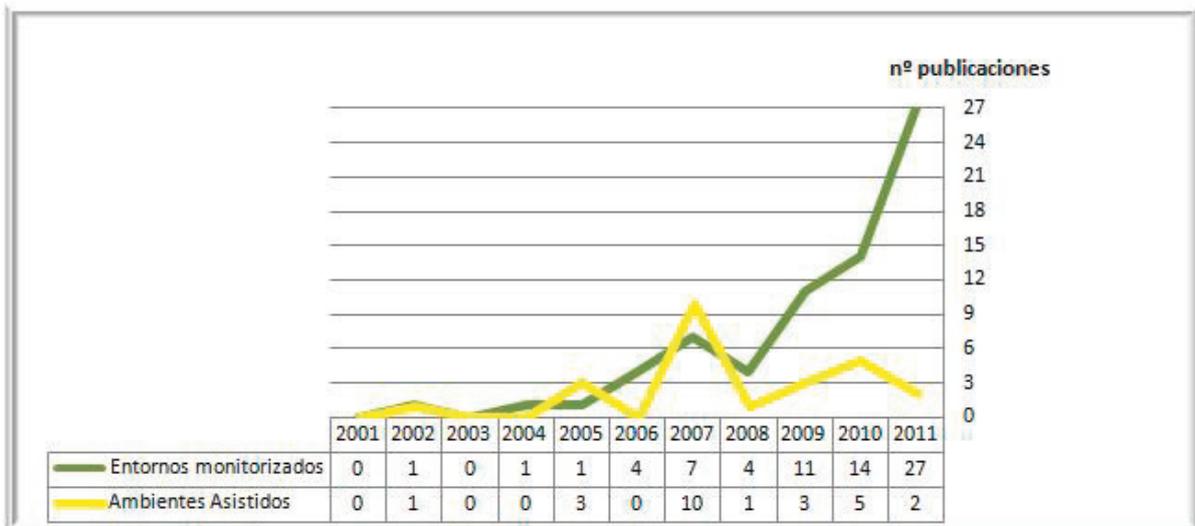
**Figura 3. Distribución de publicaciones por temática (Número total: 248)**



Según se puede observar en la [figura 4](#), las dos categorías por las que los autores están mostrando un creciente interés son los Ambientes asistidos y los Entornos monitorizados, sobre todo desde 2007. Ambas aluden a escenarios más complejos

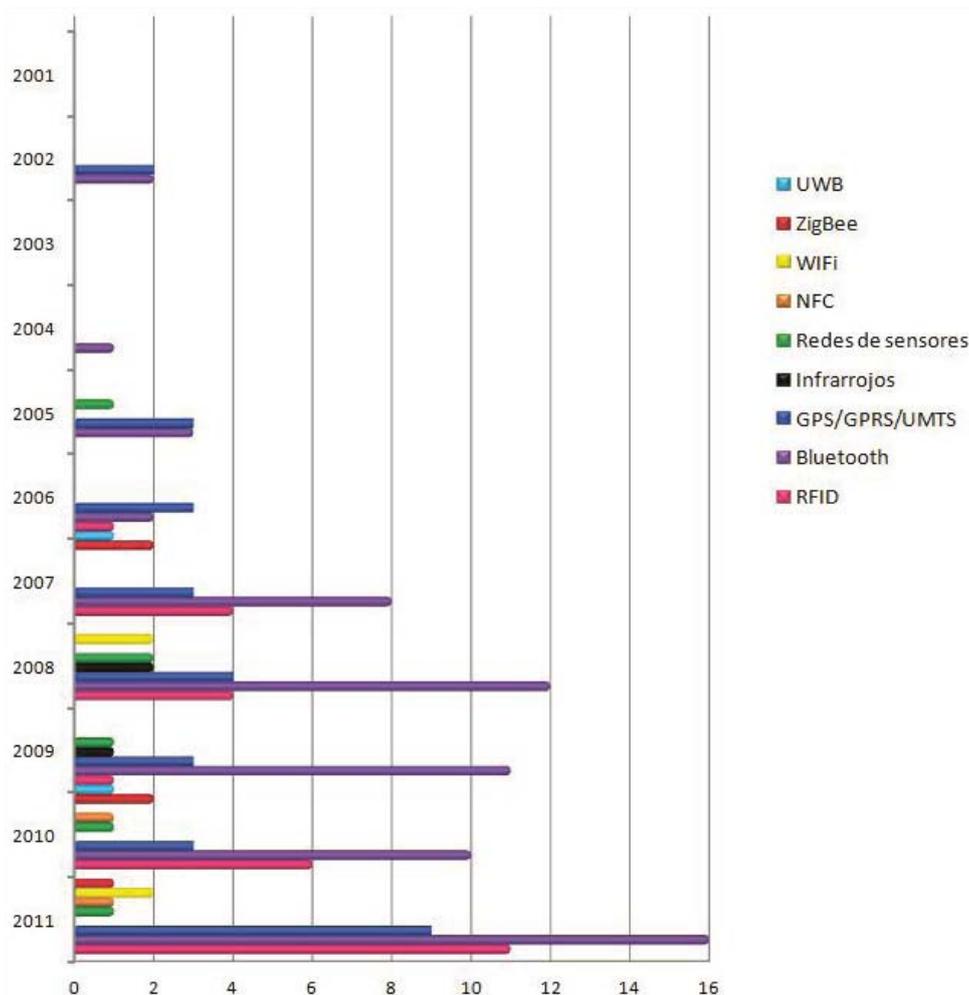
donde los SRD funcionan conjuntamente con sensores dentro de redes inalámbricas para finalmente conectar con repositorios remotos que contienen datos y programas informáticos. El objetivo de estas aplicaciones es reducir el número de hospitalizaciones y también disminuir los días de estancia en los centros sanitarios. De esa forma se reducirían los costes económicos y humanos al tiempo que se mejora la calidad de vida de los pacientes. Ocurre no obstante que muchos de estos pacientes son ancianos o tienen una discapacidad temporal o permanente y no siempre disponen de cuidadores que puedan sustituir a los profesionales sanitarios, siendo por tanto estos colectivos los que pueden verse más beneficiados con los avances tecnológicos que permitan su supervisión, también, fuera de los recintos hospitalarios.

Figura 4. Publicaciones dedicadas a Ambientes asistidos y entornos monitorizados (Número total: 95)



Finalmente, la figura 5 muestra las diferentes tecnologías que pueden ser de utilidad para los pacientes, para sus cuidadores y familiares y también para los profesionales sanitarios en estos entornos sanitarios emergentes. Destaca la ausencia de publicaciones en los años 2001 y 2003.

**Figura 5. Tecnologías utilizadas para la atención al paciente en Ambientes asistidos y Entornos monitorizados (Número total: 95)**



## 4.6. DISCUSIÓN

Este trabajo ha localizado un importante número de estudios que ejemplifican la penetración de los SRD en la atención sanitaria y el cuidado de la salud, pero dada su heterogeneidad no ha sido fácil evaluar su calidad metodológica, por lo que no se ha utilizado dicha característica como criterio de exclusión. Ha quedado patente la ausencia de artículos en el año 2001 y la escasa producción durante el año 2003, tal y como muestra la [Figura 3](#). Además la mayoría de los trabajos localizados y aceptados para formar parte de la revisión, aunque mencionan el posible y prometedor uso de los SRD para la atención sanitaria, en realidad no se centran en ese particular. Otro aspecto a destacar es la ausencia de criterios homogéneos entre los autores a la hora de elegir las palabras clave para describir o caracterizar sus trabajos lo que ha podido tener como consecuencia que un número indeterminado de documentos no hayan sido localizados por los motores de búsqueda, y por tanto no hayan podido ser incluidos en la revisión.

Lo que sí ha quedado patente es que en su gran mayoría las publicaciones revisadas abordan aspectos técnicos, evaluándolos o planteando mejoras, tal como se puede observar en la [Figura 4](#). Después de revisar la literatura se puede afirmar que los nodos de sensores inalámbricos desempeñarán un papel clave y proactivo en los

servicios de salud del futuro si bien para conseguirlo es imprescindible una reducción del consumo energético del nodo para aumentar su autonomía y minimizar el mantenimiento que requieren en la actualidad. Destaca de manera notable el interés que suscita la tecnología Bluetooth en el campo de las aplicaciones de atención médica, con un importante número de trabajos dedicados a la misma frente a las otras 8 mencionadas por los autores, tal y como muestra la [figura 5](#).

Sigue habiendo no obstante una falta de publicaciones que analicen la eficacia real de los SRD para proporcionar atención sanitaria o cuidados a la salud y un número aún bastante reducido de publicaciones que aborden los riesgos de la exposición electromagnética y los problemas de compatibilidad entre las redes inalámbricas y los equipos médicos.

El uso de SRD en ambientes asistidos ofrece una gran cantidad de beneficios y un avance importante para el seguimiento de pacientes y también de personas mayores no enfermas mejorando la eficiencia y la calidad de los servicios de salud. Sin embargo su éxito puede verse comprometido si no se determinan con exactitud los umbrales aceptables de exposición a campos electromagnéticos para evitar consecuencias indeseadas, y si no se establecen inequívocamente las condiciones técnicas que evitarían la interferencia de las redes con el funcionamiento correcto de otros dispositivos de uso médico. De estos factores críticos puede depender, no solo un menor grado de penetración de los SRD en aplicaciones sanitarias, sino incluso su aceptación o rechazo por parte de proveedores, profesionales y pacientes. Por tanto, las nuevas soluciones para el cuidado de la salud que se implementen no deben obviar las cuestiones relativas a la compatibilidad electromagnética, el cumplimiento de la normativa vigente y la utilización apropiada y segura por parte de los usuarios gracias a la observancia de las instrucciones de uso.

## 4.7. CONCLUSIONES

En general, este capítulo presenta una visión general de lo recogido en la literatura en relación al grado de penetración de los SRD y su eficacia real en el campo de la asistencia sanitaria. Proporciona además información relevante tanto para pacientes como para médicos u otros profesionales sanitarios sobre estas tecnologías a tener en cuenta cuando se utiliza para el cuidado de la salud y en la implementación de ambientes asistidos. Se perfila como la próxima generación de la asistencia sanitaria, distribuida, centrada en el paciente y autogestionada con apoyo de la tecnología, frente al modo tradicional de prestar atención médica en recintos hospitalarios y con una alta dependencia de los profesionales sanitarios. La integración de SRD con otras tecnologías de computación ubicua como protocolos de comunicaciones y redes inalámbricas de sensores está dando lugar a aplicaciones innovadoras en el área de telemedicina principalmente para la supervisión continua de las personas mayores o con discapacidad, y también para el seguimiento de los pacientes durante los periodos de rehabilitación o convalecencia donde la única necesidad es asegurar la administración correcta de la medicación. En los últimos años se han hecho muchos esfuerzos para desarrollar sensores portátiles que permitan la monitorización continua de signos vitales pero seguimos sin disponer de estándares o normas que regulen el tamaño, la arquitectura o el rendimiento de los sistemas.

Por otra parte, los errores en la administración de medicamentos y el incumplimiento de las pautas farmacológicas son problemas ya conocidos, con

consecuencias graves en el estado de salud de los pacientes y un importante impacto en los costes sanitarios. Los ambientes asistidos, con importante presencia de tecnologías inteligentes, ofrecerían apoyo a los pacientes ambulatorios en su rutina diaria y así permitirles un estilo de vida independiente y segura sin cuidadores. Los objetos que nos rodean son ahora capaces de identificar, localizar, detectar y conectarse, permitiendo la comunicación entre personas y objetos e incluso entre ellos mismos sin intervención humana. Dotarlos de autonomía en la toma de decisiones, debe ser por tanto el siguiente paso.

