

TESIS DOCTORAL N° ~~447~~  
16/4/2003

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA  
REGISTRE GENERAL  
ENTRADA

2 ENE 2003

N° ..... 170 .....  
HORA .....  
OFICINA AUXILIAR NÚM. 16

CONTRIBUCIONES TÉCNICAS PARA LA MEDIDA  
DE LA CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA  
DE MICROONDAS. ESTUDIO EN DIVERSAS  
POBLACIONES

Por  
Jaume Segura García



ENVIADA PARA EL CUMPLIMIENTO PARCIAL DE  
LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN  
DEL GRADO DE DOCTOR EN LA  
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA  
C/DR. MOLINER, 50 - BURJASSOT (VALÈNCIA)  
DICIEMBRE 2002

TD-F  
441



50001322698

Biblioteca de Ciències

R.20676

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA  
BIBLIOTECA CIÈNCIES

N° Registre ..... 20676 .....  
DATA ..... 6-5-03 .....  
SIGNATURA  
TD-F 00441  
N° LIBIS: 1322698

UMI Number: U607764

All rights reserved

INFORMATION TO ALL USERS

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted.

In the unlikely event that the author did not send a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if material had to be removed, a note will indicate the deletion.



UMI U607764

Published by ProQuest LLC 2014. Copyright in the Dissertation held by the Author.  
Microform Edition © ProQuest LLC.

All rights reserved. This work is protected against  
unauthorized copying under Title 17, United States Code.



ProQuest LLC  
789 East Eisenhower Parkway  
P.O. Box 1346  
Ann Arbor, MI 48106-1346


THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
LIBRARY  
540 EAST 57TH STREET  
CHICAGO, ILL. 60637  
TEL: 773-936-3000  
WWW.CHICAGO.EDU

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA  
DEPARTMENT DE  
FÍSICA APLICADA

Lo subrallado aquí certifica que ellos han leído y recomendado a la Facultat de Física para la aceptación de la tesis titulada “**Contribuciones técnicas para la medida de la contaminación electromagnética de microondas. Estudio en diversas poblaciones**” por **Jaume Segura García** en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de **Doctor**.

Fecha: Diciembre 2002

Presidente: \_\_\_\_\_  
Vicente Such Berenguer

Director de la Tesis:   
\_\_\_\_\_  
Enrique A. Navarro Camba

Comité examinador:  
\_\_\_\_\_  
Joan Paredes Carbonell

\_\_\_\_\_  
José Romero Faus

\_\_\_\_\_  
Santiago Felici

\_\_\_\_\_  
Juan Antonio Morente



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

Date: **Diciembre 2002**

Autor: **Jaume Segura García**

Título: **Contribuciones técnicas para la medida de la  
contaminación electromagnética de  
microondas. Estudio en diversas poblaciones**

Departamento: **Física Aplicada**

Grado: **Ph.D.**      Convocatoria: **Febrero**      Año: **2003**

---

Firma del Autor



*A mi familia.*





# Tabla de Contenidos

<b>Tabla de Contenidos</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>xv</b>
<b>Prefacio</b>	<b>xxi</b>
<b>Resumen</b>	<b>xxiii</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>xxv</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1 Fundamentos físicos y propiedades de las ondas electromagnéticas. Interacción con la materia</b>	<b>11</b>
1.1 Física de la radiación de ondas electromagnéticas. Principios físicos para las comunicaciones móviles. El espectro electromagnético. . .	11
1.2 Propagación de ondas electromagnéticas . . . . .	15
1.2.1 Propagación en el vacío . . . . .	16
1.2.2 Propagación en un medio material con pérdidas . . . . .	19
1.3 Mecanismos físicos de interacción electromagnética con sistemas biológicos . . . . .	22
1.3.1 Efectos térmicos . . . . .	23
1.3.2 Efectos no térmicos . . . . .	25
1.3.3 Interacción de las ondas electromagnéticas sobre objetos materiales con pérdidas: Efectos térmicos . . . . .	29

<b>2</b>	<b>Sistemas de telefonía móvil pública. Estaciones base y estaciones móviles: aspectos técnicos.</b>	<b>37</b>
2.1	Sistemas de Comunicaciones Personales Móviles . . . . .	37
2.2	Técnicas de acceso múltiple . . . . .	40
2.2.1	Acceso múltiple FDMA . . . . .	40
2.2.2	Acceso múltiple TDMA . . . . .	41
2.2.3	Acceso múltiple CDMA . . . . .	44
2.3	Modulación . . . . .	46
2.3.1	Modulación analógica . . . . .	47
2.3.2	Transmisión digital . . . . .	50
2.3.3	Modulación MSK . . . . .	51
2.3.4	Modulación GMSK . . . . .	52
2.3.5	Probabilidad de error para GMSK . . . . .	53
2.4	Sistemas de telefonía celular . . . . .	54
2.4.1	Cobertura . . . . .	55
2.4.2	Concepto celular . . . . .	55
2.5	Aspectos técnicos de las estaciones base: las antenas . . . . .	58
2.5.1	Conceptos básicos y definiciones . . . . .	59
2.5.2	Regiones del campo radiado . . . . .	60
2.5.3	Diagramas de radiación de las antenas más comunes . . . . .	61
2.5.4	Propagación multitrayecto (sistemas analógicos) . . . . .	63
2.5.5	Canales multitrayecto (sistemas digitales) . . . . .	66
2.6	Protocolos de PMT más extendidos en la actualidad . . . . .	67
2.6.1	Sistema GSM . . . . .	68
2.6.2	Sistema DCS . . . . .	70
2.6.3	Tecnologías de evolución a la tercera generación: GPRS . . . . .	70
2.6.4	Sistema UMTS . . . . .	71
<b>3</b>	<b>El medio ambiente y la salud</b>	<b>73</b>
3.1	Introducción . . . . .	73
3.2	Los campos electromagnéticos de microondas . . . . .	75
3.3	Efectos a largo plazo: mecanismos . . . . .	78
3.4	Efectos sobre la secreción de Melatonina . . . . .	79
3.5	Efectos sobre la actividad de la Ornitino Decarboxilasa (ODC). . . . .	81
<b>4</b>	<b>Medidas de niveles de radiación electromagnética en diversas poblaciones de la Comunidad Valenciana</b>	<b>85</b>
4.1	Protocolo de medidas de densidad de potencia de RF/MW . . . . .	86
4.1.1	Medidas y su justificación . . . . .	86
4.1.2	Procedimiento . . . . .	87
4.1.3	Medidas en banda ancha (1 MHz-3000 MHz) . . . . .	89

4.1.4	Medidas en banda estrecha . . . . .	90
4.2	Niveles de radiación en diversas poblaciones de la Comunidad Valenciana . . . . .	92
4.2.1	Medidas instantáneas de densidad de potencia . . . . .	92
4.2.2	Medidas en Banda Estrecha . . . . .	93
4.2.3	Cartografía de niveles radioeléctricos . . . . .	96
4.3	Medidas continuas de densidad de potencia . . . . .	113
4.3.1	Medidas continuas a lo largo de una semana . . . . .	114
4.3.2	Medidas continuas a lo largo de 24 horas . . . . .	128
4.3.3	Medidas continuas a lo largo de 30 minutos . . . . .	133
4.4	Discusión y conclusiones . . . . .	135
<b>5</b>	<b>Análisis de la respuesta de los residentes: El “síndrome de microondas o de radiofrecuencia”</b>	<b>141</b>
5.1	Introducción . . . . .	142
5.2	Plan de trabajo . . . . .	143
5.3	Materiales y método . . . . .	146
5.3.1	Selección de la muestra . . . . .	146
5.3.2	Descripción del cuestionario . . . . .	147
5.3.3	Medidas de campo electromagnético de microondas: densidad de potencia RF . . . . .	151
5.4	Estudio de la Ribera Baixa: Favara, Corbera y Sueca . . . . .	153
5.4.1	Medidas en la Ribera Baixa . . . . .	155
5.4.2	Tratamiento estadístico de las encuestas . . . . .	157
5.4.3	Discusión de resultados en el estudio de la Ribera Baixa . . . . .	163
5.5	Estudio de Algemesí (Ribera Alta) . . . . .	177
5.5.1	Medidas en Algemesí . . . . .	180
5.5.2	Tratamiento estadístico de las encuestas . . . . .	180
5.5.3	Discusión de los resultados en el estudio de Algemesí . . . . .	183
5.6	Análisis factorial . . . . .	198
5.6.1	Población . . . . .	199
5.6.2	Instrumento . . . . .	200
5.6.3	Procedimiento . . . . .	201
5.6.4	Análisis factorial exploratorio de la prueba . . . . .	202
5.6.5	Análisis de las diferentes encuestas . . . . .	205
5.7	Conclusiones . . . . .	223
<b>6</b>	<b>Discusión, aportaciones y conclusiones finales</b>	<b>229</b>
6.1	Futuras líneas de investigación . . . . .	237
<b>Anexo 1</b>		<b>239</b>

<b>Anexo 2</b>	<b>247</b>
<b>Anexo 3</b>	<b>249</b>
<b>Anexo 4</b>	<b>253</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>262</b>

# Índice de Tablas

1.1	Denominación de las bandas del espectro electromagnético. . . . .	13
1.2	Valores medios de la conductividad eléctrica ( $\sigma$ ) para tejidos biológicos a 37°C en función de la frecuencia en RF/MW, en S/m [1] . . .	31
2.1	Tipos de estaciones base (BS) y terminales móviles (MS) según su potencia de emisión . . . . .	69
4.1	Pérdidas al atravesar diferentes tipos de paredes un campo radiado de microondas [2] . . . . .	87
4.2	Descripción estadística de las medidas realizadas en diversas poblaciones . . . . .	93
4.3	Distribuciones estadísticas de las medidas realizadas en diversas poblaciones . . . . .	93
4.4	Densidad de potencia medida en un punto alejado del casco urbano	95
4.5	Espectro de densidad de potencia medida en C/. San Jacinto, 3. Pta.13 de Paterna . . . . .	97
4.6	Espectro de densidad de potencia medida en C/Mestre Joan Magal Benzó, 1 pta 5. de Paterna . . . . .	98
4.7	Espectro de densidad de potencia medida en C/. Mestre Palau, 3. pta 10, 5º piso de Paiporta. . . . .	99
4.8	Espectro de densidad de potencia medida en C/. Antonio Machado, 12, pta 8, 4º piso de Paiporta. . . . .	100

5.1	Presencia promedio del síntoma en relación con el campo eléctrico medido y el uso del móvil. V-01 fatiga, V-02 irritabilidad, V-03 cefaléa, V-04 náuseas, V-05 pérdida de apetito, V-06 insomnio. V-07 depresión, V-08 estado incómodo, V-09 dificultad de concentración, V-10 pérdida de memoria, V-11 alteraciones de la piel. V-12 alteraciones visuales, V-13 alteraciones auditivas, V-14 vértigos, V-15 dificultades al andar, V-16 problemas cardiovasculares. . . . .	159
5.2	Presencia promedio del síntoma en relación con la edad de los encuestados. . . . .	160
5.3	Estado de salud en relación con el campo eléctrico. . . . .	161
5.4	Estado de salud en relación con el uso del teléfono móvil. . . . .	161
5.5	Estado de salud en relación con la edad de los encuestados. . . . .	161
5.6	Promedio sintomático y desviación estándar en las poblaciones de la Ribera Baixa. . . . .	162
5.7	Correlación de Pearson y niveles de significación de la severidad de los síntomas de la encuesta de Santini con respecto al logaritmo de la densidad de potencia electromagnética. La Ñora[3]. Carcaixent[3], Corbera, Favara y Sueca. . . . .	164
5.8	Encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación, con todas las encuestas de la Ribera Baixa, del grado de severidad del síntoma respecto a la densidad de potencia en dBm.166	166
5.9	Ampliación de la encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación, con todas las encuestas de la Ribera Baixa, del grado de severidad del síntoma respecto a la densidad de potencia en dBm (1). . . . .	167
5.10	Ampliación de la encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación, con todas las encuestas de la Ribera Baixa, del grado de severidad del síntoma respecto a la densidad de potencia en dBm (2). . . . .	168

5.11 Ampliación de la encuesta Santini: Promedio y desviación estándar de la frecuencia de presentación del síntoma. . . . .	169
5.12 Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar separándolos en dos grupos de exposición (1). . . . .	170
5.13 Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar en separándolos en dos grupos de exposición (2). . . . .	171
5.14 Número de horas de exposición por día para toda la población de la Ribera Baixa . . . . .	172
5.15 Uso del ordenador y el uso del móvil (Sí o No) para toda la población de la Ribera Baixa. . . . .	172
5.16 Información sobre los efectos biológicos de la telefonía móvil sobre toda la población de la Ribera Baixa. . . . .	173
5.17 Resumen del estado civil de los encuestados en los cuestionarios de la Ribera Baixa. . . . .	173
5.18 Resumen del nivel de estudios de los encuestados en la Ribera Baixa.	174
5.19 Resumen de la actividad de los encuestados en la Ribera Baixa. . . . .	174
5.20 Resumen de los grupos de edad de los encuestados de la Ribera Baixa. . . . .	174
5.21 Resumen por sexo de los encuestados de la Ribera Baixa. . . . .	175
5.22 Resumen del estado de salud de los encuestados en la Ribera Baixa.	176
5.23 Resumen de la evolución del estado de salud de los encuestados de la Ribera Baixa. . . . .	176
5.24 Resumen de los estadísticos del estado de salud y de evolución del estado de salud de los encuestados en la Ribera Baixa. . . . .	177
5.25 Correlaciones de Pearson unilaterales entre la potencia (lineal y en dBm) y el estado de salud y de evolución del estado de salud de los encuestados en la Ribera Baixa. . . . .	178
5.26 Promedio sintomático y desviación estándar en Algemesí. . . . .	182



5.27	Correlación de Pearson y niveles de significación de la severidad de los síntomas de la encuesta de Santini con respecto al logaritmo de la densidad de potencia de campo electromagnético. La Ñora, Carcaixent, Corbera, Favara, Sueca y Algemesí. . . . .	184
5.28	Encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación del grado de severidad del síntoma respecto al logaritmo de la densidad de potencia en Algemesí. . . . .	185
5.29	Ampliación de la encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación del grado de severidad del síntoma respecto al logaritmo de la densidad de potencia en Algemesí (1). .	186
5.30	Ampliación de la encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación del grado de severidad del síntoma respecto al logaritmo de la densidad de potencia en Algemesí (2). .	187
5.31	Ampliación de la encuesta Santini: Promedio y desviación estándar de la frecuencia de presentación del síntoma en Algemesí. . . . .	188
5.32	Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar en dos grupos de exposición con medidas en las habitaciones (1). Población de Algemesí. . . . .	190
5.33	Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar en dos grupos de exposición con medidas en las habitaciones (2). Población de Algemesí. . . . .	191
5.34	Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar en dos grupos de exposición con medidas en el salón (1). Población de Algemesí. . . . .	192
5.35	Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar en dos grupos de exposición con medidas en el salón (2). Población de Algemesí. . . . .	193
5.36	Número de horas de exposición por día para la muestra de Algemesí.	193
5.37	Uso del ordenador y del móvil (Sí o No) en la muestra de Algemesí.	194