## 4.8. REFERENCIAS

- [Adibi, 2012] Adibi, S. Link Technologies and BlackBerry Mobile Health (mHealth) Solutions: A Review. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 16(4): 586-597; 2012.
- [Bensink et al. 2006] Bensink M, Hailey D, Wootton R. A systematic review of successes and failures in home telehealth: preliminary results. *Journal of Telemedicine and Telecare* 2006; 12(Suppl. 3): 8-16.
- [Carranza et al., 2010] Carranza, N., Ramos V., et al., "A Literature Review of Transmission Effectiveness and Electromagnetic Compatibility in Home Telemedicine Environments to Evaluate Safety and Security," *Telemed J e-Health* 16(7): 530-541; 2010.
- [Geng et al. 2011] Geng W, Talwar S, Johnsson K, Himayat N, Johnson KD. M2M: From mobile to embedded internet. *IEEE Communications Magazine*, 49(4): 36-43; 2011.
- [Hanson et al. 2009] Hanson, M.A. et al. "Body area sensors networks: challenges and opportunities" *IEEE Computer*, vol.42/1 Jan.2009, pp. 58-65.
- [Herbert et al.,2006] Hebert MA, Korabek B, Scott RE. Moving research into practice: A decision framework for integrating home telehealth into chronic illness care. *Int J Med Inform* 2006; 75(12): 786-794.
- [Koch, 2006] Koch S. Home telehealth - Current state and future trends. *Int J Med Inform* 2006; 75(8): 565-576.
- [Louis et al., 2003] Louis A, Turner T, Gretton M, Baksh A, Cleland J. A systematic review of telemonitoring for the management of heart failure. *Eur J Heart Fail* 2003; 5: 583-590.
- [Meystre, 2005] Meystre S. The current state of telemonitoring: A comment on the literature. *Telemed J E Health* 2005; 11: 63-69.
- [Ramos and Monteagudo, 2011] Ramos, V; Monteagudo, J.L. "Safety and electromagnetic compatibility in wireless telemedicine applications" Chapter 3, Book *Advances in Telemedicine: technologies, enabling factors and scenarios*. ISBN 978- 953-307-159-6 pp. 63-84. Editorial InTech. 2011. Disponible en <http://www.intechopen.com/articles/show/title/safety-and-electromagnetic-compatibility-in-wireless-telemedicine-applications>
- [Zheng et al. 2001] Zheng, J.; Simplot-Ryl, D; Bisdikian, C.; Mouftah, H." The Internet of things". *IEEE Communications Magazine* November 2011, Vol 49. N.11, pp. 30-31.
- [Zhong and Siok, 2012] Zhong F, Siok T. M2M communications for e-health: Standards, enabling technologies, and research challenges. 2012 6th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), pp. 1-4; 2012.

## V. EXPOSICIÓN A CAMPOS DE FRECUENCIA INDUSTRIAL EN MEDIOS OCUPACIONALES HOSPITALARIOS

Alejandro Úbeda, María Antonia Martínez, María Antonia Cid, Lucía Chacón y María Ángeles Trillo

Email: angeles.trillo@hrc.es

Servicio de Investigación – BEM, Hospital Ramón y Cajal – IRYCIS, Madrid

Estudio basado en una puesta al día y traducción de un trabajo previo de los mismos autores (Úbeda et al., 2011)

### 5.1. INTRODUCCIÓN

Varios estudios epidemiológicos han descrito una posible asociación entre la exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos (CM) de frecuencias extremadamente bajas (ELF) y un aumento en la incidencia de diferentes patologías, como el cáncer (leucemia, cáncer cerebral, cáncer de mama y cáncer testicular), enfermedades neurodegenerativas y cardiovasculares y anomalías del desarrollo [Ahlbom et al., 2004], [Feychting et al., 2003]; [Johansen et al., 2004]; [Qiu et al., 2004]; [Park et al., 2005]; [Kheifets et al., 2008]; [Chen et al., 2013]; [Sermage-Faure et al., 2013]. También se han descrito incrementos en los índices de depresión, migrañas crónicas, insomnio, y otras enfermedades entre los trabajadores expuestos a campos magnéticos de frecuencia industrial (FI: 50/60 Hz) a densidades de flujo magnético del orden de 1 - 50 microteslas ( $\mu\text{T}$ ) [Perry et al., 1989] [Ahlbom, 2001] [California EMF 2002]. Sin embargo, en muchos de los trabajos citados la información sobre la exposición ocupacional a CM ELF es insuficiente. Así, la variabilidad en el patrón de exposición de aquellos trabajadores que realizan más de una tarea representa un problema importante, y podría ser una causa de la escasa coherencia entre los resultados de distintos estudios epidemiológicos. De hecho, el riesgo relativo de leucemia y otros tumores malignos, sugerido por varios trabajos, no ha recibido suficiente apoyo por parte de estudios más recientes, y se han propuesto potenciales factores de confusión o sesgos en la metrología de exposición para explicar tal disparidad [Mezei et al., 2005]; [Feychting, 2006]; [Roosli et al., 2007]; [Schuz, 2007]; [O'Carroll and Henshaw, 2008]; [Kheifets et al., 2009].

Una de las principales dificultades en la interpretación de los resultados de los estudios epidemiológicos se encuentra en la correcta identificación de los grupos de trabajadores y en la caracterización precisa de sus entornos laborales. Ambas condiciones son esenciales para evaluar adecuadamente los efectos alegados de la exposición ocupacional crónica a campos ELF. En efecto, en algunos estudios epidemiológicos los niveles de exposición reportados no fueron estimados mediante mediciones puntuales o monitorización personal. En lugar de eso, a los trabajadores les fueron asignados diferentes rangos de exposición en función de la categoría profesional a la que pertenecían, lo que constituye una metodología aproximada que podría conducir a una evaluación errónea de la exposición real. Los primeros estudios en la materia habían investigado niveles de exposición de campos eléctricos y magnéticos en entornos relacionados con la industria de generación y distribución de energía eléctrica. Más recientemente se han estudiado otros ambientes ocupacionales

[McCurdy et al., 2001]; [Deadman and Rivard., 2002]; [Forssén et al., 2004]; [Szabó et al., 2006]; [Mee et al., 2009], y algunos estudios han descrito los campos ELF emitidos por sistemas aplicados en terapia o diagnóstico médico [Paul et al., 1994]; [Bullough et al., 1996]; [Li et al., 2000]; [Lee et al., 2003]; [Riminesi et al., 2004]; [Moriyama et al., 2005]; [Bradley et al., 2007]; [Roh et al., 2009]. Aunque los datos indicaban que el personal médico de los hospitales es un grupo potencialmente expuesto a CM ELF relativamente elevados, la información sobre las características y los niveles de exposición hospitalaria en puestos de trabajo específicos es todavía escasa e incompleta. Esto se debe, en parte, al hecho de que algunos estudios se centraron en la medición de los CM en la proximidad de equipos específicos, como aparatos de resonancia magnética (RMN) [Bradley et al., 2007]; [De Jager and Grobler, 2009]; [Kännälä et al., 2009] o incubadoras utilizadas en unidades de neonatología [Riminesi et al., 2004], y a que la monitorización de exposición personal puede ser difícil o inadecuada.

En un estudio reciente Mee y colaboradores (2009) utilizaron monitores personales para el seguimiento durante 24 h/día de 236 trabajadores agrupados en 117 categorías laborales diferentes. Tres de estas categorías corresponden a ocupaciones médicas o científicas: enfermeras, médicos, radiólogos y técnicos de investigación o de ingeniería. Las correspondientes medias geométricas, que van desde  $0,07 \pm 2,17 \mu\text{T}$  en los radiólogos a  $0,09 \pm 1,87 \mu\text{T}$  en los técnicos, no difieren significativamente entre sí. En un estudio más completo, Forssén y colaboradores (2004) llevaron a cabo el registro durante 24 h/día de la exposición de trabajadoras suecas a CM ELF. Además, estos autores calcularon en  $0,08 \pm 0,62 \mu\text{T}$  la media geométrica de los valores de exposición medidos en 27 ambientes de trabajo en hospitales. Para ello se estudiaron cuatro categorías laborales típicas de hospitales: enfermeras, fisioterapeutas, técnicos y médicos. Tampoco en este estudio se observaron diferencias significativas entre las correspondientes medias geométricas, que oscilaban entre  $0,08 \pm 0,04 \mu\text{T}$  en los técnicos y  $0,10 \mu\text{T}$  en las otras tres categorías. Ahora bien, aunque en su conjunto estos datos tienden a ser coherentes entre sí, y se refuerzan mutuamente, son solo parcialmente informativos y muestran niveles medios de exposición heterogéneos, así como una gran dispersión en los valores medidos. Ello sería atribuible al hecho de que los datos corresponden a registros de 24 h/día, lo que no permite estimar con precisión la exposición ocupacional de los trabajadores incluidos en el estudio, al no poder distinguirla de la exposición recibida por los mismos fuera de su ambiente ocupacional.

Otros estudios se han centrado en categorías de trabajo específicas, tales como farmacéuticos [Li et al., 2000] o anestelistas [Lee et al., 2003]; [Roh et al., 2009], estimando los valores de exposición al campo ambiental mediante mediciones a diferentes distancias de dispositivos eléctricos específicos. En comparación con la monitorización personal, los valores ambientales obtenidos así tienden a presentar un sesgo significativo en la estimación de la exposición del trabajador. En general, la falta de coherencia entre los datos obtenidos por ambos métodos se atribuye al hecho de que las estimaciones basadas en mediciones ambientales no tienen en cuenta los intervalos de tiempo que pasa cada trabajador en diferentes puestos a lo largo de su jornada laboral [Li et al., 2000].

El presente estudio se enfoca en la evaluación de la exposición laboral a CM ambientales en el rango de frecuencia de 5 Hz a 2 kHz en un gran hospital de la red pública española. La exposición del personal encargado de manejar equipos tales

como los utilizados en magnetoterapia, diatermia o electrocirugía, que emiten campos complejos con diferentes formas de onda y en diferentes rangos de frecuencia, cae fuera del alcance del presente trabajo. El estudio se basa en un conjunto de mediciones puntuales de CM en áreas definidas de trabajo, complementado con la monitorización personal de la exposición a CM en diferentes categorías de trabajadores en el Hospital Ramón y Cajal (Madrid). La evaluación de los niveles de exposición en tal ambiente es de particular interés por llevarse a cabo en una muestra representativa de las diferentes categorías profesionales que trabajan en los hospitales. Una muestra que integra a un grupo amplio, relativamente estable, de trabajadores expuestos durante su jornada laboral a ambientes y condiciones electromagnéticas diferentes.