5.38	¿Tiene Ud. información sobre los efectos biológicos de la telefonía móvil?. Muestra de Algemesí . . . . .	194
5.39	Resumen del estado civil de los encuestados. Muestra de Algemesí.	195
5.40	Resumen del nivel de estudios de los encuestados. Muestra de Algemesí. . . . .	195
5.41	Resumen de la actividad de los encuestados. Muestra de Algemesí.	195
5.42	Resumen de los grupos de edad de los encuestados. Muestra de Algemesí . . . . .	196
5.43	Resumen por sexo de los encuestados. Muestra de Algemesí. . . . .	196
5.44	Estadísticos descriptivos de las variables consideradas en la muestra de Algemesí. . . . .	197
5.45	Correlaciones entre grado de salud ESALUD, TERMOMETRO de SALUD, las medidas y la edad. Muestra de Algemesí . . . . .	198
5.46	Test de esfericidad de Barlett para comprobar la viabilidad del análisis factorial con todas las variables consideradas de la Ribera Baixa y Algemesí. . . . .	202
5.47	Tabla de porcentaje de varianza explicada con todas las variables consideradas de la Ribera Baixa y Algemesí. . . . .	204
5.48	Matriz de componentes rotados con todas las variables consideradas de la Ribera Baixa y Algemesí (1). . . . .	208
5.49	Matriz de componentes rotados con todas las variables consideradas de la Ribera Baixa y Algemesí (2). . . . .	209
5.50	Matriz de componentes rotados con todas las variables consideradas de la Ribera Baixa y Algemesí (3). . . . .	210
5.51	Matriz de componentes rotados con todas las variables consideradas de la Ribera Baixa y Algemesí (4). . . . .	211
5.52	Test de esfericidad de Barlett para comprobar la viabilidad de un análisis factorial con las variables consideradas en la encuesta Santini de la Ribera Baixa y Algemesí. . . . .	212

5.53	Tabla de porcentaje de varianza explicada por la encuesta de Santini en la Ribera Baixa y Algemesí. . . . .	212
5.54	Matriz de componentes rotados <sup>a</sup> con las variables consideradas en la encuesta Santini de la Ribera Baixa y Algemesí. . . . .	213
5.55	Matriz de transformación de las componentes con las variables del cuestionario de Santini. . . . .	213
5.56	Test de esfericidad de Barlett para comprobar la viabilidad de un análisis factorial con las variables consideradas del cuestionario ampliación de Santini. Datos de la Ribera Baixa y Algemesí. . . . .	215
5.57	Tabla de porcentaje de varianza explicada con las variables consideradas del cuestionario ampliación de Santini. Datos de la Ribera Baixa y Algemesí. . . . .	216
5.58	Matriz de componentes rotados <sup>a</sup> con las variables consideradas del cuestionario ampliación de Santini (1). Datos de la Ribera Baixa y Algemesí. . . . .	218
5.59	Matriz de componentes rotados <sup>a</sup> con las variables consideradas del cuestionario ampliación de Santini (2). Datos de la Ribera Baixa y Algemesí. . . . .	219
5.60	Matriz de transformación de las componentes con las variables consideradas del cuestionario ampliación de Santini. Datos de la Ribera Baixa y Algemesí. . . . .	220

# Índice de Figuras

1	Porcentaje de penetración de la telefonía móvil en el mercado español [4]. . . . .	2
1.1	Representación de una fuente radiando en la dirección $(\theta, \phi)$ . . . . .	16
1.2	Visualización de la perpendicularidad de los campos $\vec{E}$ y $\vec{H}$ a la dirección de propagación. . . . .	18
1.3	Promedio de SAR para 3 especies expuestas a $1 \text{ mW/cm}^2$ con el vector $\mathbf{E}$ paralelo al eje longitudinal del cuerpo [5]. . . . .	34
2.1	Gráfico de una distribución TDMA en dominio tiempo-frecuencia. . . . .	44
2.2	Diagrama de un cluster complejo de celdas en un sistema celular. . . . .	57
2.3	Diagrama vertical de una antena omnidireccional ASPJ 977 CYS. . . . .	62
2.4	Diagrama horizontal de una antena sectorial $60^\circ$ DB-CYS Mod.90060.135. . . . .	63
2.5	Diagrama vertical de una antena sectorial $60^\circ$ DB-CYS Mod.90060.135. . . . .	64
2.6	Variación de la envolvente de la señal multitrayecto en función del tiempo en un desplazamiento de la MS[6]. . . . .	65
4.1	Fotografía panorámica de la situación de la BS-1 . . . . .	103
4.2	Fotografía de la situación de la BS-2 . . . . .	104
4.3	Fotografía de la situación de la BS-3 . . . . .	105
4.4	Fotografía de la situación de la BS-4 . . . . .	106

4.5	Fotografía de la situación de la BS-5 . . . . .	107
4.6	Mapa global de Sueca . . . . .	108
4.7	Mapa de la zona de C/. Mare de Déu. . . . .	109
4.8	Mapa de la zona Mestre Serrano . . . . .	110
4.9	Mapa de la zona de Dos Pontets . . . . .	111
4.10	Mapa de la zona de C/. Pio Muñoz . . . . .	112
4.11	Historia temporal de las medidas de una semana en Paiporta a d=10 m de la BS desde las 23:00h del 6/02/2002 al 15/02/2002. . . . .	115
4.12	Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas de Paiporta. . . . .	116
4.13	Histograma de las medidas durante una semana en Paiporta. . . . .	117
4.14	Historia temporal de las medidas de una semana en C/ St. Josep de Calassanz,1 de Algemesí a d<5 m de la BS-1 desde las 23:00h del 12/04/2002 a las 00:54h 20/04/2002. . . . .	118
4.15	Histograma de las medidas durante una semana en C/ St. Josep de Calassanz,1 de Algemesí. . . . .	119
4.16	Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas en C/ St.Josep de Calassanz,1 de Algemesí. . . . .	119
4.17	Historia temporal de las medidas de una semana en Parc Salva- dor Castell de Algemesí a d=300 m de la BS-2 desde las 21:30h del 2/05/2002 a las 23:24h 9/05/2002. . . . .	120
4.18	Histograma de las medidas durante una semana en Parc Salvador Castell de Algemesí. . . . .	121
4.19	Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas en Parc Salvador Castell de Algemesí. . . . .	121
4.20	Historia temporal de las medidas de una semana en Plaça de la Ribera, pis 5 de Algemesí a d=100 m de la BS desde las 23:00h del 24/05/2002 a las 10:54h del 1/06/2002. . . . .	122
4.21	Histograma de las medidas durante una semana en Plaça de la Ri- bera, pis 5 de Algemesí. . . . .	122

4.22	Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas en Plaça de la Ribera, pis 5 de Algemesí. . . . .	123
4.23	Historia temporal de las medidas de una semana en Avda. Bernat Guinovart de Algemesí a d=50 m de la BS-5 desde las 22:00h del 23/06/2002 a las 9:54h del 1/07/2002. . . . .	123
4.24	Histograma de las medidas durante una semana en Avda. Bernat Guinovart (ático) de Algemesí. . . . .	124
4.25	Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas en Avda. Bernat Guinovart (ático) de Algemesí. . . . .	124
4.26	Historia temporal de las medidas de una semana en Gandía-ciudad a d=30 m de la BS desde las 22:00h del 5/06/2002 a las 9:54h del 13/06/2002. . . . .	126
4.27	Histograma de las medidas durante una semana en Gandía-ciudad. .	126
4.28	Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas de Gandía-ciudad. . . . .	127
4.29	Historia temporal de las medidas de una semana en la Plaza del Prado, 4-3 a d=5 m de la BS desde las 18:00h del 6/09/2002 al 14/09/2002. . . . .	127
4.30	Histograma de las medidas durante una semana en la Plaza del Prado, 4-3. . . . .	128
4.31	Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas en la Plaza del Prado, 4-3. . . . .	129
4.32	Historia temporal de las medidas durante 24 horas en un despacho del Departamento de Física Aplicada de la Universitat de València. .	130
4.33	Representación del histograma para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.32. . . . .	130
4.34	Representación de la curva de probabilidad normal para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.32. . . . .	131
4.35	Historia temporal de las medidas durante 24 horas en un despacho del Departamento de Física Aplicada de la Universitat de València. .	131

4.36	Representación del histograma para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.35. . . . .	132
4.37	Representación de la curva de probabilidad normal para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.35. . . . .	132
4.38	Historia temporal de las medidas durante 24 horas en un despacho del Departamento de Física Aplicada de la Universitat de València. . . . .	133
4.39	Representación del histograma para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.38. . . . .	134
4.40	Representación de la curva de probabilidad normal para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.38. . . . .	134
4.41	Historia temporal de las medidas durante 30 minutos en un despacho del Departamento de Física Aplicada de la Universitat de València. . . . .	136
4.42	Representación de los histogramas para los datos de las medidas de 30 minutos de la figura 4.41. . . . .	137
4.43	Representación de las curvas de probabilidad normal para los datos de las medidas de 30 minutos de la figura 4.41. . . . .	138
5.1	Representación en un espacio 2D de las componentes de los factores 2 y 3 en el espacio rotado. . . . .	214
5.2	Representación en un espacio 2D de las componentes de los factores 1 y 5 en el espacio rotado. . . . .	221
5.3	Representación en un espacio 2D de las componentes de los factores 2 y 5 en el espacio rotado. . . . .	222
6.1	Medidor de campo RF/MW LX-1435. . . . .	248
6.2	Medidor de campo magnético EMF-823 Ltlutron. . . . .	248
6.3	Relación entre dBm y V/m en GSM (930-960MHz). . . . .	254
6.4	Relación entre dBm y V/m en DCS (1830-1880MHz). . . . .	254
6.5	Relación entre la lectura del LX y el campo real en GSM (930-960MHz). . . . .	255

6.6	Relación entre la lectura del LX y el campo real en DCS (1830-1880MHz).....	256
6.7	Ganancia de la antena del LX-1435 entre 200-2200MHz. ....	257
6.8	Ganancia de la antena del LX-1435 en la banda de GSM. ....	258
6.9	Ganancia de la antena del LX-1435 en la banda de DCS. ....	258
6.10	Ganancia corregida de la antena del LX-1435. ....	259
6.11	Area efectiva corregida de la antena del LX-1435. ....	260
6.12	Calibración del la salida del medidor LX al registrador. ....	261



*Encontrar la cuestión es a menudo más  
importante que hallar la respuesta*

J.W. Tukey (1980)

# Prefacio

Según Jorge Wagensberg <sup>1</sup>, “la única diferencia entre ciencia y tecnología es que la primera trata de conocer el mundo tal y como se presenta en su estado natural mientras que la segunda trata de modificarlo (...)” intentando mejorarlo, aunque muchas veces no se consiga. En base a esta diferenciación se ha observado un gran avance de la tecnología respecto de la ciencia, en su conjunto y esto ha conducido en ciertos círculos, al planteamiento de ciertos problemas éticos en los ámbitos de aplicación de la innovación tecnológica. Este es el caso, por ejemplo, de las biotecnologías y la ingeniería genética.

Es indudable que el grado de desarrollo y bienestar de la sociedad actual en el mundo occidental y a nivel mundial, no hubiera sido posible sin la necesaria y conveniente utilización de la electricidad y la energía electromagnética. Desde el principio de los tiempos esta energía ha estado presente en la vida del hombre, pero no fue hasta el siglo XIX cuando se empezó a utilizar y a controlar de manera eficiente. Las contribuciones de Oersted, Faraday, Lenz, Maxwell, Hertz y tantos otros a la generación de una teoría electromagnética que ayudase a entender los fenómenos a los que iban asociados fueron fundamentales para el fuerte desarrollo de la tecnología eléctrica de los últimos 150 años.

---

<sup>1</sup>El profesor Wagensberg es director del Museu de la Ciència de Barcelona.

En la actualidad es inconcebible una sociedad moderna planteada sin los recursos energéticos eléctricos, los cuales recientemente han sido fuente de grandes polémicas en nuestro país, relativas a sus posibles efectos sobre organismos vivos y en particular sobre seres humanos (especialmente sobre poblaciones sensibles, como los niños). De este modo, surge la inquietud o la necesidad de investigar los niveles de campo electromagnético ambiental de origen artificial, a que están expuestos los ciudadanos en diversas poblaciones. También nos interesa evaluar la respuesta subjetiva de dichas poblaciones, que perciben un riesgo que todavía no está claramente definido. Esta percepción ha acuñado el término de “contaminación electromagnética” para referirse al causante de esta “polución potencialmente nociva” y casi imperceptible por nuestros sentidos.

El grado de avance de las tecnologías de la información y las comunicaciones, en particular las comunicaciones móviles por ondas electromagnéticas y microondas, no ha sido paralelo al desarrollo de investigaciones biomédicas acerca de sus posibles efectos. Aunque también es cierto que lo que hasta hace unos años se consideraban *casos aislados*, alrededor de repetidores de TV y estaciones de radar, se ha generalizado para la mayoría de la población. En cualquier lugar de la tierra donde haya cobertura de telefonía móvil, es cierto que habrá un cierto nivel de densidad de potencia de campos electromagnéticos de microondas procedente de la estación base más próxima.

Esta tesis pretende indagar en este tema y hacer una modesta contribución en ciertos aspectos técnicos referentes a las medidas del campo electromagnético ambiental asociado a los sistemas de comunicaciones móviles. También pretende, desde un punto de vista meramente estadístico descriptivo, analizar la respuesta subjetiva de los residentes ante este nuevo tipo de contaminación.

# Resumen

La contaminación ambiental por campos electromagnéticos ha resultado ser en estos últimos años uno de los problemas más acuciantes del panorama tecnológico y de salud pública. En el primero de los casos porque las inversiones realizadas son enormes y en el segundo porque cada vez es mayor el número de artículos, “*technical reports*” e informes médicos que afirman la existencia de una cierta causalidad, aunque sea débil, entre los campos electromagnéticos y ciertos cuadros sintomatológicos. En nuestro caso, hemos dedicado bastantes esfuerzos a investigar el llamado “síndrome de radiofrecuencia / microondas”, denominado así en la literatura científica por presentarse en operarios de estaciones de radar y en trabajadores de potentes emisoras de radio y televisión.

En esta memoria presentamos un resumen del trabajo realizado durante los últimos años en la medida de la contaminación electromagnética ambiental asociada a las comunicaciones inalámbricas. En ella se recogen los fundamentos físicos y propiedades de las ondas electromagnéticas, la tecnología empleada en los sistemas de telefonía celular y los antecedentes relativos a la investigación de la interacción de las ondas electromagnéticas con organismos vivos. Se desarrolla un procedimiento de medida que ha conducido a la elaboración de los primeros “mapas de radiofrecuencia” similares, en el aspecto descriptivo, a los mapas de ruido desarrollados en el área de la contaminación acústica. Por último, se analiza la respuesta

subjetiva de los residentes, personas que viven en el entorno de cobertura de las estaciones base de telefonía móvil y que se ven sometidos a determinados niveles de radiación electromagnética, con el fin de situar este fenómeno al nivel que le corresponde en el ámbito de la respuesta subjetiva ciudadana.

# Agradecimientos

En primer lugar deseo expresar mi mayor agradecimiento al profesor Enrique A. Navarro, mi director de tesis, por las sugerencias y continuo apoyo durante el desarrollo de estas investigaciones. Al profesor Alfredo Segura, que como director del Departamento me prestó todo su apoyo. A todos los compañeros del Departamento de Física Aplicada y especialmente a mis compañeros del Laboratorio de Electromagnetismo y Acústica, a Toni, a Raül, a Salva, a Miquel, a Iván y a Juanjo. A los profesores Joaquín Navasquillo, Vicente Such y Fausto Oria por su preocupación. También al profesor Eduardo Moyá, a Pedro, Mari Carmen, Toni, Pepe, Juan, Carmina y a todos aquellos que con su presencia o con su ayuda han facilitado en gran medida mi tarea. Y a todos mis amigos por los buenos y los malos momentos. A Confiteor y a todos sus componentes que han vivido cada momento de esta tesis. También a D. Amando García, mi primer tutor en esta odisea doctoral.

A la Universitat de València por la beca de investigación que me concedió y al Ajuntament d'Algesesí por la beca que convocó para la finalización de parte de este proyecto. Agradezco también a la Mancomunidad de Municipios de la Ribera Baixa, al consistorio de Algesesí, al de Gandía, al de Silla, al de Paterna, al de Paiporta y la Universitat de València que apoyaron y financiaron parte de los trabajos, permitiendo su ejecución de forma independiente.

Por último agradecer, a mis padres y a mi hermana, que han tenido que soportarme durante este tiempo con paciencia y con mucho cariño y también a mis amigos. Sin ellos este trabajo nunca hubiese visto la luz.

Deseo expresar a todos mi más sincera gratitud, esperando que este trabajo sea de su agrado.

Jaume Segura García  
Algesesí, a 15 de noviembre de 2002



# Introducción

Desde hace siglos se sabe que el medio en el que viven y se desarrollan los seres humanos influye de manera decisiva en su estado de salud. El problema de la contaminación ambiental es uno de los principales retos con que se enfrenta actualmente la humanidad, consciente de que está en juego no sólo su bienestar y su salud, sino incluso su vida y su supervivencia como especie.

La contaminación química del aire, del agua y del suelo, así como la contaminación física por agentes tales, como las radiaciones y el ruido, han experimentado un aumento progresivo en el curso de estas últimas décadas, alcanzando niveles muy preocupantes en una gran parte del planeta. Esta contaminación ha sido asociado principalmente al gran desarrollo tecnológico experimentado por la sociedad después de la segunda guerra mundial, tanto en lo que respecta a agentes químicos como físicos.

Desde hace millones de años la vida se ha desarrollado y ha evolucionado en la tierra bajo la influencia de un campo electromagnético natural generado por la radiación solar, los campos electromagnéticos generados en la atmósfera y la radiación de fondo cósmica de microondas. La exposición era relativamente débil, ya que la intensidad natural de campo electromagnético no excedía el orden entre  $10^{-8} - 10^{-9} \text{ W/m}^2$ . Pese a todo, la situación ha cambiado radicalmente desde



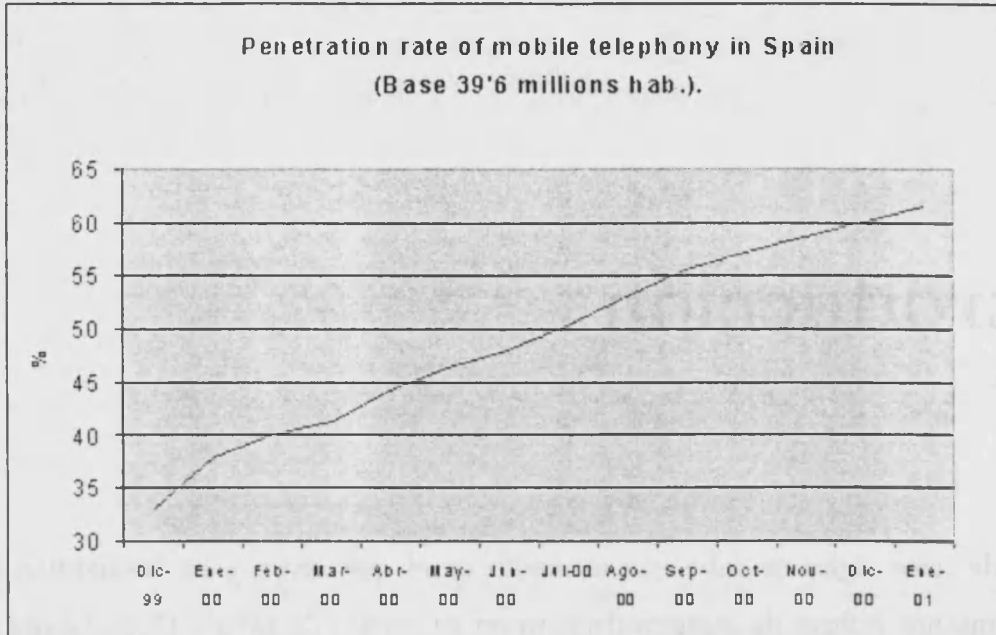


Figura 1: Porcentaje de penetración de la telefonía móvil en el mercado español [4].

hace unos 70 años con la introducción de aparatos generadores de microondas y de radiofrecuencias, primero para comunicaciones y sistemas militares, y después para múltiples aplicaciones industriales civiles y de uso doméstico.

El presente trabajo se centrará básicamente en el estudio de los niveles de radiación electromagnética ambiental de alta frecuencia asociados a la telefonía móvil, un producto tecnológico que debido a su extensión durante los últimos años ha llegado a convertirse en fenómeno social que mueve una cantidad de dinero muy considerable. A finales del año 2000 casi un 70% de la población española era usuaria de telefonía móvil [4] (ver gráfico 1).

Las primeras observaciones sobre los posibles efectos biológicos de los campos electromagnéticos sobre la salud pueden situarse a finales del siglo XIX (exactamente en 1892), cuando el Dr. Frederick Peterson, jefe de neurología en el *New*

*York College of Physicians and Surgeons* y A.E. Kennelly, jefe de electricidad de los laboratorios Edison en Orange (New Jersey) utilizaron imanes que producían un campo magnético 300 veces más fuerte que el de la tierra e intentaron averiguar el efecto que este campo tenía sobre los seres vivos. Su hipótesis de partida era que si los potentes imanes (para la época) que utilizaban no producían ningún efecto observable sobre los seres vivos, seguramente imanes menos potentes tampoco lo harían.

Desde entonces, las aplicaciones de los campos electromagnéticos radiados, y en particular de los de alta frecuencia, han crecido de manera espectacular. Concretamente, el siglo pasado ha sido el que ha visto el mayor desarrollo en las aplicaciones del electromagnetismo, favorecido principalmente por las aplicaciones militares y de defensa. Durante la segunda guerra mundial se realizaron grandes inversiones para desarrollar la tecnología armamentística y estratégica. Uno de los resultados de este desarrollo de aplicaciones fue el radar (una técnica en la que se envía un pulso de energía de microondas y se obtiene información de los objetos a partir de las ondas reflejadas) y otras formas de sistemas de telecomunicación y de localización que fueron utilizados por el ejército y la marina de los Estados Unidos de América. También la Unión Soviética tuvo su protagonismo en esta carrera armamentística, durante la época de la guerra fría. En ella se desarrollaron los llamados “misiles electromagnéticos”, pulsos electromagnéticos de muy alta potencia cuya utilidad se aplicó a la destrucción de sistemas electrónicos enemigos[7].

Entre algunas aplicaciones más modernas, y ya no de uso estrictamente militar, encontramos la telemetría, una forma de comunicación en la que se transmite información mediante microondas a la tierra, utilizada en meteorología y otros campos. También existen aplicaciones del radar con fines comerciales y civiles en aeropuertos y carreteras para el control del tráfico y en comunicaciones por

satélite.

Las utilidades industriales que se le han dado a las microondas han sido muy diversas: calentamiento (hornos microondas), secado, esterilización y desinfección de materiales, por ejemplo: destrucción de la carcoma en la madera, etc. También los usos en medicina han demostrado su eficacia en la detección y eliminación de tumoraciones [8].

Hasta hace muy poco tiempo se hacía referencia a la energía eléctrica o incluso a las ondas electromagnéticas como una *energía limpia* y no contaminante [9]. A pesar de ello, podríamos decir que cualquier producto de la actividad tecnológica genera una serie de deshechos, que no son útiles, y cuya acumulación es lo que llamamos “contaminación”.

A partir de los años 60 se empezó a tener mayor conciencia del daño importante que, desde hacía largo tiempo y en diversos sentidos, se estaba causando al medio ambiente. En particular, empezaron a proliferar los estudios científicos para valorar el alcance y la repercusión del deterioro ambiental; al mismo tiempo, se fueron desarrollando los medios más adecuados para corregir los efectos más negativos de la degradación del medio ambiente promulgación de leyes y normativas, puesta a punto de nuevas técnicas de control ambiental, campañas de concienciación ciudadanas.

Una parcela muy importante de este campo de investigación se refiere al estudio de los efectos de los distintos tipos de contaminantes sobre la salud humana. En el llamado “modelo ecológico” en el cual se considera la salud como “un estado de equilibrio entre la persona y el entorno físico y social en el que vive”, ésta se interpreta también como una variable dependiente influida fundamentalmente por cuatro factores o determinantes: factores biológicos o endógenos, factores ligados al entorno y al medio ambiente, factores relacionados con el estilo de vida y factores relacionados con el sistema sanitario. Concretamente, en los países

desarrollados se considera que los factores ambientales determinan hasta casi en un 20 % el nivel de salud de una población, por otro lado es importante decir que entre un 75-80 % de las carcinogénesis en humanos se deben a la acción del medio ambiente [10], [11], 30-40 % debidos a los hábitos alimenticios y 35-50 % debidos a las toxinas presentes en el entorno. Desgraciadamente, la inversión de recursos específicos destinados a mejorar la salud (básicamente en medicina preventiva) no suele reflejar esta incidencia.

Pese que han habido diversos intentos por estudiar los posibles efectos de la radiación no ionizante sobre la salud humana [12], los resultados no han iluminado el camino de la “gran ciencia”, bien porque la dificultad que entraña el problema es alta y los medios de los que disponemos escasos, por lo que se teme por la eliminación del generador de 150 años de rápida evolución científico-tecnológica: la electricidad, bien porque en muchos casos los intereses de las compañías, bien eléctricas o de telefonía móvil, han sido superpuestos a los de la salud pública.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) comenzó en 1996 un proyecto llamado EMF [13], coordinado por el profesor Dr. Michael H. Repacholi dirigido al estudio de los efectos biológicos de los campos electromagnéticos, entre ellos los campos electromagnéticos de baja frecuencia (los de la red eléctrica) y los campos electromagnéticos de microondas (los de la telefonía móvil y aplicaciones de radiodifusión). La O.M.S. se dió un plazo de 10 años para emitir un dictamen definitivo sobre la nocividad de los campos electromagnéticos. Son muchos los estudios médicos que hasta el momento han analizado los posibles efectos biológicos producidos por este subproducto de la tecnología moderna y en estos términos es como se manifiesta esta institución<sup>2</sup>. En todos ellos, formando parte de las

---

<sup>2</sup>La OMS en la actualización de su página WEB de febrero de 2002, reconoce el dictamen del IARC (*International Association of the Research of Cancer*) realizado en setiembre de 2001 que, en base a los estudios aportados, califica los campos electromagnéticos de baja frecuencia ( $f < 100$  kHz) como *posible* elemento cancerígeno y aporta bastante información sobre estudios

conclusiones, siempre se reclama la necesidad de realizar más investigaciones para confirmar sus resultados, siendo muy conservadores en sus discusiones sobre los resultados encontrados sobre efectos de los campos electromagnéticos en la salud de las personas.

El objetivo de este trabajo no es desacreditar un negocio empresarial, ya de por sí sobresaliente como lo es el de las comunicaciones móviles e inalámbricas, si no intentar dar información objetiva acerca de los niveles de radiación electromagnética de microondas que hay en las calles y viviendas de varias ciudades de la Comunidad Valenciana. Para ello se han elaborado unos procedimientos de medida, con sus equipos respectivos, para valorar niveles de radiación con su variabilidad espacial y temporal. También se ha analizado la respuesta subjetiva de los residentes ante estos niveles de radiación, asociados a las estaciones base de telefonía móvil. Se ha intentado discernir su impacto social, para comprobar si existe una justificación estadística a sus quejas, es decir, verificar o refutar el llamado “síndrome de microondas” o “enfermedad de las radiofrecuencias”.

Esta nueva “polución electromagnética” se considera un elemento contaminante adicional, y se suma a todos los existentes anteriormente en los núcleos urbanos, como es el caso de la contaminación acústica, lumínica, química, etc. Para erradicar estos problemas se hacen necesarias medidas de minimización y control. Desde el aspecto legislativo, algunos modelos de ordenanzas reguladoras, hasta el momento promulgadas, consideran a estas fuentes como actividades calificadas y contemplan la presencia de seguros de responsabilidad civil para las estaciones base de telefonía móvil (BS) ante la aparición de posibles efectos sobre la salud. Esta medida no establece un criterio evaluativo en relación a las leyes del mercado, pero sí que grava -al menos de manera simbólica- una “posible” actividad

---

sobre efectos de los EMF sobre la salud, en proyecto o publicados, a diversos intervalos de frecuencia. En nuestro caso nos interesan los estudios en el intervalo entre 3 MHz y 3000 MHz.

contaminante [14].

Es fundamental la existencia de una legislación adecuada (normativas, ordenanzas, ...), unificada y racional, que aporte los mecanismos técnicos necesarios para el control de esta regulación -en Alemania vienen realizándose campañas de medidas desde 1996 [15]-. En España, se ha comenzado su control en febrero de 2002 obligando así la adaptación antes del 30 de junio de 2002[16]. En última instancia, el desarrollo de esta legislación sólo será posible si existe un nivel de conciencia social suficientemente sensibilizada por parte de los legisladores, los generadores del problema, en este caso las operadoras de telefonía móvil y de todos los colectivos implicados sobre el alcance de este tema y sus implicaciones.

## Organización de la tesis

En el primer capítulo expone algunas de las bases teóricas sobre los mecanismos que permiten la interacción de las ondas electromagnéticas y la materia. Cuando esta interacción se realiza sobre materia viva, la absorción de esta radiación por parte del cuerpo pone en marcha mecanismos que esbozaremos en el capítulo cuatro.

En el segundo capítulo hace una exposición de los mecanismos técnicos en los que se basa la operación de los sistemas de telefonía celular digital: el funcionamiento de las Estaciones Base (BS) y los terminales móviles o teléfonos móviles. Aparte de un breve resumen de las especificaciones de los sistemas con los que opera la tecnología de los actuales móviles, la descripción contempla tres fases que comprende tres puntos de vista. En primer lugar estudiamos el acceso múltiple y las técnicas de reutilización del espectro. Desde el punto de vista de la codificación estudiamos la modulación con la que la señal es emitida en estos sistemas



celulares de diferentes antenas comerciales utilizadas. Por último, desde el punto de vista del medio, se analizan los fenómenos de propagación de las ondas electromagnéticas en el aire y que permiten la cobertura.