## 5.2. METODOLOGÍA

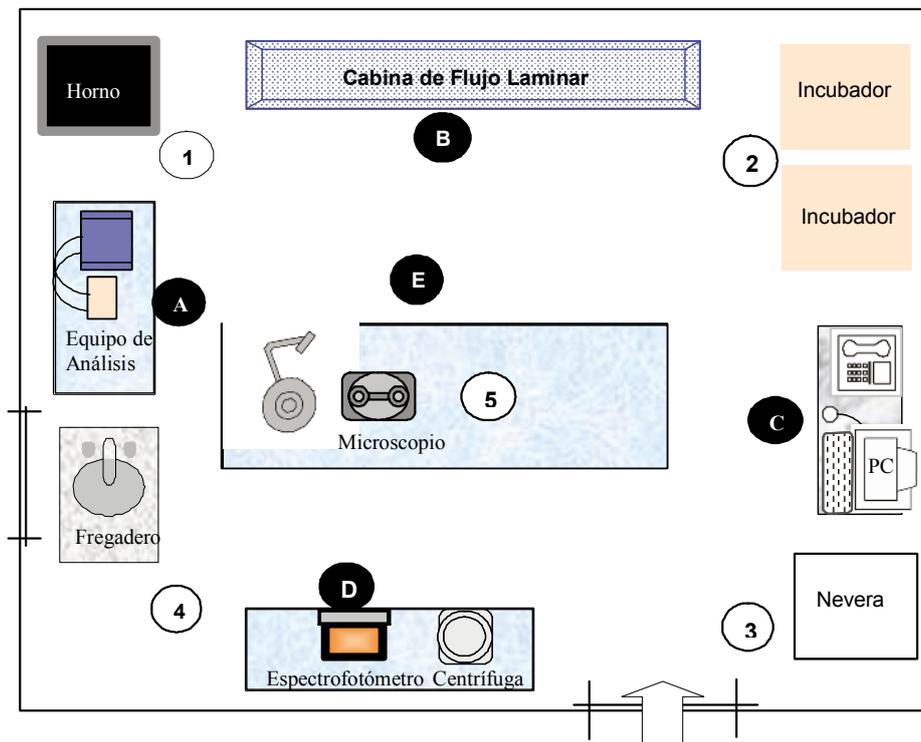
### 5.2.1. Cumplimiento de los requisitos éticos

El estudio y su metodología cumplen los requisitos establecidos por las normativas, tanto la europea como la española, sobre los procedimientos éticos en la investigación biomédica, y fueron aprobados por el Comité Ético del Hospital Ramón y Cajal. La monitorización personal se llevó a cabo con el consentimiento informado de los voluntarios seleccionados y de sus supervisores. Las mediciones puntuales se realizaron con el permiso del personal que trabaja en los entornos controlados, y sin interferir con las tareas clínicas en curso. Por esa razón no se pudieron tomar mediciones puntuales en zonas sensibles, como los quirófanos o la sala de exploración de la unidad Resonancia Magnética Nuclear (RMN). Todos los datos obtenidos fueron tratados de forma confidencial, siendo procesados y almacenados de acuerdo con los procedimientos estándar para la preservación de la intimidad y el anonimato de los voluntarios.

### 5.2.2. Medición del nivel de campo magnético en entornos seleccionados

**Procedimiento.** Se utilizaron los planos del edificio para seleccionar las áreas de hospitalización con los ambientes representativos de los diferentes niveles de exposición ocupacional a CM de frecuencias ELF y ultra-baja (ULF). Se visitaron las ubicaciones seleccionadas y se tomaron mediciones puntuales en el ambiente general y en los puestos de trabajo. Los datos se expresaron en microteslas ( $\mu\text{T}$ ), la unidad de densidad de flujo magnético (DFM) B. Cada valor puntual corresponde a la media de 6 mediciones instantáneas tomadas en un punto dado, a intervalos de 10 segundos, durante 1 minuto. Para estimar los niveles de exposición basal se utilizó un protocolo de cinco puntos, es decir, se tomaron cinco mediciones puntuales en las esquinas y en el centro de la sala investigada (puntos 1 - 5 en la [figura 1](#)). Estos datos se complementaron con las mediciones puntuales en las diferentes estaciones de trabajo: bancos, escritorios, computadoras, grandes equipos utilizados en el diagnóstico, etc. (puntos A - E en la [figura 1](#)). Los valores en los puntos 1 - 5 (círculos blancos), en las esquinas y el centro de la sala se utilizaron para estimar el nivel basal de campo ( $B_b$ ) en la sala. Los niveles B de exposición en los puestos o estaciones de trabajo se registraron en los puntos A - E (círculos negros). Todas las mediciones se hicieron a una altura de 1 m sobre el suelo, con el magnetómetro montado en un trípode de material no conductor.

Figura 1. Representación esquemática de un laboratorio mostrando los puntos donde se registraron los datos de densidad de flujo magnético



Las localizaciones estudiadas y las estaciones de trabajo correspondientes se agruparon en las siguientes categorías: oficinas (personal administrativo y empleados de oficina), unidades de hospitalización (médicos y enfermeros), salas de consulta (médicos y enfermeros), fisioterapia (fisioterapeutas), laboratorios (médicos, investigadores y personal técnico), radiodiagnóstico (radiólogos y personal técnico) y unidades de cuidados intensivos, UCI (médicos y enfermeros).

**Instrumentación.** Se utilizó un magnetómetro portátil (EFA-3, Wandel y Goltermann, Eningen, Alemania) con una sonda externa de campo B (superficie de la sonda = 100 cm<sup>2</sup>). El equipo es programable y válido para mediciones de CM en el rango de frecuencia de 5 Hz a 2 kHz y en el rango B de 0,01  $\mu$ T a 100  $\mu$ T (precisión de  $\pm 5\% \pm 0.001 \mu$ T para intensidades de campo B  $\geq 0,04 \mu$ T). Los valores de densidad de flujo magnético B se calcularon como la raíz cuadrática media (RMS) resultante de los valores vectoriales en los ejes espaciales x, y, z, expresada en microteslas. El medidor y la sonda fueron calibrados y probados periódicamente para garantizar la precisión y corrección de las lecturas, que se encontraban dentro del  $\pm 3\%$  de su calibración nominal a 50 Hz.

**Análisis de frecuencias.** Teniendo en cuenta las características eléctricas de los ambientes estudiados, cabía esperar que la componente de frecuencia dominante correspondería a la frecuencia industrial (FI). Sin embargo, era necesario considerar la posibilidad de que CM en otras frecuencias, emitidos por equipos médicos operando en las proximidades, estuvieran presentes en algunos entornos. Puesto que la precisión de los datos de frecuencia proporcionados por el magnetómetro es limitada, se llevó a cabo un estudio complementario del patrón de frecuencias. Con ese propósito, se analizó el espectro de frecuencias del entorno electromagnético en el centro de las salas investigadas (punto 5 en la figura 1). Para ello se empleó una sonda de medida conectada a un osciloscopio digital a través de un pre-amplificador

Grass P-15 (Grass Instruments, Quincy, MA) con un filtro de paso de banda de 1 Hz a 3 kHz y una ganancia de 100. Los datos se registraron y se almacenaron en un ordenador portátil para su posterior análisis.

### 5.2.3. Selección de los Voluntarios y Monitorización Personal en los Ambientes Estudiados

**Personal.** El hospital Ramón y Cajal cuenta con un total de 4.429 empleados con edades comprendidas entre los 20 y los 65 años. Alrededor del 18% de los trabajadores son médicos y cirujanos, el 53% son personal técnico/sanitario (enfermeros, técnicos de laboratorio) y el 29% son trabajadores no sanitarios (administración, asistencia técnica, investigación y otros servicios). Alrededor del 70% de los trabajadores son mujeres.

**Selección de los voluntarios, entrevista, y consentimiento informado.** Después de un análisis preliminar de los datos de las mediciones puntuales, se procedió a seleccionar grupos de trabajadores de acuerdo con las características de los entornos magnéticos en la sala o salas en que realizaban sus tareas. Dentro de los criterios de selección se consideró la edad, sexo y categoría laboral de los voluntarios, con el fin de obtener una representación equilibrada de la población general de los trabajadores del hospital. Las mediciones se tomaron durante el período de luz diurna, ya que la actividad hospitalaria es máxima durante esa fase y permite comparaciones entre todos los servicios y categorías laborales. Se seleccionó un total de 180 sujetos, que fueron informados sobre los objetivos del estudio e invitados a participar. Los voluntarios fueron incluidos en las siguientes categorías profesionales: 1. Personal No Sanitario, que incluye a trabajadores encargados de mantenimiento (ingenieros, electricistas, mecánicos, carpinteros y fontaneros), administrativos y auxiliares (secretarias y otros empleados de oficina), y 2. Personal Sanitario, incluyendo enfermeros (enfermeras, auxiliares de enfermería y personal auxiliar clínico), personal de cirugía (médicos y enfermeros), personal de laboratorio (médicos, investigadores, técnicos y auxiliares), radiólogos y fisioterapeutas.

Del total de 180 voluntarios reclutados, ocho trabajadores declararon sentirse incómodos cuando portaban los monitores y los devolvieron poco después del comienzo de los registros. Los magnetogramas correspondientes a estos ocho voluntarios fueron descartados. Por lo tanto, el presente estudio incluye datos de 172 registros válidos correspondientes a 172 voluntarios.

**Monitorización personal.** Se utilizaron monitores EMDEXII (Enertech, Campbell, CA) con sensores incorporados. Los valores de CM en la banda de 40 a 800 Hz y en el rango de 0,01 a 300  $\mu\text{T}$  (resolución = 0,01  $\mu\text{T}$ ; precisión típica: 3%) se expresaron en forma de valores RMS de densidad de flujo magnético B. Los datos fueron procesados mediante el software EMCALC 95 (Enertech). Los monitores fueron calibrados al inicio del estudio, y la corrección y precisión de las lecturas (dentro del 3% de su calibrado nominal a 50 Hz) fueron comprobadas periódicamente. Los voluntarios recibieron instrucciones sobre cómo usar el monitor EMDEX y preservarlo contra daños o mal funcionamiento. El monitor se portaba en un cinturón y montado en posición umbilical. Los voluntarios recibieron su monitor a las 8:30 am y lo usaron de forma continuada a lo largo de toda su jornada laboral. Durante ese tiempo el monitor registró los valores B instantáneos de CM, tomando una muestra cada 60 s. Al final de la jornada laboral, con duraciones de 4 a 10 h, se recogieron los monitores.

Los datos almacenados en el dosímetro se descargaron en un ordenador, donde fueron procesados para el cálculo y análisis de CM.

El intervalo de muestreo seleccionado estaba dentro del rango 3 - 600 segundos, utilizado en estudios previos que describen CM en ambientes residenciales o laborales [Methner y Bowman, 2000]; [Szabó et al., 2006; Roh et al., 2009]. Para establecer el intervalo de muestreo a utilizar, se realizó un estudio piloto en cinco voluntarios de diferentes categorías laborales: un oficial administrativo, una enfermera, un médico, un técnico de laboratorio, y un cirujano. Durante 3 días consecutivos, cada voluntario portó un dosímetro para tomar muestras a intervalos de 3, 60, o 180 s. A partir del análisis de los magnetogramas correspondientes se concluyó que el intervalo de 60 s (media de 480 muestras por día y voluntario) proporcionaba registros apropiados, fiables, precisos y no redundantes.

**Estimación de la variabilidad intraindividual.** Para una estimación general del grado de variabilidad entre jornadas distintas en la exposición de los trabajadores, se pidió a un total de 25 voluntarios que usaran un monitor EMDEX durante tres jornadas no consecutivas. Cuatro de los 25 voluntarios renunciaron al estudio antes de completar los 3 días de registro, y sus datos fueron descartados. Para cada uno de los 21 voluntarios restantes, la variación intraindividual fue calculada como la diferencia máxima entre el promedio ponderado en el tiempo de los valores instantáneos correspondientes a las tres monitorizaciones independientes ( $B_{TWA}$ , en  $\mu\text{T RMS}$ ). La variación intraindividual promedio fue  $12,3 \pm 6,3\%$  (media  $\pm$  Desviación Estándar). De estos datos se concluye que, en las categorías laborales estudiadas, la monitorización durante una sola jornada permite una estimación adecuada, con una precisión de aproximadamente 12%, de la exposición real a campos ELF - ULF.

**Integrales en el tiempo.** La integral en el tiempo (en microteslas-hora,  $\mu\text{T.h}$ ) se ha propuesto como una unidad apropiada para la estimación de la exposición “acumulada”, calculada a partir de los datos de monitorización personal [Mee et al., 2009]. Este parámetro describe los datos monitorizados como una función de la integral de la exposición en el tiempo. Se calcula mediante la distribución de las mediciones en categorías discretas de valores de DFM, y la determinación del tiempo durante que cual el voluntario ha permanecido expuesto a los niveles incluidos en cada una de esas categorías.

**Limitaciones para la medición en áreas restringidas.** Los cirujanos y otros profesionales sanitarios se ofrecieron a llevar dosímetros en las salas de operaciones. Sin embargo, con el fin de preservar la asepsia y para prevenir actividades que podrían interferir con los procedimientos quirúrgicos, no se tomaron mediciones puntuales en las estancias durante las intervenciones quirúrgicas.