En el tercer capítulo recopila parte del trabajo publicado por distintos investigadores biomédicos, y extraemos y comentamos resultados y conjeturas acerca de los mecanismos biofísicos a través de los cuales las ondas electromagnéticas intervienen en los procesos biológicos.

En el cuarto capítulo expone la metodología que se ha utilizado para la medida del campo electromagnético ambiental asociado a los sistemas de telefonía. En él, describimos los equipos utilizados y el protocolo que hemos desarrollado para la descripción del paisaje electromagnético tanto en banda ancha como en banda estrecha. También haremos una descripción estadística de alguna de las campañas de medidas en diversas poblaciones de la Comunidad Valenciana.

En el quinto capítulo presenta el estudio realizado para analizar la respuesta subjetiva de los residentes. Se ha partido de un cuestionario desarrollado por el profesor Dr. Roger Santini del CNRS de Lyon, en una versión adaptada por el Dr. Claudio Gómez-Perretta del Centro de Investigación del Hospital la Fé de València y modificado con vistas a un análisis multivariante (análisis factorial).

En esta parte hemos querido investigar, en primera aproximación, la relación entre la "contaminación" por campos electromagnéticos de microondas, asociados a la radiación de las estaciones base de telefonía móvil celular (GSM-DCS), y diferentes parámetros de salud a nivel de respuesta subjetiva. Como sucede frecuentemente en este tipo de estudios, a causa de la enorme cantidad de factores interferentes (cuyo control estricto es a veces imposible) y la gran variabilidad individual entre los sujetos que entran a formar parte de la investigación, en muchos aspectos es complicado establecer un modelo definitivo entre las variables

consideradas; sin embargo, si que se han puesto de manifiesto algunos hechos interesantes y estadísticamente significativos que, en nuestra opinión, constituyen un marco de referencia “muy valioso” para futuras investigaciones en este campo de trabajo. En cualquier caso, la importancia de los datos obtenidos debe ser valorada teniendo en cuenta que estudios como este, acerca de la respuesta de los residentes ante la exposición por campos electromagnéticos de microondas son escasos en todo el mundo e inexistentes en nuestro país. Fundamentalmente, se explora la manifestación de molestia subjetiva y la posible existencia de toda una serie de problemas concretos de salud física o psicofísica en las personas residentes en zonas con distintos niveles de radiación, y toda una serie de parámetros que pueden orientarnos acerca de cual es la respuesta más generalizada ante la exposición a campos electromagnéticos de microondas en comunidades urbanas. El propósito es analizar la posible existencia de algún tipo de relación de causalidad, estadísticamente significativa, entre los niveles de radiación entre los que se desenvuelven, y la existencia de determinadas alteraciones en la salud de los residentes, a través de su respuesta subjetiva.





## Capítulo 1

# Fundamentos físicos y propiedades de las ondas electromagnéticas. Interacción con la materia

En este primer capítulo se presentan las bases teóricas de los fundamentos físicos que sustentan la propagación de las ondas electromagnéticas y la interacción de estas con la materia. También se analizará, teóricamente, algunas propiedades que la caracterizan justificando así, en esta tesis, que existen mecanismos físicos de interacción con la materia viva, a nivel molecular.

### 1.1 Física de la radiación de ondas electromagnéticas. Principios físicos para las comunicaciones móviles. El espectro electromagnético.

Las primeras manifestaciones de los fenómenos eléctricos y magnéticos se observaron por medio de las fuerzas que actuaban sobre cargas y corrientes. Esta

representación fue substituida por el concepto de campo, ya que aquellas no permitían estudiar de una manera sencilla los fenómenos de propagación y radiación de las ondas. Este nuevo concepto, el campo, revolucionó la concepción de la física y permitió que Maxwell formulara su “electrodinámica”. Un campo se pone de manifiesto en un punto, o se mide, poniendo cargas y corrientes de prueba y observando las fuerzas ejercidas sobre ellas.

Las ecuaciones de Maxwell relacionan los campos eléctricos y magnéticos con las cargas y corrientes que los crean. La solución general de estas ecuaciones, en el caso que los campos sean variables en el tiempo, es en forma de ondas, que pueden estar ligadas a la estructura, como en el caso de las líneas de transmisión o las guías de ondas, o libres en el espacio, como ocurre con las ondas radiadas[17]. Así mismo, atendiendo a la naturaleza de la dualidad onda-corpúsculo, la radiación electromagnética puede ser descripta en términos de un conjunto de paquetes de energía o *cuantos* que viajan a la velocidad de la luz (teoría cuántica).

El espectro electromagnético puede ser descrito en términos de la longitud de onda o frecuencia, que se encuentran relacionados por la ecuación  $\lambda \cdot f = c$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación,  $f$  es la frecuencia, y  $c$  es la velocidad de la luz,  $c=299792458$  m/s. Teniendo en cuenta la teoría cuántica la energía está distribuida en estados energéticos discretos en los que  $E = h \cdot f$ , donde  $h$  es la constante de Planck,  $h = 6,626 \cdot 10^{-27}$  erg/s. La abreviatura erg/s representa ergios por segundo, es una unidad de potencia equivalente a  $10^{-7}$  Watts.

El espectro electromagnético se extiende desde la electricidad estática a 0 Hz (producida residualmente en aparatos eléctricos con alimentación continua o en zonas en las que se crean campos electrostáticos) hasta las radiaciones ionizantes<sup>1</sup> a varios cientos de THz.

---

<sup>1</sup>Las radiaciones ionizantes son aquellas que tienen energía suficiente como para ionizar los átomos

Tabla 1.1: Denominación de las bandas del espectro electromagnético.

BANDA	FRECUENCIA	LONG. DE ONDA	DENOMINACIÓN
ELF	< 3 kHz	> 100 km	Extremely Low Frequency
VLF	3-30 kHz	100-10 km	Very Low Frequency
LF	30-300 kHz	10-1 km	Low Frequency
MF	0.3-3 MHz	1000-100 m	Medium Frequency
HF	3-30 MHz	100-10 m	High Frequency
VHF	30-300 MHz	10-1 m	Very High Frequency
UHF	0.3-3 GHz	100-10 cm	Ultra High Frequency
SHF	3-30 GHz	10-1 cm	Super High Frequency
EHF	30-300 GHz	10-1 mm	Extremely High Frequency
-	300-800 GHz	1-0.4 mm	Submillimetric Region
IR	0.8-400 THz	0.4mm-0.8 $\mu\text{m}$	Infrared (IR)
V	400-750 THz	0.8-0.4 $\mu\text{m}$	Visible
UV	750-10000 THz	400-12 nm	Ultraviolet (UV)

Según la banda de frecuencia, los organismos internacionales de normalización (ISO, ANSI, CENELEC, ...) les asignan un nombre. (tabla 1.1).

El cambio en energía potencial que experimenta un electrón moviéndose desde un lugar donde el potencial eléctrico es de  $V$  voltios, a otro donde el potencial es de  $(V + 1)$  voltios se llama electronvoltio (eV). Óbviamente es una medida conveniente de energía cuando se trabaja con movimiento de electrones y de iones en campos eléctricos, y también se utiliza para describir la energía de los rayos X y gamma, que son radiaciones ionizantes.

En el vacío, el valor de las características dieléctricas propias del medio (permitividad magnética y permitividad eléctrica) es:  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  H/m y  $\epsilon_0 = 8.8543 \cdot 10^{-12}$  F/m (en unidades del S.I.).

Las fuentes del campo electromagnético han de ser cargas ( $q = \int_V \rho dV$ , donde  $q$  es la carga y  $\rho$  la densidad de carga en el volumen  $V$ ) y corrientes ( $\vec{J}$ ) o sus respectivas distribuciones (lineales, superficiales o espaciales). Estas fuentes

están relacionadas con los campos mediante las ecuaciones de Maxwell que vienen expresadas, en general, de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{D} &= \rho \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\end{aligned}\tag{1.1.1}$$

donde  $\vec{E}$  y  $\vec{H}$  son los campos eléctrico y magnético respectivamente,  $\vec{B}$  es la intensidad de campo magnético que es directamente proporcional a  $\vec{H}$  y  $\vec{D}$  el desplazamiento eléctrico que en un medio lineal es proporcional a  $\vec{E}$  en medios lineales homogéneos e isotrópicos.

La conductividad dieléctrica ( $\sigma$ ) es una magnitud que depende de las pérdidas óhmicas en el medio de transmisión. La conductividad se relaciona con densidad de corriente mediante la expresión:  $\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$ .

Lejos de las fuentes del campo electromagnético, variables en el tiempo, ( $\vec{J}$  y  $\rho$ ) y de forma local podemos utilizar la aproximación de onda plana. Esta aproximación permite expresar las amplitudes de los campos eléctrico en función del magnético, relacionándolos a través de la impedancia del medio. Por ejemplo, en el caso del aire  $Z = E/H = 120\pi \simeq 377\Omega$ .

La densidad de potencia asociada al campo electromagnético que fluye en un punto del espacio viene dada por el vector de Poynting en dicho punto:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad [ \text{W/m}^2 ]\tag{1.1.2}$$

La potencia que atravesaría una hipotética área  $A$  se obtendría integrando el vector de Poynting sobre dicha área.

Con la hipótesis de onda plana, el vector de Poynting se puede relacionar con el campo eléctrico de la siguiente manera:

$$S = \frac{E^2}{377} \quad [ \text{W/m}^2 ]\tag{1.1.3}$$

o con el magnético mediante:

$$S = 377 \cdot H^2 \quad [ \text{W/m}^2 ] \quad (1.1.4)$$

donde  $H$  es la intensidad del campo magnético en A/m (amperios/metro) y que, como ya hemos mencionado, está relacionado con la densidad de flujo magnético ( $B$ ) mediante:

$$B = \mu H \quad [\text{Tesla}]$$

donde  $\mu$  es la permeabilidad magnética,  $\mu = \mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \text{H/m}$  (H=Henry).

La zona de campo lejano o de campos radiados viene definida por una distancia mínima a la fuente emisora que es  $2D^2/\lambda$ , siendo  $D$  la dimensión máxima del elemento radiante y  $\lambda$  la longitud de onda de la radiación en esa zona. El flujo de energía decrece con una ley cuadrática en función de la distancia  $r$  a la fuente de radiación de manera que:

$$S(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{4\pi r^2} \quad (1.1.5)$$

donde  $P(\theta, \phi)$  es la potencia total radiada en la dirección  $(\theta, \phi)$  y  $r$  es la distancia desde la fuente emisora.

Por lo tanto, la densidad de potencia decrece rápidamente a medida que crece la distancia a la fuente radiante (figura 1.1). Cada vez que doblamos la distancia, la densidad de potencia se reduce cuatro veces.

Para una fuente de radiación isotrópica, aquella que radia con la misma intensidad en todas las direcciones (antena isotrópica), el nivel de densidad de potencia radiada por la fuente puede ser calculado teóricamente a partir de la ecuación  $S = P/4\pi r^2$ .

## 1.2 Propagación de ondas electromagnéticas

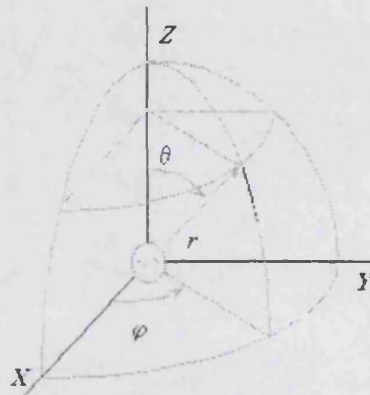


Figura 1.1: Representación de una fuente radiando en la dirección  $(\theta, \phi)$ .

### 1.2.1 Propagación en el vacío

La solución de las ecuaciones de Maxwell, con sus respectivas condiciones de contorno, nos proporciona la descripción de las ondas electromagnéticas. Si consideramos la propagación de estas soluciones en un medio lineal<sup>2</sup>, este tiene unas características dieléctricas determinadas dadas por:  $\mu$  la permitividad magnética del medio,  $\sigma$  conductividad del medio y  $\epsilon$  permitividad eléctrica<sup>3</sup>.

Si consideramos el caso de la propagación en un medio no conductor (en el que  $\sigma = 0$ ) y sin distribuciones de carga ( $\rho = 0$ ) ni corriente ( $\vec{J} = 0$ ). Entonces las ecuaciones de Maxwell resultan:

$$\begin{aligned}
 \nabla \cdot \vec{D} &= 0 \\
 \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\
 \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\
 \nabla \times \vec{H} &= \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}
 \end{aligned}
 \tag{1.2.1}$$

<sup>2</sup>Si el medio es lineal y sin dispersión, entonces se cumple que  $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$  y  $\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B}$ . Si es isótropo  $\epsilon$  y  $\mu$  serán escalares.

<sup>3</sup>En el caso del aire,  $\epsilon = \epsilon_0$ . Si consideramos otro medio diferente,  $\epsilon = \epsilon_{rel} \cdot \epsilon_0$ .

donde  $\vec{D}$  es el desplazamiento eléctrico y tiene como fuente la distribución de cargas eléctricas (aquí  $\rho = 0$ ).

Si buscamos la solución más sencilla a esas ecuaciones obtenemos las ondas planas<sup>4</sup> cuya expresión de los campos es [18]:

$$\begin{aligned}\vec{E}(\vec{r}, t) &= \vec{E} e^{-j(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})} \\ \vec{B}(\vec{r}, t) &= \vec{B} e^{-j(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})}\end{aligned}\quad (1.2.2)$$

donde  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  son las amplitudes vectoriales constantes complejas de los campos.

La sustitución en las ecuaciones de Maxwell conduce a:

$$\begin{aligned}\vec{k} \cdot \vec{D} &= 0 \\ \vec{k} \cdot \vec{B} &= 0 \\ \vec{k} \times \vec{E} &= \omega \vec{B} \\ \vec{k} \times \vec{H} &= -\omega \vec{D}\end{aligned}\quad (1.2.3)$$

Si consideramos que estamos en un medio homogéneo e isótropo, entonces  $\epsilon$  y  $\mu$  son escalares constantes. Como hemos considerado un medio lineal, las ecuaciones de Maxwell resultan:

$$\begin{aligned}\epsilon_{rel} \vec{k} \cdot \vec{E} &= 0 \\ \vec{k} \cdot \vec{B} &= 0 \\ \vec{k} \times \vec{E} &= \omega \vec{B} \\ \vec{k} \times \vec{B} &= -\frac{\omega}{c^2} \epsilon_{rel} \vec{E}\end{aligned}\quad (1.2.4)$$

Como  $\epsilon_r$  y  $\omega$  son reales (y en general diferentes de cero), las ecuaciones

$$\vec{k} \cdot \vec{E} = 0 = \vec{k} \cdot \vec{B}$$

significan que la onda tiene sus vectores campo perpendiculares a la dirección de propagación  $\vec{k}$ .

<sup>4</sup>Esto se dará siempre que  $r \gg \lambda$



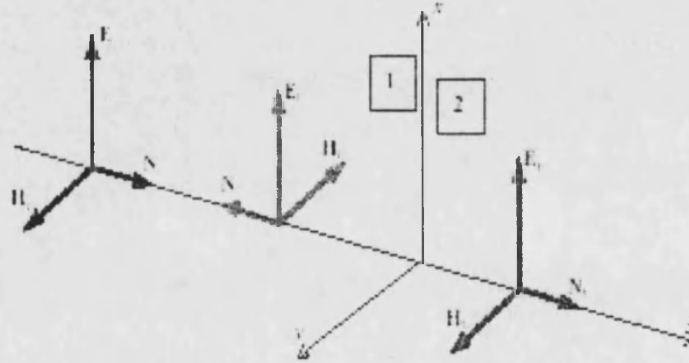


Figura 1.2: Visualización de la perpendicularidad de los campos  $\vec{E}$  y  $\vec{H}$  a la dirección de propagación.

A partir de  $\vec{k} \times \vec{E} = \omega \vec{B}$  podemos decir que  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  son perpendiculares, lo que significa que  $\vec{E} \cdot \vec{B} = 0$  (figura 1.2).

Además, a partir de estas ecuaciones se puede obtener la relación de dispersión transversal, que tiene la forma

$$k = \sqrt{\epsilon_r} \omega / c \quad (1.2.5)$$

donde  $k$  es la magnitud del vector de onda,  $\omega$  la frecuencia monocromática de la onda y  $c$  la velocidad de la onda electromagnética (EM) en el medio.

Como anteriormente hemos hecho, podemos definir la impedancia de la onda electromagnética en el medio como:

$$Z = \frac{E}{H} = \frac{E}{\frac{1}{\mu} B} = \mu \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

que en el vacío ( $\epsilon_{rel} = 1$ ,  $\mu = \mu_0$  y  $c^2 = 1/(\mu_0 \epsilon_0)$ ) resulta a partir de las expresiones de :

$$Z = \frac{E}{H} = \mu_0 \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \simeq 377\Omega \quad (1.2.6)$$

### 1.2.2 Propagación en un medio material con pérdidas

En un medio material con pérdidas podemos tener una cierta conductividad ( $\sigma \neq 0$ ), lo cual genera una densidad de corriente en respuesta al campo  $\vec{E}$  ( $\vec{J} = \sigma \vec{E}$ ). Las ecuaciones de Maxwell resultan:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{D} &= 0 \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{H} &= \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \sigma \vec{E}\end{aligned}\tag{1.2.7}$$

donde hemos considerado la misma condición que antes ( $\rho = 0$ ), aunque en general pueden existir fuentes de desplazamiento eléctrico ( $\vec{D}$ ).

A partir de la última ecuación y considerando ondas planas, como antes, obtenemos:

$$\vec{k} \times \vec{H} = -\omega \vec{D} - j\sigma \vec{E}\tag{1.2.8}$$

En esta ocasión, considerando un medio lineal, se obtiene la relación:

$$\vec{k} \times \vec{B} = -\frac{\omega}{c^2} \left( \epsilon_r + j \frac{\sigma}{\epsilon_0 \omega} \right) \vec{E}$$

lo cual permite definir una constante dieléctrica compleja como:

$$\hat{\epsilon} = \epsilon_r + j \frac{\sigma}{\epsilon_0 \omega}\tag{1.2.9}$$

Se puede definir el índice de refracción complejo como  $\hat{n}^2 = \hat{\epsilon}$  y así puede separarse este índice en parte real e imaginaria, como:

$$\hat{n} = n + jk$$

donde  $n$  y  $k$  se llaman constantes ópticas, para investigar la velocidad de fase y la longitud de atenuación de la onda.

Por otra parte, la onda plana se propaga en la dirección de  $\vec{k}_r = \text{Re}(\vec{\hat{k}})$ , con longitud de onda  $\lambda = 2\pi/k_r$ . Los planos perpendiculares a la dirección de propagación  $\vec{k}_r$  son superficies de fase constante, mientras que los perpendiculares a  $\vec{k}_i$  son superficies de amplitud constante. El escalar  $\hat{k}$  de la expresión (1.2.5) con  $\hat{\epsilon}$  es

$$\hat{k} = \sqrt{\vec{\hat{k}} \cdot \vec{\hat{k}}} = \sqrt{k_r^2 - k_i^2 + 2j\vec{k}_r \cdot \vec{k}_i}$$

Supongamos que  $\vec{k}_r$  y  $\vec{k}_i$  tienen la misma dirección (suposición válida en casos de incidencia normal), entonces:

$$\vec{\hat{k}} = (k_r + jk_i)\vec{u} = \hat{k}\vec{u}$$

donde  $\vec{u}$  es el vector unitario real en la dirección común.

Teniendo en cuenta (1.2.5) y (1.2.3) podemos escribir:

$$\vec{\hat{B}} = \frac{\hat{n}}{c}\vec{u} \times \vec{\hat{E}} \quad (1.2.10)$$

donde el complejo  $\hat{n}$  indica que  $\vec{\hat{E}}$  y  $\vec{\hat{B}}$  no están en fase entre sí.

A partir de la expresión de  $\hat{n}$  y de  $\hat{k}$  podemos obtener los valores para la parte real e imaginaria del vector  $\hat{k}$ , como

$$\begin{aligned} k_r &= n \frac{\omega}{c} \\ k_i &= k \frac{\omega}{c} \end{aligned} \quad (1.2.11)$$

Análogamente al caso sin pérdidas, se define la impedancia de la onda electromagnética en el medio como:

$$\hat{Z} = \frac{\vec{\hat{E}}}{\vec{\hat{H}}} = \frac{\hat{E}}{\frac{1}{\mu}\hat{B}} = \mu \frac{c}{\hat{n}}$$

donde  $c$  es la velocidad de la onda electromagnética en el medio con pérdidas,  $\mu$  la permeabilidad magnética del medio y  $\hat{n}$  el índice de refracción complejo.

Podemos expresar la impedancia compleja como:  $\hat{Z} = Z_r + jZ_i$ , así se puede obtener

$$\begin{aligned} Z_r &= \mu c \frac{n}{n^2 - k^2} \\ Z_i &= -\mu c \frac{k}{n^2 - k^2} \end{aligned} \quad (1.2.12)$$

Si en la expresión de los campos E y B representamos  $\vec{u} \cdot \vec{r} = \xi$ , entonces, en caso de un medio conductor, resulta:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = (\vec{E} e^{-k\omega\xi/c}) e^{-j\omega(t-n\xi/c)} \quad (1.2.13)$$

La onda se propaga con una velocidad de fase  $c/n$  y una constante de atenuación  $k\omega/c$ . Esta constante determina la velocidad de caída de la amplitud del campo oscilante con la distancia. Podemos definir el recíproco de esta cantidad, que llamamos *profundidad de penetración*, de la siguiente manera:

$$\delta = \frac{c}{k\omega} \quad (1.2.14)$$

y mide la distancia dentro de la cual decae el campo a  $1/e$  de su valor respecto de un punto dado. Como la longitud de onda en el medio es  $\lambda = \frac{2\pi c}{n\omega}$ , podemos escribir la profundidad de penetración como:

$$\delta = \frac{n}{k} \frac{\lambda}{2\pi} \quad (1.2.15)$$

En un material donde  $k \sim n$ , la onda decae casi en una longitud de onda (comportándose como un conductor), pero si  $k \ll n$ , como en un dieléctrico imperfecto de conductividad pequeña, la onda se propaga en muchas longitudes de onda sin pérdida apreciable (este es el caso de materiales semiconductores que se comportan de forma cuasi-transparente a la acción de las ondas electromagnéticas).

### 1.3 Mecanismos físicos de interacción electromagnética con sistemas biológicos

Los mecanismos físicos de interacción son los que permiten y controlan la interacción de los campos electromagnéticos radiados con sistemas biológicos. Esta interacción ocurre primeramente a nivel microscópico mediante la acción de los campos radiados sobre la materia creando fuerzas y momentos sobre partículas cargadas (iones y electrones) y sobre los dipolos eléctricos de las moléculas del medio biológico.

La acción de una onda electromagnética sobre una carga  $q$  genera la fuerza de Lorentz cuya expresión es:

$$\vec{F} = q \cdot [\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}]$$

donde  $\vec{v}$  es la velocidad de la carga.

Si consideramos la onda electromagnética que actúa sobre los dipolos eléctricos, se genera un momento de torsión  $\vec{T}_e = \vec{p}_e \times \vec{E}$  donde  $\vec{p}_e = q \cdot \vec{d}$  y  $\vec{d}$  es la separación entre las partículas del dipolo. Este momento de torsión tiende a alinear el dipolo en la dirección del campo aplicado. De igual manera pasa con el campo magnético de la onda electromagnética.

Finalmente, un campo eléctrico no uniforme genera una fuerza sobre el dipolo eléctrico dado por:

$$\vec{F}_d = \vec{\nabla}(\vec{p}_e \cdot \vec{E})_{\theta=cte.}$$

donde  $\theta$  es el ángulo entre el momento dipolar y la dirección del campo eléctrico del dipolo (esta fuerza existe sólo si  $\vec{E}$  es no uniforme).

Se pueden estudiar los efectos de esta interacción desde dos puntos de vista: el “térmico” y el “no térmico”. Desde el punto de vista “térmico”, la caracterización macroscópica de las propiedades dispersivas del material ( $\rho$ ,  $\sigma$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon$ ) permite

la determinación de las relaciones constitutivas y del estudio de la interacción usando las ecuaciones de Maxwell. Respecto al punto de vista “no térmico”, el problema es mucho más complejo, por lo que no hay un profundo conocimiento sobre los mecanismos físicos de transducción que actúan en presencia de campos electromagnéticos débiles [19].

### 1.3.1 Efectos térmicos

El estudio de los efectos térmicos necesita de una caracterización macroscópica de los procesos de interacción involucrados. Las relaciones entre la interacción a nivel microscópico y el modelo macroscópico se pueden obtener considerando las propiedades sobre el promedio de las partículas contenidas en una unidad de volumen del medio. Esta hipótesis nos permite obtener las relaciones constitutivas para el medio examinado y, como consecuencia, definir los vectores  $\vec{D}$  desplazamiento eléctrico,  $\vec{H}$  campo magnético y densidad de corriente  $\vec{J}$  a partir de  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$ .

Los parámetros eléctricos que se utilizan en la caracterización macroscópica de la interacción son la permitividad relativa  $\epsilon_r = \epsilon' - j\epsilon''$ , la cual en un dieléctrico, como cualquier tejido biológico, depende de la frecuencia y la temperatura, y la permeabilidad relativa que normalmente vale 1, ya que  $\mu = \mu_0$  (si no hay medios magnéticos).

Utilizando el modelo de Drude-Lorentz podemos estudiar lo que pasa a nivel microscópico. Este modelo considera el átomo como un oscilador armónico amortiguado, en el que el núcleo tiene carga  $+q$  y la capa de electrones que lo rodea tiene carga  $-q$ , en presencia de un campo perturbador, cuyo módulo es  $E(t)$ , que desplaza el núcleo un  $x(t)$  determinado produciéndose un movimiento oscilatorio. Si  $m$  es la masa de la nube de electrones, la ecuación dinámica del movimiento producido por la perturbación aplicada resulta:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{qE(t)}{m} \quad (1.3.1)$$

donde  $\gamma$  es la constante de amortiguamiento y  $\omega_0$  es la frecuencia natural del oscilador no amortiguado.

Como consecuencia del desplazamiento de carga, aparece un momento dipolar a nivel microscópico en la misma dirección que el campo aplicado de la forma:

$$p_e = q \cdot x(t)$$

A nivel macroscópico, tenemos una colección de  $N$  átomos por unidad de volumen con un desplazamiento de carga similar al anterior, por lo que se define la polarización dieléctrica macroscópica  $P$  como:

$$P = N \cdot p_e = N q \cdot x(t)$$

Podemos redefinir la ecuación (1.3.1) multiplicándola por  $N q$  y así obtenemos la ecuación de la polarización macroscópica.

$$\frac{d^2P}{dt^2} + \gamma \frac{dP}{dt} + \omega_0^2 P = \frac{Nq^2 E(t)}{m} \quad (1.3.2)$$

Si el campo perturbador aplicado es de tipo armónico ( $E = E_m e^{j\omega t}$ )<sup>5</sup>, entonces la solución de la ecuación (1.3.2) en el dominio de la frecuencia permite definir la relación de dispersión de la permitividad compleja como:

$$\varepsilon_r(\omega) = \varepsilon' - j\varepsilon'' = 1 + \frac{Nq^2}{m\varepsilon_0} \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2 + j\omega\gamma)} \quad (1.3.3)$$

<sup>5</sup> Aquí podemos tomar como  $E_m = E_0 + \frac{\nu}{\varepsilon_0} P$ , donde la polarización se relaciona con el campo eléctrico mediante la susceptibilidad magnética, es decir  $P = \chi E$

En el dominio temporal, la respuesta al campo eléctrico, en  $t=0$ , vendrá dada por:

$$P(t) = \frac{Nq^2E}{m\omega_0^2} \left( 1 + \frac{p_2}{p_1 - p_2} e^{p_1 t} + \frac{p_1}{p_1 - p_2} e^{p_2 t} \right)$$

donde  $p_1$  y  $p_2$  son las raíces de la ecuación característica de la ecuación (1.3.2).

### 1.3.2 Efectos no térmicos

En la literatura biomédica se consideran efectos no térmicos aquellos a los que no se observa una variación medible de la temperatura.

En numerosas revisiones de la literatura científica sobre efectos no térmicos de interacción de ondas electromagnéticas sobre la materia viva [20], se han observado a distintos niveles de interacción según la complejidad biológica en experimentos *in vivo* e *in vitro*.

Los profesores P. Bernardi y G. d'Inzeo [19] de *La Sapienza* de Roma han estudiado profundamente esta bibliografía. Según ellos, la principal conclusión que se puede extraer es que la célula es el foco primario de interacción. La mayoría de las hipótesis que se hacen en la bibliografía se refieren a alteraciones del comportamiento celular en términos de cambios en su estructura, en su respuesta a estímulos físicos o químicos o a su capacidad de crecimiento.

Los sistemas biológicos son más complejos, pero compuestos por sistemas celulares, por lo que ellos proponen una división de los mecanismos que fundamentan los efectos no térmicos en tres categorías principales según el tipo de proceso que involucre:

- a) Interacciones resonantes.
- b) Interacciones no lineales.
- c) Interacciones cooperativas de campos eléctricos y magnéticos.



### Interacciones resonantes

El campo electromagnético puede modificar la actividad espontánea de un fenómeno resonante llevándola a otro estado de oscilación diferente, también puede ocurrir que el campo se acople con un sistema a la frecuencia de resonancia y transferirle su energía a este proceso oscilatorio.

H. Frohlich [21] propone una teoría sobre la interacción resonante no lineal. En ella considera tres tipos de interacción:

- a) Excitaciones coherentes de vibraciones características de membrana en el rango de 100-300 GHz.
- b) Excitaciones de estados polares metaestables presentes en reacciones biológicas.
- c) Alteraciones de procesos biológicos autoscilantes inducidos por los dos tipos de procesos anteriores.

Esta teoría se basa en la hipótesis de que un sistema biológico está compuesto, como una célula, de moléculas polares y proteínas que auto-oscilan a una frecuencia característica como consecuencia de una situación metabólica (por ejemplo, durante la duplicación) podría ser estimulado por un campo aplicado. Este campo electromagnético aplicado puede comportarse como un disparador selectivo que suministra una pequeña cantidad de energía necesaria para iniciar una modificación biológica.