El Servicio de Radiodiagnóstico del hospital está equipado con un aparato de resonancia magnética de 1,5 T (ACSNT, Philips, Eindhoven, Holanda). Dos voluntarios del Servicio portaron monitores personales mientras trabajaban en el área de procesamiento de imagen de la unidad de RMN. Sin embargo, no se pudieron tomar registros personales dentro de la sala de exploración, dado que la normativa de seguridad prohíbe el uso de los medidores en las proximidades del equipo de resonancia magnética. Con el fin de caracterizar el entorno magnético ELF- ULF en la sala de adquisición y procesamiento de imágenes, se analizó el espectro de campo en la banda de 5 Hz a 100 kHz usando una sonda isotrópica EHP-50C (Narda-STS, Pfullingen, Alemania) colocada en el centro de la habitación. En un intervalo de 1 h

de exploraciones de pacientes, se realizaron tres grabaciones independientes, de 6 minutos cada una, durante los ciclos de encendido y apagado del equipo de RMN. Los datos resultantes se compararon con los de la monitorización personal de los dos voluntarios que trabajan en la sala.

## 5.3. RESULTADOS

### 5.3.1. Valores de Frecuencia y Densidad de Flujo Magnético

Los valores puntuales de B registrados en las mediciones ambientales, corresponden a las señales en la banda de 5 Hz a 2 kHz. El análisis de frecuencias en el centro de las habitaciones mostró que los principales componentes de las señales corresponden a 50 Hz (media  $90,8 \pm 6\%$  del valor total de B) y a su armónico 33,3 Hz (3 -12%). Este patrón de frecuencia fue consistente con la información obtenida tanto de las mediciones puntuales como de la monitorización personal. Sin embargo, estos resultados no excluyen la posibilidad de que otros rangos de frecuencia, no detectados por nuestros dosímetros, pudieran darse en algunos de los ambientes investigados o en las proximidades de dispositivos específicos. En los rangos de frecuencias exploradas, más del 90% de los valores de densidad de flujo registrados fueron  $B \leq 1 \mu\text{T RMS}$ , correspondiendo los valores más altos a picos cortos de  $B \approx 40 \mu\text{T}$ . En estas circunstancias las medias aritméticas, o valores  $B_{TWA}$ , obtenidos de las 172 monitorizaciones personales siguieron un patrón asimilable a una distribución normal, aunque ligeramente sesgada. Por otro lado, la relevancia de los picos cortos de campos de alta densidad es atenuada cuando la exposición se describe a través de la media geométrica. Por consiguiente, con el fin de proporcionar una descripción más completa de la exposición, los resultados se expresaron usando tanto la media aritmética como la geométrica (Tabla 1).

Tabla 1. Exposición a CM ELF bajo dos métricas diferentes

Categorías Profesionales	Media Aritmética $\pm$ SEM	Media Geométrica $\pm$ SEM	Mediana $\pm$ SEM	B max $\pm$ SEM
P. Mantenimiento (N =14)	0,07 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,01	2,25 $\pm$ 1,28
Administrativos (N =23)	0,09 $\pm$ 0,02	0,06 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01	1,13 $\pm$ 0,27
Auxiliares (N = 11)	0,10 $\pm$ 0,04	0,06 $\pm$ 0,03	0,08 $\pm$ 0,04	1,31 $\pm$ 0,35
Enfermeros (N = 12)	0,03 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,43 $\pm$ 0,08
Cirujanos (N = 15)	0,08 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,01	1,48 $\pm$ 0,29
Médicos (N = 19)	0,09 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,03	1,37 $\pm$ 0,44
UCI (N = 13)	0,09 $\pm$ 0,02	0,06 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01	2,82 $\pm$ 0,59
Laboratorio (N = 49)	0,18 $\pm$ 0,04	0,07 $\pm$ 0,02	0,10 $\pm$ 0,04	3,29 $\pm$ 0,84
Radiólogos (N = 9)	0,29 $\pm$ 0,07	0,11 $\pm$ 0,02	0,11 $\pm$ 0,02	10,10 $\pm$ 3,19
Fisioterapeutas (N = 7)	0,39 $\pm$ 0,13	0,35 $\pm$ 0,11	0,41 $\pm$ 0,13	7,67 $\pm$ 3,99

Todos los valores se expresan en  $\mu\text{T RMS}$ .

### 5.3.2. Estimación de los Niveles de Exposición

#### Estimación de la exposición a partir de mediciones puntuales en el lugar de trabajo.

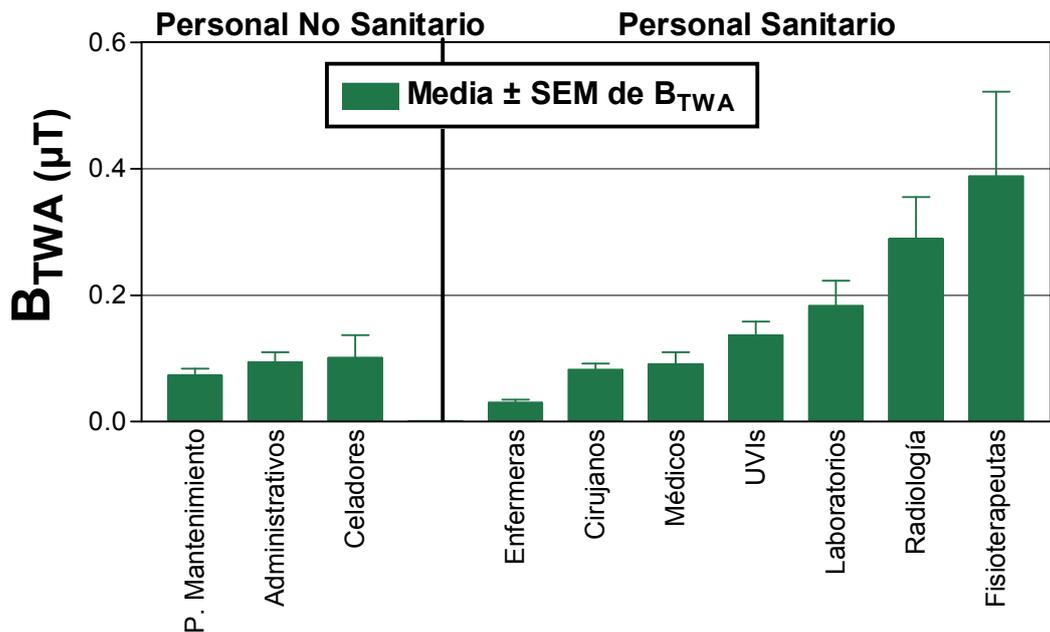
El análisis de las mediciones puntuales en diferentes salas confirmó que los valores de B en los puestos o estaciones de trabajo (puntos A - E en la [figura 1](#)) eran, en general, sustancialmente mayores que los correspondientes al nivel basal en sala (puntos 1 - 5 en la [figura 1](#)). Por otra parte, cuando las medias de los valores B registrados en los puestos de trabajo ( $B_s$ ) de las salas se representaron frente a las correspondientes medias de los niveles basales de CM en sala ( $B_b$ ), no se observaron correlaciones significativas entre estos dos grupos de valores puntuales. Por lo tanto, para poder utilizar los datos de las mediciones puntuales como estimadores de los niveles de exposición en los espacios estudiados, se encuestó a los voluntarios sobre el número de horas que pasaban diariamente en sus estaciones de trabajo. A partir de sus respuestas se estimó que, en promedio, los trabajadores permanecían en sus estaciones de trabajo alrededor de la mitad de la jornada laboral. Sobre esta base, se calculó el conjunto de la exposición ocupacional en un ambiente determinado,  $B_{room}$ , como el promedio de las correspondientes medias de  $B_s + B_b$ . Dado que el valor  $B_{room}$  toma en consideración indirectamente la variable tiempo, conduce a una menor dispersión en los datos de las mediciones puntuales dentro de una sala y proporciona una estimación más coherente de la exposición de los trabajadores en los ambientes estudiados. Como muestra la [tabla 2](#), los valores  $B_{room}$  medios oscilaron entre aproximadamente 0,1  $\mu$ T (oficinas, quirófanos y áreas de hospitalización) y más de 1  $\mu$ T (laboratorios, unidades de radiología y UCI). Esto indica que la metodología elegida describe los ambientes estudiados de una forma que da prioridad a la identificación de áreas donde se desarrollan actividades que conllevan un uso continuado de equipos eléctricos.

**Tabla 2. Medias (en  $\mu$ T RMS) de las medidas puntuales registradas en los diferentes ambientes de trabajo del Hospital**

Ambiente	$B_b$ (media $\pm$ SEM)	$B_s$ (media $\pm$ SEM)	$B_{room}$ (media $\pm$ SEM) <sup>a</sup>
Oficinas	0,04 $\pm$ 0,00	0,15 $\pm$ 0,02	0,09 $\pm$ 0,02
Áreas de Hospitalización	0,02 $\pm$ 0,00	0,28 $\pm$ 0,05	0,15 $\pm$ 0,05
Consultas	0,03 $\pm$ 0,00	0,57 $\pm$ 0,11	0,30 $\pm$ 0,08
Fisioterapia	0,03 $\pm$ 0,00	1,71 $\pm$ 0,31	0,87 $\pm$ 0,30
Laboratorios	0,39 $\pm$ 0,04	2,01 $\pm$ 0,55	1,20 $\pm$ 0,30
Radiodiagnóstico	0,22 $\pm$ 0,06	2,98 $\pm$ 1,01	1,60 $\pm$ 0,69
Cuidados Intensivos (UCI)	1,94 $\pm$ 0,03	2,22 $\pm$ 0,03	2,08 $\pm$ 0,05

<sup>a</sup> $B_{room}$ : Nivel de exposición a CM calculado como la media de  $B_b$  y  $B_s$ , siendo  $B_b$  la media del campo basal en la sala (Puntos 1 - 5 de la Fig. 1) y  $B_s$  la media de los valores B registrados en los puestos de trabajo de las salas correspondientes.

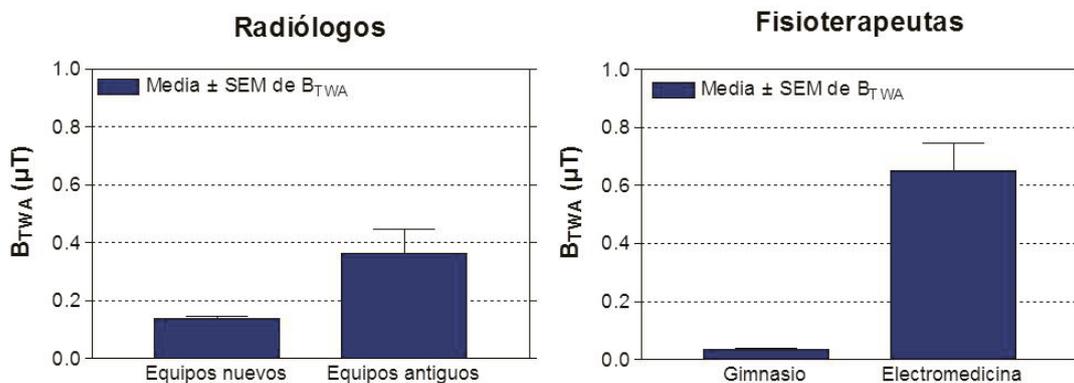
Figura 2. Medias ponderadas en el tiempo de los valores instantáneos de B ( $B_{TWA}$ ) resultantes de la monitorización personal



### Estimación de la exposición mediante monitorización personal.

La figura 2 describe la media ponderada en el tiempo,  $B_{TWA} \pm$  SEM (error estándar), de los valores obtenidos de los registros de los 172 voluntarios, agrupados por categorías laborales. Las medias ponderadas en el tiempo de los valores instantáneos de B ( $B_{TWA}$ ) resultantes de la monitorización personal se agruparon de acuerdo a la categoría profesional de los voluntarios. Los datos expresados corresponden a la media aritmética  $\pm$  SEM de  $B_{TWA}$  correspondiente a cada una de las categorías profesionales. Los valores medios de exposición variaron entre los 0,03  $\mu T$  en enfermeras y auxiliares de enfermería, y los 0,39  $\mu T$  en fisioterapeutas. Estas diferencias son probablemente atribuibles a la cantidad y tipo de equipo eléctrico utilizado por las diferentes categorías profesionales. De hecho, los trabajadores de las categorías que muestran promedios altos de exposición, radiólogos y fisioterapeutas, se podrían agrupar en dos subcategorías de acuerdo con el tipo de equipos eléctricos que manejan (figura 3). Los datos de exposición a CM se representan como las medias aritméticas  $\pm$  SEM de  $B_{TWA}$  de los trabajadores.