Se han propuesto otras teorías basadas en interacciones resonantes para explicar las alteraciones de voltaje transmembranar debido a la exposición a microondas [22] y justificar efectos genéticos producidos por absorción de radiofrecuencia y microondas (RF/MW) [23].

**Interacciones no lineales**

Para justificar diversos efectos no térmicos a nivel celular se han propuesto modelos de procesos de interacción no lineal en exposición a campos modulados o continuos [24], [25]. Los principales efectos son: la alteración del voltaje transmembrana, la alteración de la conductancia de la membrana, alteración y sincronización de la actividad excitadora en las neuronas y marcapasos.

También, como una aplicación de interacciones no lineales, pueden ser justificadas ciertas alteraciones de la actividad excitadora de neuronas aisladas expuestas a campos electromagnéticos de microondas por la existencia de un mecanismo rectificador dentro o alrededor de la membrana que puede crear una corriente de baja frecuencia, la cual al fluir a través de la membrana modifique su actividad excitadora[19], así como su capacidad, de manera no lineal.

Adey y Laurence propusieron otro mecanismo de interacción basado en no linealidades para explicar el flujo electromagnético inducido de  $Ca^{++}$  en células cerebrales en respuesta a diferentes tipos de excitación [21]. Según las hipótesis de W.R. Adey, los dipolos externos a la membrana se organizan en dominios agrupados y orientados en una dirección común alrededor de la parte saliente de las proteínas que cubren la membrana. El campo electromagnético aplicado actúa sobre la membrana celular interactúa con las cabezas dipolares salientes que causan un efecto cooperativo de dominó, el cual modifica los dominios y los enlaces de  $Ca^{++}$ . De esta manera, considerando que este efecto dominó puede ceder energía a otras partes del sistema, Adey postuló una transferencia energética a las glicoproteínas que conectan el exterior de la membrana con el espacio intracelular.

Los fenómenos mencionados, junto con otros asociados, pueden justificar la existencia de ventanas de amplitud y frecuencia en el flujo del ion calcio identificadas por W.R. Adey y C.F. Blackman [26], [27].



### Interacciones cooperativas de campos eléctricos y magnéticos

Este mecanismo fue propuesto por Chiabrera et al. [28] a partir del análisis de los efectos locales del campo electromagnético sobre proteínas e iones que interactúan entre ellos sobre la superficie de la célula.

Un campo eléctrico estático aplicado sobre los receptores de la membrana proteínica induce un agrupamiento de las proteínas a un lado de la célula con el consiguiente refuerzo de la probabilidad de formación de canales  $Ca^{++}$ .

La acción de un primer mensajero externo a la célula, como puede ser un ion o una hormona, que actúa sobre el lugar de conexión entre el citoplasma y el medio externo para inducir cambios en la concentración de un segundo mensajero interno a la célula (ion o producto enzimático). La interacción entre fuerzas eléctricas y magnéticas sobre distintos mensajeros iónicos en el proceso de conexión es un claro suceso estadístico (la conexión se realiza bidimensionalmente sobre la superficie de la célula mientras que el mensajero externo -ligador- se mueve tridimensionalmente en el microentorno fuera de la célula).

La resolución de la ecuación que modela el proceso de conexión junto con la perturbación introducida por el campo electromagnético aplicado (el cual modifica la velocidad y el camino del mensajero externo en las cercanías de la conexión [19] y así las constantes de asociación y disociación que modelan el proceso de conexión que controlan el flujo de iones a través de la membrana -por ejemplo, de iones  $Ca^{++}$ ), muestran que existen zonas más sensibles que otras dependiendo de la masa y la carga del mensajero, la frecuencia y la amplitud de campo alterno aplicado  $B_{AC}$  y la amplitud del campo magnético estático  $B_0$ <sup>6</sup>

Liboff [28] realizó una hipótesis de un efecto de frecuencia selectiva basada

---

<sup>6</sup>Los campos electromagnéticos que se obtienen a partir de la resolución numérica de la ecuación del modelo son del tipo:

$$E = E_1 \sin(\omega t) \quad B = (B_0 + B_{AC})\sin(\omega t)$$

en la frecuencia de resonancia ciclotrón de los iones<sup>7</sup>, viéndose confirmada en experimentos posteriores [29].

Aunque esta teoría explica, en parte, la interacción del campo electromagnético sobre el flujo iónico a través de la membrana, aun existen muchas dudas sobre la naturaleza de esta interacción.

### 1.3.3 Interacción de las ondas electromagnéticas sobre objetos materiales con pérdidas: Efectos térmicos

El flujo de energía que incide sobre un objeto material es reflejado, dispersado y absorbido en el objeto. La proporción de energía absorbida es una función de la longitud de onda o la frecuencia ( $\lambda = c/f$ ) y su relación con las dimensiones del objeto. La absorción de energía más eficiente ocurre cuando la longitud de onda de la radiación electromagnética está próxima al doble del tamaño del objeto (2D). Objetos más grandes tienen mayor eficiencia de absorción energética a longitudes de ondas más largas, i.e. a frecuencias menores, mientras que objetos más pequeños tienen mayor eficiencia de absorción a longitudes de onda más cortas (frecuencias más largas). Por ejemplo, un hombre de 1.8 m de altura presenta un pico de absorción a unos 70 MHz, un mono a unos 300 MHz, la cabeza de un adulto a unos 915 MHz y un ratón a unos 2450 MHz [5].

En escala macroscópica la absorción de energía se expresa como una relación de absorción específica<sup>8</sup> (SAR), que en dosimetría se define como la transferencia de energía de los campos eléctrico y magnético a partículas cargadas en un material que actúa como absorbente. El SAR se define, en un punto del absorbente, como

---

<sup>7</sup>Se genera una fuerza de Lorentz a partir de la velocidad de movimiento del ion  $\vec{v}$  en el seno de un campo magnético estático  $\vec{B}_0$

<sup>8</sup>El término 'específica' se refiere a la normalización de la masa, el término 'absorción' a la absorción de la energía y 'relación' se refiere a razón temporal de la absorción de energía

la relación temporal de intercambio de energía transferida a las partículas cargadas en un volumen infinitesimal en ese punto, dividido por la masa del volumen infinitesimal, es decir:

$$SAR = \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial W_c}{\partial t} \quad (1.3.4)$$

donde  $\rho_m$  es la densidad de masa en el punto de medida y  $W_c$  es la energía transferida.

A esto se le llama SAR local o distribución de SAR para distinguirlo del SAR promedio de todo el cuerpo. El SAR promedio viene definido como la relación temporal de intercambio de energía total transferida al absorbente dividido entre la masa total del objeto. A partir del teorema de Poynting, si consideramos el caso del promedio temporal de una onda estacionaria sinusoidal, el promedio para todo el objeto del SAR vendrá dado por:

$$S\bar{A}R = \frac{1}{M} \int_V \langle P_c \rangle dV \quad (1.3.5)$$

donde M es la masa total del absorbente.

También podemos expresar el SAR local en términos del campo eléctrico incidente como [30]:

$$SAR = \sigma \frac{E^2}{2\rho} \quad [ \text{W/kg} ] \quad (1.3.6)$$

donde  $\sigma$  es la conductividad eléctrica del tejido, en *Siemens/m* o *S/m* y  $\rho$  es la densidad del tejido, en *kg/m<sup>3</sup>*.

A frecuencias de ELF (*Extremely Low Frequencies*) la conductividad eléctrica se encuentra entre 0'1 y 0'35 S/m para el músculo cardíaco, entre 0'1 y 0'3 S/m para el tejido nervioso, 0'2 S/m para el tejido cerebral y 0'25 S/m para el tejido miocárdial [31]. Para la conductividad eléctrica de algunos tejidos a frecuencias de microondas (MW) encontramos valores típicos para huesos de 0'05 S/m, para

Tabla 1.2: Valores medios de la conductividad eléctrica ( $\sigma$ ) para tejidos biológicos a 37°C en función de la frecuencia en RF/MW, en S/m [1]

Tejido	100 kHz	1 MHz	10 MHz	100 MHz	1 GHz	10 GHz
Músculo	0.50	0.72	0.83	0.90	1.42	11.5
Hígado	0.16	0.28	0.45	0.66	0.98	8.9
Bazo	0.62	0.63	0.67	0.89	1.2	10.1
Riñón	0.25	0.37	0.59	0.86	0.98	9.7
Cerebro	0.15	0.18	0.42	0.72	1.00	9.1
Hueso	0.014	0.017	0.024	0.057		

músculos de 0'95 S/m y para vísceras como el corazón, hígado, cerebro, etc. de 0'77 S/m.

La densidad es aproximadamente  $1000 \text{ kg/m}^3$  para la mayoría de tejidos debido a la presencia de agua. Aunque el tejido pulmonar tiene aproximadamente  $100 \text{ kg/m}^3$  debido a las bolsas de aire.

En términos de calentamiento del tejido la relación de calentamiento es:

$$SAR = C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1.3.7)$$

donde C es el calor específico del tejido, en  $\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$ , y  $\frac{\partial T}{\partial t}$  es la relación de incremento en la temperatura del tejido ( $^\circ C/s$ ).

Combinando las ecuaciones (1.1.3) y (1.3.6),

$$S = \frac{2\rho}{3.77\sigma} \cdot SAR \quad [\mu W/cm^2] \quad (1.3.8)$$

y considerando que  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$S = \frac{530.5}{\sigma} \cdot SAR \quad [\mu W/cm^2] \quad (1.3.9)$$

Usando los datos de la tabla 1.2 podemos extraer una relación entre  $\sigma$  y la frecuencia para cada tejido mediante regresiones lineales. Por ejemplo [1]<sup>9</sup>,

<sup>9</sup>Utilizamos los valores de  $\sigma$  hasta un GHz de frecuencia.

Tejido cerebral:  $\sigma = -1'074 + 0'0973 \ln(f)$ ,  $r = 0'9734$

Tejido muscular:  $\sigma = -0'54 + 0.0877 \ln(f)$ ,  $r = 0'9374$

Donde  $f$  es la frecuencia en MHz.

Por tanto, un SAR de  $0'00015 \text{ W/kg}$  para un corazón de rana aislado a 240 MHz ( $\sigma = 1'15 \text{ S/m}$ ) corresponde a una exposición de  $0.1 \mu\text{W/cm}^2$  y para un electroencefalograma (EEG) cerebral humano de Von Klitzing a 150 MHz ( $\sigma = 0'76 \text{ S/m}$ ),  $0.001 \text{ W/kg}$  corresponde a  $0'7 \mu\text{W/cm}^2$ .

El cálculo del SAR para todo el cuerpo o una parte de él es una tarea compleja ya que cada tejido tiene diferentes densidades y conductividades eléctricas, y la variable tamaño de los componentes del cuerpo que influyen en la eficiencia de absorción de la radiación electromagnética, todos ellos varía con la longitud de onda y la frecuencia de la radiación.

Gandhi [32] da fórmulas empíricas para el promedio del SAR para el cuerpo completo para una exposición de  $1 \text{ mW/cm}^2$  en función de la frecuencia de la señal, para cuando el vector campo eléctrico es paralelo a la dimensión longitudinal. Expresando el coeficiente como  $R$  ( $R = S = \frac{2\rho}{3'77\sigma}$ ) y usando las unidades para  $R$  de  $\text{W/kg}$  por  $\mu\text{W/cm}^2$ , el modelo de Gandhi es:

Para la frecuencia de resonancia:  $f_r = 114/L \text{ MHz}$

$$S_{\text{resonancia}} = 15'2 \sqrt{\frac{L^3}{m}}$$

Para el intervalo subresonante:  $0'5 f_r < f < f_r$

$$R = 5'2 * 10^{-3} \frac{L^2}{m} \cdot \frac{f}{f_r}^{2'75}$$

Para el intervalo supresonante:  $f_r < f < 1'6 S_{\text{res}} f_r$

$$R = 0'595 \frac{L}{mf}$$

donde  $f$  es la frecuencia de la señal incidente en  $MHz$ ,  $L$  es la dimensión longitudinal en metros, y  $m$  es la masa de la persona en  $kg$ .

Por ejemplo, para una señal incidente de  $300MHz$  sobre un adulto de  $L = 1'8m$  de altura y  $m = 80kg$ , la frecuencia de resonancia es  $f_r = 63MHz$ , está dentro del intervalo suprarresonante y  $R = 4'44 \cdot 10^{-5}$ . Para un niño de  $L = 0'9m$  y  $m = 25kg$ ,  $f_r = 127MHz$  y  $R = 7'14 \cdot 10^{-5}$ . Por tanto, una señal incidente RF a  $300MHz$  y  $20\mu W/cm^2$  de potencia produciría un SAR para un adulto de  $0'0009W/kg$  y para un niño de  $0'00179W/kg$ , dos veces mayor para el niño que para el adulto. Esta relación se mantiene para todas las frecuencias, ya que viene determinada por la relación  $L/m$ .

La figura 1.3 muestra los niveles de SAR calculados producidos por un flujo de energía de  $1mW/cm^2$  en función de la frecuencia, para diversos tamaños de cuerpos.

Cuando se proyecta el campo eléctrico de una señal RF incidente sobre una persona, se produce un flujo de corriente eléctrica a través de la persona hacia tierra. La corriente eléctrica que fluye a través del pie de un hombre -conectado a tierra- ( $I_h$  en mA) en función del campo eléctrico incidente  $E(V/m)$  [30] viene dada por:

$$I_h = 0.108 \cdot E \cdot h_m^2 \cdot f \quad [\text{mA}] \quad (1.3.10)$$

donde  $h_m$  es la altura del hombre en  $m$  y  $f$  la frecuencia en  $MHz$ .

Para una persona de  $1'75m$  sobre la que hagamos incidir una señal de  $40MHz$  al límite de exposición para el estándar de seguridad ANSI C95.1,  $63'2V/m$  ( $1mW/cm^2$ ), da una corriente de  $836mA$ .

El SAR local es una función de  $I_h$ , que fluye por dos piernas y como  $SAR = \frac{J^2}{\sigma \rho}$ , donde  $J$  es la densidad de corriente ( $A/m^2$ ),

$$SAR = \frac{\left(\frac{I_h}{2}\right)^2}{A^2 \sigma_c \rho} \quad (1.3.11)$$



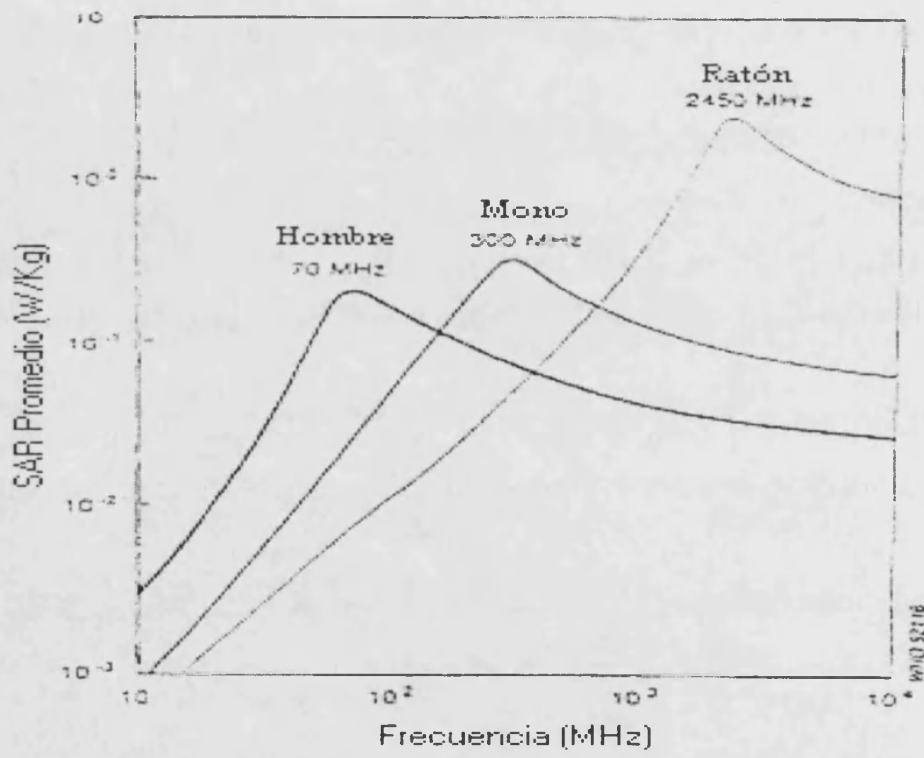


Figura 1.3: Promedio de SAR para 3 especies expuestas a  $1 \text{ mW/cm}^2$  con el vector  $E$  paralelo al eje longitudinal del cuerpo [5].

$A_e$  es el area efectiva de la sección transversal de las piernas, en los codos es aproximadamente  $9'5cm^2$  aunque la sección transversal física son unos  $40cm^2$ .

Por tanto, suponiendo una densidad de  $1000kg/m^3$  y  $\sigma_c = 0'77S/m$ , esta persona tiene un SAR en sus codos de  $251W/kg$ .

El estándar ANSI americano, igual como el IEEE[33], el ICNIRP[34], el canadiense[35] y otros[36], están basados en la protección térmica y establecen que el SAR no debe sobrepasar los  $8W/kg$  (si  $\sigma = 1'2S/m$  y  $\rho = 1000kg/m^3$ , la exposición es  $S = 3537\mu W/cm^2$ ) para cada gramo de tejido de exposición en ambientes laborales y  $1'6W/kg$  ( $S = 707\mu W/cm^2$ ) para exposiciones públicas.

Como la exposición  $S$  es proporcional al SAR, para proteger a una persona adulta bien conectado a tierra de un exceso de calentamiento a  $1'6W/kg$  en los codos, el límite de exposición debería ser reducido a  $6'4\mu W/cm^2$ . Aislando a la gente, por ejemplo mediante zapatos con suela de goma, se reduce la corriente inducida entre un 60 y un 80 %. Pero esto no deja de ser un problema, ya que a menudo los niños juegan con los pies descalzos y presentan una "buena toma de tierra".



## Capítulo 2

# Sistemas de telefonía móvil pública. Estaciones base y estaciones móviles: aspectos técnicos.

En este capítulo estudiaremos el caso de los elementos y conceptos de la interfase de radio que intervienen en la telefonía móvil de GSM900 y DCS1800 (frecuencia de emisión, modulación utilizada, tipos de antenas, densidad de potencia medida, ...)[6], [37], [38].

### 2.1 Sistemas de Comunicaciones Personales Móviles

La revolución de las telecomunicaciones en las últimas décadas tiene su causa en cambios tecnológicos, con las apariciones de nuevos procesos de transmisión,

compresión de señales, utilización de la microelectrónica y, más recientemente, la digitalización de la información.

Durante las dos últimas décadas hemos visto una gran emergencia de los servicios de telefonía móvil, sobretodo en el sector terciario y en comunicaciones personales en España[39]. Uno de los principales motivos del rápido desarrollo de las redes móviles es que el volumen de inversión requerido para el establecimiento es considerablemente inferior al que necesita una red fija.

Los Sistemas de Comunicación Personal celular (PCS) presentan tres componentes básicos: los teléfonos celulares, las estaciones de radio-base y los centros móviles de conexión<sup>1</sup>.

La única manera en la que podemos conectar un teléfono celular (móvil) y una estación base es por medio de ondas electromagnéticas. Esta comunicación se puede establecer de diversas maneras, según el sentido de la comunicación pueden ser: *símples* (comunicación en un único sentido, puede utilizar una o varias frecuencias, una aplicación de esta modalidad de explotación del canal son los *pagers*-“busca”), *semidúplex* o *half-duplex* (comunicación en un sentido cada vez (receptor-emisor, emisor-receptor), también puede utilizar una o varias frecuencias, un ejemplo de aplicación de esta modalidad de explotación del canal son los *walki-talkies* o sistemas *Push-to-Talk* (PTT)) y *dúplex* o *full-duplex* (comunicación en ambos sentidos, suele utilizar varias frecuencias).

La primera tecnología utilizada en comunicaciones móviles empleaba técnicas de transmisión analógica entre el terminal analógico y la estación base. Entre los sistemas analógicos utilizados encontramos:

- *Nordic Mobile Telephone* (NMT), desarrollado en Escandinavia y también utilizado en Holanda, Austria, Suiza y, con algunas variantes, en España hasta el año 1990. Al principio de los años 80 el NMT operaba en la frecuencia de 450 MHz.

---

<sup>1</sup>Los centros móviles de conexión (MSC) son los encargados de coordinar el tráfico entre células y conecta las llamadas de los usuarios móviles a otros usuarios móviles o a la red fija

- *Advanced Mobile Phone Service* (AMPS) usado principalmente en los Estados Unidos desde 1983. También utilizado en Canadá y Australia.
- *Total Access Communication System* (TACS), que utiliza la frecuencia de 900 MHz. Fue adoptado en Gran Bretaña en 1985. Después diversos países europeos siguieron este estándar, entre ellos Italia, Irlanda y España desde 1990.

Los sistemas digitales suponen un uso más eficiente del espacio radioeléctrico, aumentando la posibilidad de distribución de frecuencias. Comparado con el sistema analógico, los sistemas digitales pueden soportar mayor número de usuarios en la misma frecuencia de banda, lo que supone disminuir los riesgos de saturación del sistema. Por su lado, la digitalización de los terminales posibilita a medio plazo una mayor disminución de costes, pueden soportar mayor número de funciones y mejoran la calidad en la transmisión de datos, además de permitir un alto grado de privacidad gracias a la posibilidad de encriptar el código digital.

En 1987 un grupo de trece países europeos, entre ellos España, firmaron un memorándum para el establecimiento de un sistema estándar común en telefonía digital. Se denominó *Pan European Global System of Mobile Communications* (GSM) y se ha ido extendiendo más allá de las fronteras europeas. También la disminución del tamaño de las células territoriales permite un mayor tráfico de comunicación hasta 20 veces superior que en sistemas analógicos, lo cual permite a su vez utilizar terminales telefónicos más pequeños y baratos. El *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) acuñó este sistema con el nombre de *Digital Celular System* (DCS 1800) y lo basó en el estándar GSM (su puesta en funcionamiento se realizó a partir de 1995).

La tercera generación de telefonía móvil ya ha sido implantada en otros países y no tardará mucho en implantarse en España (las previsiones realizadas estimaban su puesta en marcha en el año 2002, pero por problemas con la red, falta

de instalaciones, etc. se postpuso su comienzo). Esta tercera generación de telefonía se llama UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y entre otras mejoras permite un acceso más sencillo al ámbito internacional (con una compatibilización con el IMT-2000 <sup>2</sup>).

## 2.2 Técnicas de acceso múltiple

Para economizar recursos radioeléctricos por parte de los usuarios es necesario utilizar técnicas de multiacceso. Llamamos *canal físico* a la probabilidad de acceso de un usuario al sistema. Por lo tanto, las técnicas de multiacceso son procedimientos de asignación de canales físicos a las estaciones. En general, están asociadas a métodos de modulación utilizados y con la naturaleza (analógica o digital) de la información a transmitir.

Hay 3 métodos básicos de multiacceso:

- FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), acceso múltiple por división de frecuencia.
- TDMA (*Time Domain Multiple Access*), acceso múltiple por división de tiempo.
- CDMA (*Code Division Multiple Access*), acceso múltiple por división de código.

En la práctica, los sistemas de comunicación móviles suelen utilizar métodos combinados (p.e. en GSM se utiliza TDMA/FDMA).

### 2.2.1 Acceso múltiple FDMA

---

<sup>2</sup>El IMT-2000 es un conjunto de especificaciones definidas por la ITU (International Telecommunication Union) y pretende englobar todos los estándares de comunicación móvil existentes hasta el momento

El método FDMA está basado en la separación de las frecuencias del volumen espectral. La anchura de banda se divide en radiocanales con un paso de canalización  $\Delta f$ , correspondiente a la diferencia entre dos canales conjuntos. Las asignaciones son de banda estrecha del tipo un solo canal por portadora. Los usuarios, cada uno en su radiocanal, pueden efectuar transmisiones simultáneas e interrumpidas en las diferentes frecuencias. Cada receptor o grupo de receptores selecciona el radiocanal deseado mediante un filtro sintonizable.

El FDMA utiliza habitualmente la modulación de frecuencia (en señales analógicas o bien señales digitales) y tiene las siguientes características:

- Compatibilidad con modulaciones y señales analógicas y digitales.
- Tecnología experimentada.
- Sencillez de realización de equipos y de explotación.
- Resistencia a las perturbaciones en su variante de banda estrecha.
- Complejidad de las estaciones base (un equipo transceptor por radiocanal y elementos adicionales).
- Poca capacidad para captar distintos flujos de tráfico o aplicaciones.
- Limitaciones para la inserción de la señalización asociada a la llamada y para la mejora de la voz.

### **2.2.2 Acceso múltiple TDMA**

En el método TDMA utilizamos la misma frecuencia para todos los usuarios durante breves intervalos de tiempo, de forma periódica, de manera que los que efectúan transmisiones simultáneas pero discontinuas lo hacen mediante ráfagas o paquetes en esa frecuencia portadora. El sistema tiene dispositivos capaces de direccionar y sincronizar la señal de manera que cada receptor (MS) seleccione del flujo de señal únicamente la ráfaga destinada a él mismo e ignora las demás.



En TDMA la transmisión se organiza en tramas de duración  $T_t$ . Una trama es una sucesión de  $N$  intervalos, cada uno de los cuales se asigna a un terminal. La duración del intervalo es  $T = t_t/N$ , tiempo en el cual el terminal efectúa su acceso y en el que dispone de todo el recurso del ancho de banda del sistema radioeléctrico. Cualquier terminal transmite en el tiempo  $T$  la información de tráfico recopilada durante una trama más otras señales auxiliares, en un proceso de almacenamiento y envío. La información se transmite en un tren de bits llamado *ráfaga*. Por su naturaleza el TDMA sólo es realizable con señales digitales de origen o analógicas digitalizadas.

En el enlace ascendente, las ráfagas llegan a la BS, procedentes de los terminales, en tramas sucesivas. Las ráfagas no suelen ser estrictamente contiguas aunque se hayan emitido con sincronización pues proceden de terminales situados a diferentes distancias de la estación base (BS). Puede haber entre ellas pequeños intervalos o ligeros solapes. Este tipo de llegadas individuales constituye el TDMA básico, característico del enlace ascendente. Cada terminal realiza su emisión modulando digitalmente una portadora con los bits de la ráfaga.

En el enlace descendente, la información que transmite la BS se organiza también en una trama pero con intervalos consecutivos de forma multiplexada temporalmente TDM (*Time Division Multiplex*) con sus ráfagas de bits. La señal TDM modula la portadora del enlace descendente y se radia en difusión a todos los terminales. Cada terminal extraerá la información del intervalo que tenga asignado, una vez por ráfaga.

El TDMA puede ser caracterizado a partir de los siguientes conceptos:

- Trama (*Frame*): Acceso de los  $N$  usuarios a los recursos compartidos.
- Período de trama ( $T_t$ ): Duración temporal de la trama.
- Intervalo de tiempo (*Slot*): Duración de la ventana de acceso de cada usuario al sistema.

- Ráfaga (*Burst*): Secuencia de bits transmitida o recibida en un intervalo de tiempo.
- Velocidad media o de escritura: Número de bits por usuario en el período de trama dividido por el valor del período.
- Velocidad instantánea o de lectura: La velocidad de transmisión de la información en un período de tiempo.

La velocidad instantánea de transmisión de datos depende de la suma de la velocidad del codificador fuente (en bits/s) más el número de bits de tara por intervalo entre el período de la trama ( $B_0/T_t$ ) por el número de intervalos por trama (que es lo mismo que el factor de compresión temporal,  $N_s$ ). Cualquier aumento en el número de usuarios por canal (TDMA) supondrá un incremento proporcional de la velocidad instantánea y, por tanto, de la anchura de banda necesaria para la transmisión de la portadora TDMA. También está limitado el número de canales por portadora TDMA.

En sistemas de gran capacidad, como los de Telefonía Móvil Pública o PMT (*Public Mobile Telephony*), se utilizan varias portadoras distintas de forma que se constituye un multiacceso combinado TDMA/FDMA, en el que cada canal proporciona  $N_s$ . Si tenemos  $R$  radiocanales entonces la capacidad potencial será  $R \cdot N_s$  canales. Aquí cada canal físico está referido a un terminal que consiste en un radiocanal y un intervalo temporal. En la figura 2.1 podemos verlo de manera más gráfica.

Gracias al uso de frecuencias diferentes para las comunicaciones en *up-link* y en *down-link* en el sistema GSM aseguramos que los terminales funcionen en *dúplex*.

En el sistema GSM, el TDMA utilizado tiene 8 intervalos temporales por trama. La duración de cada intervalo es de 0'577 ms ( $f = 1733Hz$ ). La trama comprende 8 canales físicos que transportan los canales lógicos de tráfico y señalización (control). También comprende un sistema multitrama:

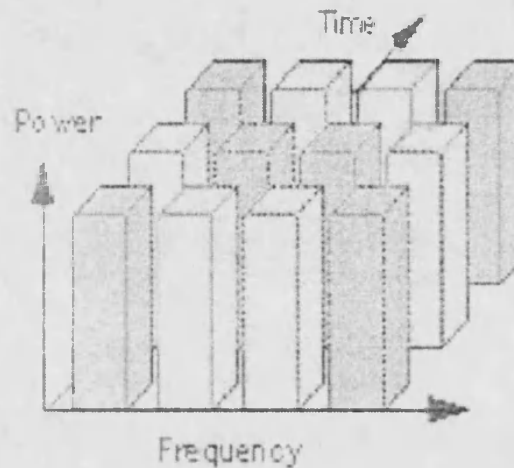


Figura 2.1: Gráfico de una distribución TDMA en dominio tiempo-frecuencia.

- una que tiene 26 tramas, con un intervalo de recurrencia de 120 ms ( $f = 8.3\text{Hz}$ ) para los canales de tráfico y los de control asociados, y
- otra que comprende 51 tramas, con un período de recurrencia de 236 ms ( $f = 4.2\text{Hz}$ ) y que transporta los canales de control comunes.