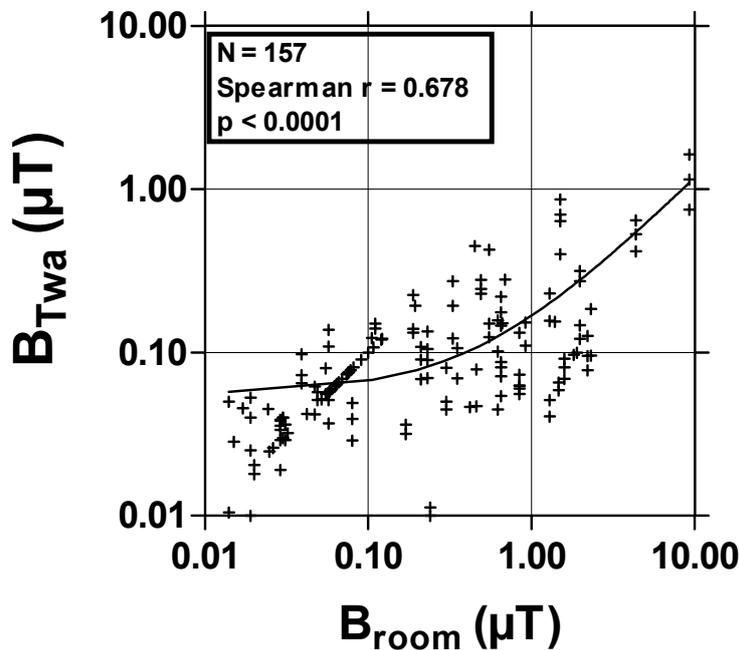
Figura 3. Monitorización personal de radiólogos y fisioterapeutas



**Comparación entre los datos de las mediciones puntuales y los de las monitorizaciones personales.** Con el fin de comparar el ambiente magnético de sala ( $B_{\text{room}}$ , tabla 2) con la monitorización personal de los trabajadores correspondientes ( $B_{\text{TWA}}$ , figura 2) asignamos el valor  $B_{\text{room}}$  de una sala determinada a cada uno de los voluntarios que trabajaban en esa sala, independientemente de su categoría laboral. Cuando estos datos de  $B_{\text{room}}$  se representan frente a los valores  $B_{\text{TWA}}$  obtenidos a partir de las monitorizaciones (figura 4) se encontró que ambos parámetros estaban correlacionados de forma no lineal (correlación de Spearman  $r = 0,678$ ,  $p < 0,0001$ ). Los resultados revelaron que en ambientes de campo bajo ( $B \leq 0,1 \mu\text{T}$ ), el valor  $B_{\text{room}}$  puede predecir eficazmente los resultados de la monitorización personal de los diferentes trabajadores en la sala, concentrándose la mayoría de los datos en la línea 1:1. Sin embargo, a medida que aumentan por encima de  $0,1 \mu\text{T}$ , los valores  $B_{\text{room}}$  tienden a superar significativamente a los valores  $B_{\text{TWA}}$  correspondientes.

**Estimación de la exposición en áreas restringidas.** Como se ha dicho más arriba, durante las intervenciones quirúrgicas no se permitió el registro de mediciones puntuales en los quirófanos. Por lo tanto, a falta de resultados de las mediciones puntuales, los datos de monitorización personal correspondientes a los cirujanos, que se muestran en la tabla 1 y en la figura 2, no pudieron ser incluidos en el análisis comparativo de los resultados (figura 4). Para poder comparar los datos, en cada sala se asignó el valor de Broom a cada uno de los voluntarios que trabajaban en la sala, independientemente de la categoría laboral del trabajador.

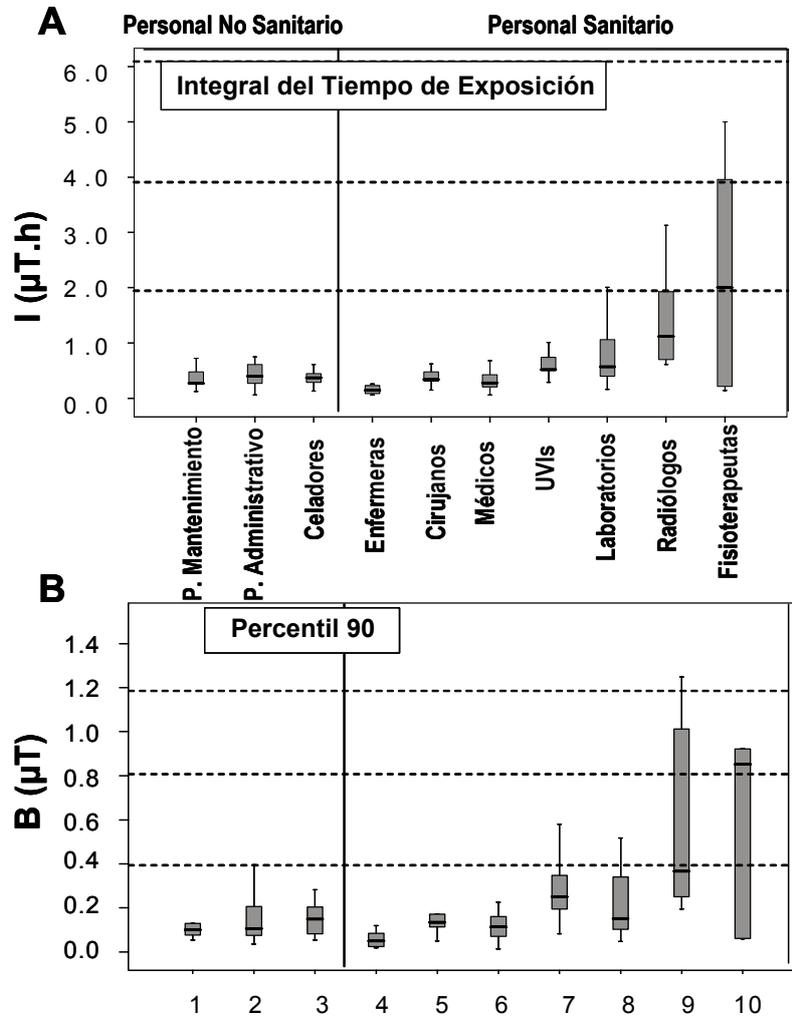
Figura 4. Los valores de  $B_{\text{room}}$  se representan frente los  $B_{\text{TWA}}$  de las monitorizaciones personales correspondientes a 157 voluntarios



En la unidad de RMN del Servicio de Radiodiagnóstico, solo se realizaron mediciones de CM en la sala de adquisición y análisis de imagen, equipada con filtros de radiofrecuencia y separada de la sala de exploración. El valor  $B_{\text{room}}$  era  $0,15 \pm 0,22$  (SEM)  $\mu\text{T}$ . Esto es consistente con el análisis de dos monitorizaciones personales registradas en la sala de adquisición de imagen, que mostró valores  $B_{\text{TWA}}$  medios de  $0,13 \pm 0,06$  (SD) y  $0,15 \pm 0,08 \mu\text{T}$ . El análisis espectral del campo ambiental en la banda 5 Hz - 100 kHz detectó picos de señales a 50 Hz, 23,5 kHz y 56,2 kHz, sin

componentes destacables en otras frecuencias. Excepto para el pico de 50 Hz, las frecuencias dominantes en el espectro estudiado estaban fuera de los anchos de banda del monitor EPT-3 y del dosímetro EMDEX II, lo que revela que el componente predominante de los campos ELF-ULF medido en la sala de adquisición de la imagen correspondía a la frecuencia industrial.

Figura 5. Diagramas de caja que muestran la distribución de la exposición a CM: (A) Exposición acumulativa diaria (media aritmética en  $\mu\text{T}\cdot\text{h}$ ), (B) media del percentil 90 (en  $\mu\text{T}$ ) correspondiente a las respectivas categorías laborales



### Estimación de la exposición en función del tiempo.

Pueden existir diferencias de exposición entre categorías laborales, debido a las correspondientes diferencias en la duración de la jornada. Por eso se ha procedido a un análisis complementario de los datos que permite estimar la exposición acumulada en función del tiempo, comparando las medias de las integrales del tiempo de exposición ( $I$ , en  $\mu\text{T}\cdot\text{h}$ ) con las medias del percentil 90 (en  $\mu\text{T}$ ) de los valores de  $B$  en las monitorizaciones personales (figuras 5A y 5B, respectivamente). Los límites superior e inferior de la distribución representan el valor máximo y mínimo, respectivamente, mientras que las barras muestran los valores de los percentiles 25, 50 y 75. Un análisis comparativo de los diagramas de caja en las dos figuras proporciona una imagen coherente de las características de la exposición, especialmente en entornos con niveles de campo relativamente altos. Por ejemplo, la dispersión de los datos del percentil 90 en el grupo de radiólogos (figura 5B), que se compone de dos subgrupos que manejan equipos diferentes (figura 3), se reduce significativamente

en la caja correspondiente de la **figura 5A**, donde se toma en consideración el tiempo de exposición.

## 5.4. DISCUSIÓN

En el presente estudio se tomaron valores de CM en un rango de frecuencia de 5 Hz a 2 kHz. Sin embargo, los análisis del patrón de frecuencias mostraron que el componente predominante de las señales corresponde a 50 Hz y sus frecuencias armónicas (aproximadamente el 95% de los valores B medidos). Por lo tanto, aunque en determinados entornos estudiados pudieran existir señales de otras frecuencias, no detectadas con los métodos aplicados, las conclusiones de este trabajo se refieren principalmente a la exposición a campos de frecuencia industrial (50 Hz). Esta consideración es relevante a la hora de comparar datos de estudios realizados en diferentes áreas geográficas. En Europa, la tensión de alimentación de las líneas de 50 Hz es de 220 V. En estas condiciones, las densidades de flujo de los CM emitidos por los aparatos alimentados eléctricamente son significativamente menores que las generadas por los mismos dispositivos cuando funcionan con tensiones más bajas, como las de varios países en Asia y en las Américas.

El análisis de un total de 172 monitorizaciones personales de una jornada, expresadas en forma de medias ponderadas en el tiempo ( $B_{TWA}$ , en  $\mu\text{T RMS}$ ) ha proporcionado datos precisos y coherentes que permiten una estimación adecuada de las condiciones de exposición reales de los trabajadores. La monitorización reveló que la media aritmética estadística de niveles de exposición alcanzó valores de entre  $0,03 \pm 0,01 \mu\text{T}$  en enfermeros y  $0,39 \pm 0,13 \mu\text{T}$  en fisioterapeutas (**tabla 1** y **figura 2**). Estos valores son comparables a los de las medias geométricas, que van desde  $0,02 \pm 0,00 \mu\text{T}$  en los enfermeros a  $0,35 \pm 0,11 \mu\text{T}$  en los fisioterapeutas (**tabla 1**). Sin embargo, es obvio que dependiendo de las funciones específicas de cada uno de los trabajadores en las diferentes categorías, existen variaciones potencialmente importantes de exposición entre los individuos. Por ejemplo, las categorías laborales que conllevan el uso de grandes equipos eléctricos (radiólogos y fisioterapeutas) están expuestas a valores de campo relativamente elevados. Por el contrario, los trabajadores en entornos con pocos o ningún aparato eléctrico (enfermeros y médicos) presentaron valores bajos de exposición. Los voluntarios que operan equipos eléctricos pequeños y medianos, que se encuentran normalmente en la UCI o en laboratorios, mostraron valores de exposición intermedios ( $0,14 \mu\text{T}$  y  $0,18 \mu\text{T}$ , respectivamente). Por su parte, el personal no sanitario (personal de mantenimiento, auxiliares o trabajadores de oficina) se vio expuesto a niveles de CM medio / bajo, en torno a  $0,1 \mu\text{T}$ , similares a los registrados para cirujanos y médicos.

Además, aquellas categorías profesionales que presentaron promedios altos de exposición mostraron una variabilidad interindividual significativa, expresada por el error estándar correspondiente. Un análisis adicional de estas categorías permitió la identificación del tipo de equipo eléctrico operado por los trabajadores como una fuente de tal variabilidad. En efecto, a pesar de que todos los radiólogos realizaban tareas similares, los que trabajaban con equipos nuevos, que usan tecnologías digitales con circuitos integrados innovadores, mostraron valores de exposición sustancialmente más bajos que los registrados en sus compañeros de trabajo que manejan modelos más antiguos (**Figura 3**). Este tipo de variabilidad interindividual ha sido descrito también por Szabó et al. [2006] en otros grupos ocupacionales. Asimismo, los

fisioterapeutas podrían agruparse en dos subcategorías de acuerdo con su entorno de trabajo. Los que trabajan en el área clínica de electromedicina operan equipos eléctricos relativamente grandes, utilizados para el tratamiento de diversas enfermedades. Este subgrupo mostró patrones heterogéneos de exposición interindividual, y niveles promedio de exposición sustancialmente más altos que los de sus colegas que trabajan en el gimnasio, donde el uso de dispositivos eléctricos es ocasional (figura 3). Esto explicaría la gran dispersión de los datos y la variabilidad observada entre diferentes métricas cuando se combinan los resultados de ambos subgrupos de fisioterapeutas (tabla 1 y figura 2).

Las medidas puntuales se utilizaron para describir el entorno electromagnético de diferentes salas y áreas de trabajo. Como estrategias para la estimación de la exposición ocupacional, las mediciones puntuales y la monitorización personal utilizan diferentes enfoques y, en consecuencia, los resultados correspondientes no se pueden comparar directamente. En general, las mediciones de área resumidas en la tabla 2 proporcionan valores  $B_{\text{room}}$  medios sustancialmente más altos que los obtenidos a partir de las monitorizaciones personales de los voluntarios que trabajan en las mismas áreas (medias de  $B_{\text{TWA}}$ , figura 2). Tal es el caso de la exposición en laboratorios, unidades de radiología, UCI o quirófanos. Por el contrario, cuando se comparan individualmente, los valores ambientales de CM en cada habitación ( $B_{\text{room}}$ ) eran consistentes con los de la monitorización personal de los voluntarios ( $B_{\text{TWA}}$ ) que trabajaban en la habitación correspondiente (correlación de Spearman  $r = 0,678$ ,  $p < 0,0001$ ; figura 4). Sin embargo, la curva de correlación entre los dos grupos de datos indica que las mediciones puntuales no son estimadores óptimos de los niveles reales de exposición en algunas categorías laborales. Más específicamente, el valor  $B_{\text{room}}$  parece ser un buen indicador de los datos de monitorización en aquellas categorías laborales con un promedio de exposición relativamente bajo ( $\leq 0,1 \mu\text{T}$ ), mientras que a niveles más altos, los datos ambientales obtenidos a partir de mediciones puntuales tienden a sobreestimar la exposición cuando se comparan con los de la monitorización personal correspondiente. Estas diferencias entre los valores puntuales y las monitorizaciones podrían ser atribuidas en parte a las diferencias entre los anchos de banda de frecuencia de los dos medidores utilizados en el estudio. Sin embargo, ambos dispositivos detectan por igual CM en las frecuencias predominantes: 50 Hz y su armónica 33.3 Hz. Una explicación más plausible para tales divergencias se basa en el hecho de que algunas de las actividades ocupacionales investigadas requieren que el trabajador se desplace durante la jornada a diferentes salas o incluso a diferentes secciones del hospital. Otra fuente de divergencia sería el uso de estrategias de evitación de la exposición, aplicadas asiduamente por determinados grupos profesionales, como electroterapeutas, quienes, cuando les es posible, tienden a separarse de los dispositivos durante la aplicación de algunos tratamientos.

Aunque en entornos específicos se encontraron picos cortos de densidades de CM de hasta  $40 \mu\text{T}$ , más de 90% de los valores B registrados, tanto en las mediciones puntuales como en las monitorizaciones, estaban por debajo de  $1,0 \mu\text{T}$ . Todos estos valores están muy por debajo del estándar de  $1000 \mu\text{T}$  para exposiciones de cuerpo completo y  $6000 \mu\text{T}$  para exposiciones de los miembros, establecido en julio de 2013 por Consejo Europeo [European Council, 2013] para la protección contra los efectos nocivos agudos de la exposición ocupacional a CM de 50 Hz, la frecuencia predominante en este estudio. Sin embargo, no cabe descartar la posibilidad de que en los ambientes estudiados se dé la presencia de campos transitorios, de alta frecuencia o de señal

compleja, no detectables por los monitores de campo ELF-ULF y, por lo tanto, no contemplados en el presente estudio.

Por otro lado, la exposición crónica a CM débiles ELF ha sido clasificada por la Organización Mundial de la Salud como un “posible agente carcinógeno” de clase 2B, sobre la base de la evidencia epidemiológica que relaciona la exposición residencial a campos ELF con un incremento significativo en la incidencia de leucemia infantil [IARC, 2002]. También, algunos estudios epidemiológicos han mostrado que la exposición ocupacional a campos ELF puede ser un factor de riesgo en la etiología del cáncer (ver Kheifets et al. [2009] para una revisión reciente). Aunque la métrica relevante para los potenciales bioefectos de la exposición es aún objeto de debate, es concebible que la duración diaria de la exposición tenga una incidencia en los posibles efectos crónicos de estos campos. El uso de estimadores estadísticos básicos, como la media y el error estándar, no tiene en cuenta las diferencias de exposición debidas a la duración total del período de trabajo, que en nuestra muestra varió de 4 h (trabajos a tiempo parcial) y 10 h (algunos investigadores y médicos). Los datos ilustrados en la [figura 5](#) permiten hacer una estimación de la exposición en función del tiempo, mediante la comparación entre las medias de las integrales del tiempo de exposición ( $I$ , en  $\mu\text{T}\cdot\text{h}$ ) con las medias del percentil 90 (en  $\mu\text{T}$ ) y los valores B en las monitorizaciones personales. El análisis de los datos indica que el hecho de tomar en consideración el tiempo total de exposición proporciona una descripción más coherente de las características de la exposición, al menos en aquellos entornos donde se registran niveles de campo relativamente altos, o donde los campos están distribuidos de forma heterogénea en el espacio o el tiempo. Por lo tanto, la inclusión en los estudios de la información sobre la duración de la exposición diaria de los trabajadores, puede ser de interés en la investigación epidemiológica de potenciales efectos a largo plazo.

## 5.5. CONCLUSIONES

Este trabajo describe un procedimiento de medición que se revela útil para la estimación de la exposición a campos ELF - ULF en ambientes ocupacionales que son particularmente difíciles de caracterizar. La dificultad viene determinada en parte por el hecho de que el tipo específico de las tareas asignadas a los trabajadores impone cambios en la actividad de estos durante la jornada laboral. El análisis del patrón de frecuencias de CM reveló que la frecuencia dominante en los espacios hospitalarios investigados es la frecuencia industrial, de 50 Hz. Todos los valores de B registrados estaban muy por debajo del nivel de 1000  $\mu\text{T}$  propuesto por estándar europeo para la protección de los trabajadores contra los efectos agudos de la exposición de cuerpo completo a campos de 50 Hz. Sin embargo, la metodología propuesta aquí puede ser de precisión limitada en cuanto a la determinación del patrón de frecuencias de algunos campos, y no es adecuada para la detección de transitorios, o de señales complejas o de alta frecuencia, potencialmente existentes en los ambientes investigados. El estudio de esas señales no detectadas y su conformidad con los estándares internacionales de protección caen fuera de los objetivos de este trabajo. Por otra parte, algunos datos epidemiológicos podrían indicar que la exposición crónica a los campos ELF relativamente débiles puede representar un factor de riesgo en el desarrollo de diversas enfermedades. Nuestra metodología para la monitorización de la exposición a CM, que incluye el uso de la integral del tiempo y la estimación

del tiempo de permanencia en los puestos o estaciones de trabajo, podría ser relevante para el estudio de los posibles efectos de la exposición ocupacional crónica.

## 5.6. AGRADECIMIENTOS

En el análisis del espectro de frecuencias de CM en la sala de control de la unidad de resonancia magnética se emplearon sondas magnetométricas prestadas por Inycom (Madrid)

## 5.7. REFERENCIAS

- [Ahlbom2001] Ahlbom A. 2001. Neurodegenerative diseases, suicide and depressive symptoms in relation to EMF. *Bioelectromagnetics* 22 (Suppl 5): S132-S143.
- [Ahlbom et al,2001] A, Cardis E, Green A, Linet M, Savitz D, Swerdlow A. 2001. Review of the epidemiologic literature on EMF and Health. *Environ Health Perspect* 109: 911-933.
- [Ahlbom et al,2004] Ahlbom A, Feychting M, Gustavsson A, Hallqvist J, Johansen C, Kheifets L, Olsen JH. 2004. Occupational magnetic field exposure and myocardial infarction incidence. *Epidemiology* 15: 403-408.
- [Bradley et al., 2007] Bradley KJ, Nyekiowa M, Price DL, Lopez LD, Crawley T. 2007. Occupational exposure to static and time-varying gradient magnetic fields in MR units. *J Magn Reson Imaging* 26(5): 1204-1209.
- [Bullough et al., 1996] Bullough J, Rea MS, Stevens RG. 1996. Light and magnetic fields in a neonatal intensive care unit. *Bioelectromagnetics* 17: 396-405.
- [California EMF2002] California Electro-Magnetic Field (EMF) Program. 2002. Other adverse non-cancer health outcomes. In: Neutra RR, Del Pizzo V, Lee GM, editors. *An evaluation of the risks from electric and magnetic fields (EMFs) from power lines, internal wiring, electrical occupations and appliances*. Chapter number: 19. Oakland, CA, USA: California Health Department. 372-373. <http://www.ehib.org/emf/RiskEvaluation/riskeval.html> (Last accessed 25 October 2010).
- [Chen et al.,2013] Chen Q, Lang L, Wu W, Xu G, Zhang X, Li T, Huang H. 2013. A meta-analysis on the relationship between exposure to ELF-EMFs and the risk of female breast cancer. *PLoS One* 8(7): e69272.
- [De Jager and Grobler, 2009] De Jager L, Grobler T. 2009. Exposure to electromagnetic fields in the magnetic resonance imaging environment in South Africa. *The Environmentalist* 29(2): 153-156.
- [Deadman and Rivard., 2002] Deadman JE, Infant-Rivard C. 2002. Individual estimation of exposure to extremely low frequency magnetic fields in jobs commonly held by women. *Am J Epidemiol* 155: 368-378.
- [European Council, 2004] European Council. 2004. Directive 2004/40/CE of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the minimal health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). *Official Journal of the European Union* L159/1 of 30 April 2004.
- [European Council, 2013] European Council. 2013. Directive 2013/35/eu of the european parliament and of the council of 26 June 2013 on the minimal health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). *Official Journal of the European Union* L179/3 of 29 June 2013.
- [Feychting 2006] Feychting M, Forssén U. 2006. Electromagnetic fields and female breast cancer. *Cancer Causes Control* 17: 553-558.
- [Feychting et al.,2003]; Feychting M, Jonsson F, Pedersen NL, Ahlbom A. 2003. Occupational magnetic field exposure and neurodegenerative disease. *Epidemiology* 14: 413-419.
- [Forssén et al., 2004] Forssén UM, Mezei G, Nise G, Feychting M. 2004. Occupational magnetic field exposure among women in Stockholm County, Sweden. *Occup Environ Med* 61: 594-602.
- [IARC, 2002] IARC (International Agency for Research of Cancer). 2002. IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol. 80. Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon, France: IARC Press. pp. 19-26. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol80/index.php> (Last accessed 18 November 2010).

- [ICNRP 1998] International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP). 1998. Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields. *Health Phys* 74: 494-522.
- [Johansen2004] Johansen C. Electromagnetic fields and health effects— Epidemiologic studies of cancer, diseases of the central nervous system and arrhythmia-related heart disease. *Scand J Work Environ Health* 30: 1-30.
- [Kännälä et al., 2009] Kännälä S, Toivo T, Alanko T, Jokela K. 2009. Occupational exposure measurements of static and pulsed gradient magnetic fields in the vicinity of MRI scanners. *Phys Med Biol* 54: 2243-2257.
- [Kheifets et al.,2008] Kheifets L, Monroe J, Vergara X, Mezei G, Afifi AA. 2008. Occupational electromagnetic fields and leukemia and brain cancer: An update to two meta-analyses. *J Occup Environ Med* 50: 677-688.
- [Kheifets et al., 2009] Kheifets L, Bowman JD, Checkoway H, Feychting M, Harrington JM, Kavet R, Marsh G, Mezei G, Renew DC, van Wijngaarden E. 2009. Future needs of occupational epidemiology of extremely low frequency electric and magnetic fields: Review and recommendations. *Occup Environ Med* 66: 72-80.
- [Lee et al., 2003] Lee JH, Lee HC, Kim HD, Kim JY, Kim DW, Nam YT, Kim KJ. 2003. How much are anesthesiologists exposed to electromagnetic fields in operating rooms? *Yonsei Med J* 44: 133-137.
- [Li et al., 2000] Li CY, Lin RS, Wu CH, Sung FC. 2000. Occupational exposures of pharmacists and pharmaceutical assistant to 60Hz magnetic fields. *Ind Health* 38: 413-419.
- [McCurdy et al., 2001] McCurdy AL, Wijnberg L, Loomis D, Savitz D, Nylander-French LA. 2001. Exposure to extremely low frequency magnetic fields among working women and homemakers. *Ann Occup Hyg* 45: 643-650.
- [Mee et al., 2009] Mee T, Whatmough P, Broad L, Dunn C, Maslanyj M, Allen S, Muir K, McKinney PA, Van Tongeren M. 2009. Occupational exposure of UK adults to ELF magnetic fields. *Occup Environ Med* 66: 619-627.
- [Methner y Bowman, 2000] Methner MM, Bowman JD. 2000. Hazard surveillance for industrial magnetic fields: I. Walkthrough survey of ambient fields and sources. *Ann Occup Hyg* 44: 603-614.
- [Mezei et al.,2005] Mezei G, Cher D, Kelsh M, Edinboro C, Chapman P, Kavet R. 2005. Occupational magnetic field exposure, cardiovascular disease mortality, and potential confounding by smoking. *Ann Epidemiol* 15: 622-629.
- [Moriyama et al., 2005] Moriyama K, Sato H, Tanaka K, Nakashima Y, Yoshitomi K. 2005. Extremely low frequency magnetic fields originating from equipment used for assisted reproduction, umbilical cord and peripheral blood stem cell transplantation, transfusion and hemodialysis. *Bioelectromagnetics* 26: 69-73.
- [O'Carroll and Henshaw, 2008] O'Carroll MJ, Henshaw DL. 2008. Aggregating disparate epidemiological evidence: Comparing two seminal EMF reviews. *Risk Anal* 28: 225-34.
- [Park et al.,2005] Park RM, Schulte PA, Bowman JD, Walker JT, Bondy SC, Yost MG, Touchstone JA, Dosemeci M. 2005. Potential occupational risk for neurodegenerative diseases. *Am J Ind Med* 48: 63-77.
- [Paul et al., 1994] Paul M, Hammond SK, Abdollahzadeh S. 1994. Power frequency magnetic field exposures among nurses in a neonatal intensive care unit and a normal newborn nursery. *Bioelectromagnetics* 15: 519-529.
- [Perry et al.,1989] Perry S, Pearl L, Binns R. 1989. Power frequency magnetic field; depressive illness and myocardial infarction. *Public Health* 103: 177-180.
- [Qiu et al.,2004] Qiu C, Fratiglioni L, Karp A, Winblad B, Bellander T. 2004. Occupational exposure to electromagnetic fields and risk of Alzheimer's disease. *Epidemiology* 15: 687-694.
- [Riminesi et al., 2004] Riminesi C, Andreuccetti D, Fossi R, Pezzati M. 2004. ELF magnetic field exposure in a neonatal intensive care unit. *Bioelectromagnetics* 25: 481-491.
- [Roh et al., 2009] Roh JH, Kim DW, Lee SJ, Kim JY, Na SW, Choi SH, Kim KJ. 2009. Intensity of extremely low-frequency electromagnetic fields produced in operating rooms during surgery at the standing position of anesthesiologists. *Anesthesiology* 111: 275-278.
- [Roosli et al.,2007] Roosli M, Lörtscher M, Egger M, Pfluger D, Schreier N, Lörtscher E, Locher P, Spoerri A, Minder C. 2007. Leukaemia, brain tumours and exposure to extremely low frequency magnetic fields: Cohort study of Swiss railway employees. *Occup Environ Med* 64: 553-559.
- [Schuz, 2007] Schüz J. 2007. Implications from epidemiologic studies on magnetic fields and the risk of childhood leukemia on protection guidelines. *Health Phys* 92: 642-648.

[Sermage-Faure et al.,2013] Sermage-Faure C, Demoury C, Rudant J, Goujon-Bellec S, Guyot-Goubin A, Deschamps F, Hemon D, Clavel J. 2013. Childhood leukaemia close to high-voltage power lines--the Geocap study, 2002-2007. *Br J Cancer*; 108 (9): 1899-1906.

[Szabó et al., 2006] Szabó J, Mezei K, Thuroczy G, Mezei G. 2006. Occupational 50Hz magnetic field exposure measurements among female sewing machine operators in Hungary. *Bioelectromagnetics* 27: 451-457.

[Úbeda et al.,] Alejandro Úbeda, María Antonia Martínez, María Antonia Cid, Lucía Chacón, María Ángeles Trillo, Jocelyne Leal. 2011. Assessment of occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields in hospital personnel. *Bioelectromagnetics* 32: 378-387.

## REFERENCIAS BIOGRÁFICAS DE LOS AUTORES



**Victoria Ramos.** Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid y Doctor por la Universidad de Alcalá de Henares, en el área de conocimiento de Ingeniería Biomédica y Telemedicina. Científica Titular de Organismo Público de Investigación, en la Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud del Instituto de Salud Carlos III. Hasta 1996 ha trabajado como Ingeniero de RF de I + D en la industria privada. Sus áreas de investigación se centran en las condiciones de seguridad y compatibilidad electromagnéticas de los sistemas de telemedicina domiciliaria y en relación con las tecnologías inalámbricas emergentes. El objetivo es proporcionar atención sanitaria segura a pacientes móviles por medio de servicios de basados en Telemedicina. Ha participado y continúa participando en proyectos de investigación españoles y europeos y es autora de numerosas publicaciones científicas.



**Pilar García-Santesmases.** Inspector de servicios sanitarios. Jefa de Servicio de innovación en Telemedicina y e-salud, 1999. Puestos anteriores: Subdirector General Ministerio de Industria; Focal point España Red Europea de Organismos de Investigación Medioambiental, ENERO; Consejero Director General de Industrias Químicas; Jefe de Servicio Rel. Int. Ministerio de Sanidad; Diploma (PMD), Program for Management Development, Harvard Business School. Diploma en Comunidades Europeas. Áreas de actividad Innovación en Plataformas de e-salud multidisciplinares y modelos conceptuales TICs crónicos y ancianos. Miembro del Comité de expertos políticas de Innovación y Tecnología (TIP), OCDE. (KISA-Salud); Comité de expertos Internet y salud, Consejo de Europa; Asamblea mundial de la Salud, OMS; Representante de España en el Consejo de Europa, Unión europea, ONUDI, etc. Miembro del Consejo de Administración de CDTI 1989-1992 y Consejo del Administración de ENISA (Empresa Nacional de Innovación) 1989-91.



**Silvia de Miguel-Bilbao** recibió su título de Ingeniera de Telecomunicación en el año 2001 en la Universidad de Valladolid, y su Diploma de Estudios Avanzados en 2004 en la misma universidad. Ha trabajado durante 9 años en la empresa privada. Al mismo tiempo fue profesora asociada en el departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática de la Universidad de Valladolid. Desde 2010 trabaja en la Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud del Instituto de Salud Carlos III. Sus intereses son la investigación en la evaluación de la exposición a las radiaciones no ionizantes, dosimetría y compatibilidad electromagnética (EMC) de dispositivos electromédicos utilizados en telemedicina. Es autora y co-autora de varios trabajos presentados en congresos internacionales y publicados en revistas con factor de impacto.



**Jorge García.** Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid, trabaja desde 1999 Instituto de Salud Carlos III actualmente destinado en la Unidad de Investigación de Telemedicina y e-Salud de dicho centro. Ha colaborado en más de veinte proyectos de investigación, nacionales e internacionales orientados al tratamiento de crónicos y mayores. Centra su actividad en las tecnologías aplicadas a la salud, usabilidad de dispositivos y sistemas, AAL, dispositivos electrónicos, redes de sensores y nuevos interfaces de usuario. Es autor y co-autor de varios trabajos presentados en libros revistas y congresos recibiendo el premio a la mejor comunicación INFORSALUD09. Ha participado como profesor en cursos de formación destinados a profesionales de la salud.



**José Roldán** recibió su título de Ingeniero Técnico de Telecomunicación en el año 2002 en la Universidad de Alcalá de Henares. Ha trabajado durante 3 años en la empresa privada. Desde 2010 trabaja en el Centro Nacional de Sanidad Ambiental y en la Unidad de Investigación en Telemedicina y e-Salud del Instituto de Salud Carlos III. Sus intereses son la investigación en la evaluación de la exposición a las radiaciones no ionizantes, dosimetría y compatibilidad electromagnética (EMC) de dispositivos electromédicos utilizados en telemedicina, efectos de los campos electromagnéticos en organismos vivos a nivel microscópico así como la medida para la caracterización dieléctrica de organismos de ensayos toxicológicos.



**Leire Azpilicueta** received her Telecommunications Engineering Degree from the Public University of Navarre (UPNa), Pamplona, Spain, in 2009. In 2010 she worked in the R&D department of RFID Osés as radio engineer. In 2011, she obtained a Master of Communications held by the Public University of Navarre. She is currently pursuing the Ph.D. degree in telecommunication engineering. Her research interests are mobile radio systems, wireless communications and channel modeling.



**Francisco Falcone** received his Telecommunications Engineering Degree (1999) and PhD in Communications Engineering (2005), both at the Universidad Pública de Navarra (UPNA) in Spain. From 1999 to 2000 he worked as Microwave Commissioning Engineer at Siemens-Italtel. From 2000 to 2008 he worked as Radio Network Engineer in Telefónica Móviles. In 2009 he co-founded Tafco Metawireless, a spin off devoted to complex EM analysis. From 2003 to 2009 he was also Assistant Lecturer at UPNA, becoming Associate Professor in 2009. His research area is artificial electromagnetic media, complex electromagnetic scenarios and wireless system analysis. He has over 320 contributions in journal and conference publications. He has been recipient of the CST Best Paper Award in 2003 and 2005, Best PhD in 2006 awarded by the Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, Doctorate award 2004-2006 awarded by UPNA, Juan Lopez de Peñalver Young Researcher Award 2010 awarded by the Royal Academy of Engineering of Spain and Premio Talgo 2012 for Technological Innovation.



**M. Dolores Marcos.** Licenciada en Psicología Teórico-Experimental por la Universidad Complutense de Madrid, con formación de posgrado en Inteligencia Artificial. Obtuvo el reconocimiento de la Suficiencia Investigadora por la Universidad Autónoma de Madrid y actualmente realiza el periodo de investigación en la Facultad de Medicina de la Universidad de Alcalá de Henares. Sus actividades de investigación se han desarrollado en relación con la usabilidad de aplicaciones informáticas para telemedicina y enseñanza on-line, la gestión del conocimiento sobre sistemas de información, y más recientemente, con la implementación de Ambientes asistidos (AAL) seguros dentro del paradigma del Internet de las cosas o IoT (Internet of Things). Tiene una amplia experiencia docente y en la actualidad ocupa el puesto de Coordinadora del Área de Seguimiento de títulos y Aseguramiento de la calidad de las enseñanzas en la Universidad Autónoma de Madrid.



**José Luis Bardasano** es Doctor en Ciencias Biológicas y Licenciado en Medicina y Cirugía por la Universidad Complutense de Madrid. Es Catedrático en la Facultad de Medicina en el Departamento de Especialidades Médicas de la Universidad de Alcalá de Henares. Es presidente de la Fundación Europea de Biomagnetismo y Ciencias de la Salud. Sus áreas de conocimiento se centran en la glándula pineal y el bioelectromagnetismo médico en sus tres vertientes. Primero, salud pública: seguridad e higiene en el trabajo y en el ambiente urbano y doméstico. En segundo lugar diagnóstico por medio de magnetoencefalografía funcional y en tercero, el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas por estimulación electromagnética transcraneal.



**Alejandro Úbeda** is a research scientist, head of the Service BEM-Investigación at Hospital Ramón y Cajal – Instituto Ramón y Cajal de Investigación Sanitaria (Madrid). Since 1982 he has been investigating different aspects of the in vivo and in vitro effects of non-ionising radiation (NIR). Úbeda has authored and edited a number of scientific articles and books on bioeffects of NIR, and is a referee for international scientific journals specialized in the discipline. He cooperates with international scientific societies and committees on Bioelectromagnetics and is a consultant for local and national agencies on NIR protection. Presently, Úbeda is involved in various of projects investigating biological responses to NIR in the ELF-RF spectrum, including power-frequency, telecommunication and radar signals, as well as RF currents used in emerging electrothermal therapies.



**María Antonia Martínez** is a researcher scientist del Servicio de BioElectroMagnética, del Dpto. de Investigación del Hospital Universitario Ramón y Cajal. Doctorated in Biological Sciences, in the area of Bioelectromagnetics (2009), Universidad Complutense de Madrid (Departamento de Bioquímica y Biología Molecular). Its activity is focused on the study of the mechanisms of action of Non-Ionizing Radiation (NIR), especially in power frequency magnetic fields. She participates in the training of students attending training cycles and higher education. She is working in research projects with public or private funding, and provides services to the Research Institute of the Hospital Ramon y Cajal (IRYCIS) concerning protection against NIR.



**María Antonia Cid** (Ph. D.) at present (2011 -) is a professor and researcher at the European University of Madrid. She worked in the Units of Neurobiology and BioElectroMagnética, del Departamento de Investigación-Hospital Universitario Ramón y Cajal, where she specialized in Bioelectromagnetics. She has authored a number of scientific articles on bioeffects of Non-Ionizing Radiation (NIR). Her studies were focused on the elucidation of the molecular mechanisms implicated in the biological effects of Non-Ionizing Radiation (NIR), both in vitro and in vivo models. In these areas, she has been awarded scholarships by different projects, European, public and private.

**Lucía Chacón** (Ph. D.), is a researcher scientist at the Hospital Universitario Ramón y Cajal (Madrid). Postdoctoral training at the Faculty of Medicine Pitié-Salpêtrière, Paris (1996-97). Master in Bioinformatics and Computational Biology, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense (2003-2004). She studies the “in vivo” and “in vitro” effects of non-ionizing radiation, ELF and RF. She is referee of scientific journals. Provides assessment and counseling services on NIR exposure, nationally and internationally, to both industry and private enterprise and public institutions. She participated in different research projects, collaborating with the Department of Biochemistry, Molecular Biology and Clinical Biochemistry in the Hospital Ramon y Cajal.



**María Ángeles Trillo** (Ph. D.) is a researcher scientist at the Hospital Universitario Ramón y Cajal (Madrid). She investigates in the area of biological and biomedical applications of Non-Ionizing Radiation (NIR). With postdoctoral training in biophysics (1990 - 1993), on the Health Effects Research Laboratory, U.S. EPA, North Carolina. Presently, M.A. Trillo is referee of scientific journals, director of doctoral theses and cooperates with several national and international scientific societies and committees on NIR. She collaborates with the IRYCIS Institute and the Biomedical Foundation-HRC, in assessment services for protection against NIR. She has been principal investigator in many national and international projects investigating biological and biomedical responses to NIR, including power frequency, RF signals from telecommunication to radar and those employed in new electrothermal therapies.



**Miguel García-Santesmases.** Licenciatura en Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid. **BECA TASSEP. University of Madison, USA.** (2007/2008)

**Junio 2010 – Actual. Consultor Indra Sistemas-Business Analytics.** Desarrollo de Sistemas de información y análisis de transacciones. Responsable diseño funcional, planes de pruebas. Aplicación tecnología ORACLE y Aplicación tecnología SAS (Statistical Analysis System) a sistemas de información y análisis de negocio. Diseño funcional, diseño técnico, planes de pruebas.

## ACRÓNIMOS

<b>AAL</b>	Ambient Assited Living
<b>ACGIH</b>	American Conference of Governmental and Industrial Hygienists
<b>BAN</b>	Body Area Network
<b>BEPA</b>	Bureau of European Policy Advisers
<b>BT</b>	Bluetooth
<b>CEPAT</b>	Centro Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas
<b>CEM</b>	Campos Electromagnéticos
<b>CM</b>	Campos Magnéticos
<b>CNAF</b>	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
<b>DFM</b>	Densidad De Flujo Magnético
<b>e-Health</b>	Electronic Health
<b>ELF</b>	Frecuencia Extremadamente Baja
<b>ELF MF</b>	Low Frequency Magnetic Fields
<b>EMF</b>	Electromagnetic Fields
<b>EMG</b>	Electromiograma
<b>FI</b>	Frecuencia Industrial
<b>GVMF</b>	Gran Variedad de Modelos y Fabricantes
<b>ICNIRP</b>	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>IoT</b>	Internet De Las Cosas (Internet of Things)
<b>M2M</b>	Machine-to-Machine
<b>mHealth</b>	Mobile Health
<b>MRI</b>	Magnetic Resonance Imaging
<b>NFC</b>	Near Field Communications
<b>NLOS</b>	No-Line-Of-Sight
<b>PAN</b>	Personal Area Networks
<b>PCs</b>	Personal Computers
<b>RF</b>	Radio Frecuencia
<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification
<b>RMI</b>	Imagen Por Resonancia Magnética
<b>RMN</b>	Resonancia Magnética Nuclear
<b>RMS</b>	Valor Cuadrático Medio
<b>SAD</b>	Dispositivos de Teleasistencia
<b>SRD</b>	Short Range Devices
<b>TFE</b>	Tecnologías Facilitadoras Esenciales
<b>TIC</b>	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
<b>ULF</b>	Ultra-Baja Frecuencia
<b>UPNA</b>	Universidad Pública de Navarra
<b>WIBSN</b>	Wearable And Implantable Body Sensor Networks
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Networks

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

Figura 1. Escenarios de aplicabilidad de redes de comunicaciones en entornos sanitarios y del cuidado del paciente.....	23
Figura 2. Dominios interdisciplinarios de colaboración para la implantación de redes de sensores en el ámbito sanitario.....	23
Figura 3. Red BAN y su entorno .....	25

### CAPÍTULO III

Figura 1. Estimación de niveles de potencia recibidos correspondientes al sistema GSM 900 en un entorno doméstico .....	41
Figura 2. Estimación de niveles de potencia recibidos correspondientes al sistema UMTS en el mismo recinto descrito previamente.....	41
Figura 3. Estimación de niveles de potencia recibidos correspondientes a un router WiFi ubicado en el interior de la vivienda .....	42
Figura 4. Estimación de niveles de potencia para un transceptor operando en la banda frecuencial de 2.4Ghz .....	43
Figura 5. Esquema del escenario de simulación generado para el análisis de la variación de niveles de campo en función de los materiales constitutivos de las paredes del mismo .....	43
Figura 6. Estimación de niveles de potencia obtenidos al variar los materiales constructivos de las paredes del recinto de oficina, para una frecuencia de operación de 2.45GHz.....	44
Figura 7. Estimación de perfiles de retardo potencia obtenidos al variar los materiales constructivos de las paredes del recinto de oficina, para una frecuencia de operación de 5.8GHz.....	45
Figura 8. Estimación de niveles de potencia obtenidos al variar los materiales constructivos de las paredes del recinto de oficina, para una frecuencia de operación de 5.8GHz y un plano bidimensional ubicado a una altura de 0.5m .....	46
Figura 9. Estimación de perfiles de retardo potencia obtenidos al variar los materiales constructivos de las paredes del recinto de oficina, para una frecuencia de operación de 5.8GHz y un plano bidimensional ubicado a una altura de 0.5m .....	47
Figura 10. Distribuciones de potencia recibida en función de la distancia lineal entre la fuente transmisora y el receptor, para los diferentes materiales considerados. La figura de la izquierda corresponde a la fuente a 2.4GHz	48

### CAPÍTULO IV

Figura 1. Monitorización de salud ubicua: Red de Area corporal (Body Area Network,(BAN), nodos de sensors inalámbricos, monitorización de señales biomédicas and asistencia sanitaria remota (WRTF: wired telephony service).....	53
Figura 2. Trabajos que hacen referencia a la utilización de tecnologías SRD en atención sanitaria desde 2001 a 2011 (Número total: 248).....	56
Figura 3. Distribución de publicaciones por temática (Número total: 248).....	56
Figura 4. Publicaciones dedicadas a Ambientes asistidos y entornos monitorizados (Número total: 95). .....	57

Figura 5. Tecnologías utilizadas para la atención al paciente en Ambientes asistidos y Entornos monitorizados (Número total: 95).....	58
---	----

## **CAPÍTULO V**

Figura 1. Representación esquemática de un laboratorio mostrando los puntos donde se registraron los datos de densidad de flujo magnético.....	64
Figura 2. Las medias ponderadas en el tiempo de los valores instantáneos de B (BTWA) resultantes de la monitorización personal .....	69
Figura 3. Monitorización personal de radiólogos y fisioterapeutas .....	69
Figura 4. Los valores de Broom se representan frente los BTWA de las monitorizaciones personales correspondientes a 157 voluntarios .....	70
Figura 5. Diagramas de caja que muestran la distribución de la exposición a CM: (A) Exposición acumulativa diaria (media aritmética en $\mu\text{T} \cdot \text{h}$ ), (B) media del percentil 90 (en $\mu\text{T}$ ) correspondiente a las respectivas categorías laborales.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II

Tabla 1. Dispositivos para Ambientes Asistidos .....	30
Tabla 2. Ayudas técnicas para la discapacidad .....	31
Tabla 3. Dispositivos e-Salud .....	32
Tabla 4. Distribución de las entidades con productos certificado en Continua .	33
Tabla 5. Tipos de dispositivos certificados en Continua por tipo de conexión..	33
Tabla 6. Resumen de dispositivos certificados en ANT+ Alliance.....	33
Tabla 7. Dispositivos para el bienestar personal .....	34

### CAPÍTULO V

Tabla 1. Exposición a CM ELF bajo dos métricas diferentes .....	67
Tabla 2. Medias (en $\mu\text{T RMS}$ ) de las medidas puntuales registradas en los diferentes ambientes de trabajo del Hospital .....	68