### 2.2.3 Acceso múltiple CDMA

El método CDMA asigna a cada canal la totalidad del volumen espectral disponible, es decir, toda la anchura de banda, durante todo el tiempo y en toda la zona de cobertura de forma que se puede realizar la transmisión simultánea de diversas comunicaciones a la vez utilizando los mismos recursos. La separación entre ellas se realiza mediante distintos códigos digitales.

Esta técnica utiliza la *modulación de espectro ensanchado* que consiste en la multiplicación de una señal de banda estrecha ( $x(t)$ ) por otra señal digital de banda ancha ( $c(t)$ ) llamada *código de ensanchamiento* o de dirección de  $x(t)$ . La señal resultante  $x(t) \cdot c(t)$  se llama  $x(t)$  *ensanchada* y tiene una gran anchura

de banda. Si multiplicamos la señal anterior por la propia señal código  $c(t)$ , se produce el efecto contrario de «compresión» y mediante un procesado adecuado obtenemos  $x(t)$ . Si multiplicamos  $x(t) \cdot c(t)$  por otra señal de código distinta  $c'(t)$  el producto  $x(t)c(t)c'(t)$  sigue siendo una señal ensanchada. Este tipo de señales son percibidas por cualquier receptor como perturbaciones similares al ruido blanco que es el tipo de interferencia más benigno que puede afectar a un receptor.

El CDMA tiene una amplia capacidad de canales. Esta capacidad puede llegar a ser varias veces superior a la que ofrecen FDMA y TDMA. Pese a todo si fuese necesaria una mayor capacidad se utilizarían radiocanales multiplexados en frecuencia, de esta manera obtenemos un método de acceso múltiple mixto de tipo FDMA/CDMA.

La técnica CDMA tiene las siguientes características básicas:

- las señales transmitidas y los códigos de dirección han de ser digitales,
- esta es una técnica de banda ancha,
- ofrece gran capacidad de tráfico,
- los receptores CDMA tienen gran resolución temporal, pudiendo operar la señal de manera efectiva. En este caso el multitrayecto deja de ser un problema para aprovecharse de manera positiva sumando las diferentes contribuciones,
- requiere una estricta sincronización y control de potencia de las transmisiones para compensar el efecto cerca-lejos, ya que las señales han de llegar de manera equilibrada a las estaciones móviles (MS) para poder separarlas,
- requiere un único transceptor físico en la BS para comprender varios canales,
- la tecnología es compleja y requiere una elevada integración de sistemas para conseguir terminales ligeros y de reducido tamaño,
- se pueden utilizar las mismas frecuencias en entornos contiguos, mejorando así la capacidad de traspaso de información de una BS a otra.

El multiacceso CDMA es la técnica por la que se ha optado en el desarrollo de la tercera generación de telefonía móvil por sus ventajas sobre el TDMA y el FDMA (mejor comportamiento frente a la interferencia cocanal y mejor comportamiento frente a la propagación multitrayecto, mejor aprovechamiento espectral ya que puede reutilizarse frecuencias vecinas, mayor capacidad de tráfico y traspaso continuo entre BS).

## 2.3 Modulación

Generalmente, una onda continua de UHF no puede ser portadora de ninguna información. Para hacerla útil, la información se inserta sobre ella mediante un proceso conocido como modulación. Mediante la modulación tomamos la onda original (la que llamamos portadora) y la alteramos de manera que vaya más lenta que su frecuencia nominal mediante pulsación (modulación digital), mediante su amplitud (modulación en amplitud o AM) o bien mediante su fase (modulación en fase-frecuencia o PM-FM).

La técnica de modulación utilizada en las comunicaciones de la PMT dependen de la técnica de multiacceso utilizada. En el caso de GSM, DCS e incluso UMTS las técnicas más comunes son las de TDMA o CDMA, las cuales requieren señales digitales por lo que la modulación ha de ser también de tipo digital y además de banda ancha.

En sistemas analógicos de radiotelefonía móvil privada (PMR) se logra un amplio espectro de modulación reduciendo la desviación de frecuencia de la modulación  $\Delta f$ , pero para ello hemos de pagar un precio, que es la degradación de la calidad de voz. En aplicaciones de telefonía móvil pública (PMT) no es admisible este empeoramiento por lo que se utiliza una  $\Delta f$  alta, pero entonces tenemos que separar espacialmente los canales adyacentes.

En sistemas digitales la limitación espectral nos condiciona la utilización de velocidades de bits reducidas y nos obliga a utilizar codificadores de baja velocidad binaria.

Como las señales digitales puras producen espectros de modulación con espúeos de cierta intensidad se suele filtrar la señal, antes de modularla, para atenuar estas colas no deseadas sin producir demasiada radiación en canales adyacentes, lo cual provoca una cierta interferencia intersimbólica (ISI) que debe compensar el ecualizador del receptor.

La calidad en sistemas de modulación digital se expresa como la probabilidad de error de bits y en sistemas de modulación analógica como la relación señal/ruido a la salida del demodulador para un tono prueba.

### 2.3.1 Modulación analógica

En este tipo de sistemas a una señal portadora, que representamos como

$$y(t) = A \cos[\omega_c t + \phi(t)] \quad (2.3.1)$$

se le superpone a una señal analógica modulada. Podemos distinguir entre modulación en amplitud (si las dos señales sumadas tienen diferente amplitud) o modulación angular (si teniendo igual amplitud tienen diferente fase o frecuencia).

#### Modulación de amplitud (AM)

La modulación de amplitud (AM), tipificada normalmente como una modulación lineal, es de la familia de esquemas de modulación en los que la amplitud de la portadora sinusoidal se cambia en función de la señal moduladora.

Entre los esquemas más comunes de modulación en amplitud tenemos:

- DSB-AM (*double-sideband amplitude modulation*): Modulación de Amplitud en Doble Banda Lateral

- SSB-AM (*single-sideband amplitude modulation*): Modulación de Amplitud Banda Lateral Simple o Única
- VSB-AM (*vestigial-sideband amplitude modulation*): Modulación de Amplitud en Banda Lateral Residual

El tipo de modulación propuesta para comunicaciones móviles relacionado con la amplitud es el PAM/FM (*Pulsed Amplitude Modulation/Frequency Modulation*). En este método de modulación, se genera en primer lugar una señal de modulación de amplitud multinivel. Cada impulso multinivel tiene una duración  $n \cdot T$  y está formado por  $n$  bits. Esta señal se aplica a un filtro de premodulación para compactar el espectro final. La señal de salida del filtro se lleva a un modulador de frecuencia. Se define el índice de modulación como el cociente entre la desviación de frecuencia correspondiente a la amplitud máxima de la señal moduladora y la velocidad de bits. El espectro de esta modulación depende del número de niveles y del filtro de premodulación.

El método utilizado en primer lugar, el PAM se caracteriza por un conjunto de señales con cuatro niveles de amplitud:

$$s_m(t) = A_m g(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (2.3.2)$$

donde  $A_m$  es la amplitud de la  $m$ -ésima onda y  $g(t)$  es un pulso rectangular definido por

$$g(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{T}} & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{demás valores de } t \end{cases} \quad (2.3.3)$$

donde la energía del pulso  $g(t)$  está normalizada a la unidad. Consideramos el caso equiespaciado en que  $A_m = (2m - 3)d$ , con  $m = 0, 1, 2, 3$  siendo  $2d$  la distancia euclídea entre dos niveles de amplitud adyacentes. A este conjunto de señales lo llamamos señales PAM (*pulse amplitude modulated signals*).

Cada una de estas señales puede transmitir 2 bits de información. Así podemos asignar 4 pares de bits de información de la siguiente manera:

$$00 \rightarrow s_0(t)01 \rightarrow s_1(t)11 \rightarrow s_2(t)10 \rightarrow s_3(t)$$

A cada uno de estos pares le llamamos *símbolo* y a su duración temporal  $T$  la llamamos *intervalo de símbolo*<sup>3</sup>.

### Modulación de fase (PM) y de frecuencia (FM)

La modulación angular tiene dos variantes: de fase (PM) y de frecuencia (FM). En la modulación de fase (PM),  $\phi(t)$  es proporcional a la señal moduladora:

$$\phi(t) = \Phi_d \cdot x(t)$$

En la modulación en frecuencia (FM),  $\phi(t)$  es proporcional a la integral de la señal moduladora, así la señal modulada resulta:

$$y(t) = A \cos[\omega_c t + 2\pi f_d \int_0^t x(u) du + \Phi] \quad (2.3.4)$$

donde  $f_d$  es una constante llamada desviación de frecuencia de cresta. La frecuencia instantánea de la portadora es ahora proporcional a  $x(t)$ :

$$f = f_c + f_d x(t)$$

Si hacemos modulación en frecuencia con la derivada de la moduladora ( $x'(t)$ ), la fase de la portadora modulada es ahora:

$$\phi = 2\pi f_d x(t)$$

Aquí vemos que la fase es proporcional a  $x(t)$ , por lo que podemos concluir que la modulación en fase equivale a la modulación en frecuencia cuando la moduladora es la derivada (i.e.  $x'(t)$ ) y que la FM equivale a la PM cuando la modulación se realiza con la integral de  $x(t)$ .

<sup>3</sup>Cabe especificar que si la velocidad de muestreo es  $R = \frac{1}{T}$ , el intervalo de símbolo es  $T = 2T_b$



### 2.3.2 Transmisión digital

Los sistemas actuales de comunicaciones móviles con multiacceso TDMA (*Time Domain Multiplex Access*), FDMA (*Frequency Domain Multiplex Access*) y, actualmente con UMTS, W-CDMA (*Wide Code Domain Multiplex Access*) utilizan modulación digital y poseen las siguientes características:

- Elevada eficiencia espectral, que se define como cociente entre velocidad de bits y anchura de banda ocupada.
- Escasa radiación en canales adyacentes. El método de modulación debe ser capaz de concentrar en la anchura típica del canal móvil (25 kHz) la mayor parte de la energía de la señal modulada. Por tanto, es necesario procesar el espectro de la señal RF pero no en el paso de salida (porque la frecuencia es variable en los transmisores multicanales) sino en frecuencia intermedia. También cabe efectuar un procesamiento (filtrado) en banda de base antes de la modulación.
- Continuidad de fase, para evitar la radiación excesiva fuera de la banda.
- Envolvente constante de la señal modulada, para evitar que se produzca distorsión de intermodulación en las etapas amplificadoras. Estas deben ser clase *C* en régimen no lineal por su buen rendimiento de potencia, que es esencial en aplicaciones portátiles para reducir el volumen y peso de la batería.
- Buena característica de error en cuanto a relación portadora/ruido ( $C/N$ ) y portadora/interferencia ( $C/I$ ), lo que implica una potencia de transmisión moderada que permita un buen índice de reutilización de los canales.
- Las configuraciones de circuito deben ser simples y aptas para miniaturización, a fin de conseguir un tamaño y peso comparables con los de los equipos analógicos.

Los sistemas que se han propuesto para comunicaciones móviles digitales son:

- Modulación por desplazamiento mínimo: MSK (Minimum Shift Keying) y su variante modulación MSK gaussiana (GMSK) (utilizado en GSM).
- Modulación de frecuencia moderada: TFM (Tamed Frequency Modulation) y su variante gaussiana (GTFM).

- Modulación en amplitud y frecuencia: PAM/FM (Pulse Amplitude Modulation/Frequency Modulation).
- Modulación de fase cuaternaria diferencial:  $\pi/4$ -DPSK (Differential Phase Shift Keying) (utilizado en DECT).

En los sistemas de modulación digital se considera que la señal moduladora es binaria, con amplitudes de bits  $a_n = \pm 1$  y de tipo NRZ descrita mediante la expresión:

$$x(t) = \sum_n a_n \text{rect}_T(t - nT) \quad (2.3.5)$$

siendo  $\text{rect}_T(t)$  la función rectangular de duración  $T$

$$\text{rect}_T(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{demás valores de } t \end{cases} \quad (2.3.6)$$

### 2.3.3 Modulación MSK

La modulación MSK es una modulación digital de FM con índice  $m=0.5$ . La expresión analítica de la señal modulada para la moduladora digital  $x(t)$ , es

$$y(t) = A \cos[2\pi f_c t + 2\pi f_d \int_{-\infty}^t x(t) dt] \quad (2.3.7)$$

siendo  $f_d$  la desviación de frecuencia. Si el período de bit es  $T$ , elegimos  $f_d$  de forma que:

$$2\pi f_d T = \frac{\pi}{2} \quad f_d = \frac{1}{4T}$$

Se define el índice de modulación como el cociente entre la desviación de frecuencia de cresta y la velocidad de bits:

$$m = \frac{2f_d}{V_b} = \frac{1/2T}{1/T} = \frac{1}{2}$$

La trayectoria de fase viene dada por:

$$\phi(t) = 2\pi f_d \int_{-\infty}^t x(t) dt \quad (2.3.8)$$

De (4.1.1) y en virtud de la elección de  $f_d$ , resulta que los bits sucesivos producen al final de cada intervalo de bit, saltos de fase iguales a  $\pm \frac{\pi}{2}$  y saltos de frecuencia de  $\pm 2f_d$ .

Aunque es una modulación de frecuencia, la MSK tiene la particularidad de que puede representarse mediante componentes en fase y cuadratura de una forma sencilla:

$$y(t) = A \cdot I(t)\cos(2\pi f_c t) - A \cdot Q(t)\sin(2\pi f_c t) \quad (2.3.9)$$

con  $I(t) = \cos(\pm\pi \frac{t}{2T})$ ;  $Q(t) = \sin(\pm\pi \frac{t}{2T})$

La MSK tiene como ventajas el poseer envolvente constante, la sencillez de generación con un modulador en cuadratura, la posibilidad de múltiples tipos de detección (coherente, diferencial y no coherente) y una anchura de banda espectral razonablemente pequeña.

La anchura de banda de transmisión en FSK binaria viene dada aproximadamente por  $B = 2(f_d + \frac{1}{2T})$ ; luego para MSK resulta  $B = \frac{1.5}{T}$ , aunque en la práctica se reduce mediante filtrado la anchura espectral del canal de forma que  $B = \frac{1}{T}$ .

### 2.3.4 Modulación GMSK

Con el fin de atenuar los lóbulos espectrales, se efectúa un procesamiento en banda de base de la señal digital previo a la modulación que consiste en hacer pasar la señal por un filtro gaussiano de anchura de banda  $B_b$ . La señal filtrada se aplica al modulador MSK. A esta modulación se le denomina GSMK (*Gaussian Minimum Shift Keying*). Las funciones de transferencia  $H(f)$  y de respuesta impulsional<sup>4</sup>  $h(t)$  del filtro gaussiano de premodulación son, respectivamente:

$$H(f) = A \exp\left[-\frac{\ln 2}{2} \left(\frac{f}{B_b}\right)^2\right] \quad (2.3.10)$$

<sup>4</sup>Respuesta del sistema ante un impulso unidad.

$$h(t) = A \sqrt{\frac{2\pi}{\ln 2}} B_b \exp\left[-\frac{2\pi^2}{\ln 2} B_b^2 t^2\right] \quad (2.3.11)$$

Por lo tanto, el impulso modulador  $g(t)$  de GMSK será la convolución:

$$g(t) = \text{rect}_T(t) * h(t)$$

cuyo resultado es:

$$g(t) = \frac{A}{2} \left\{ \text{Erf}\left[\sqrt{\frac{2}{\ln 2}} \pi B_b \left(t + \frac{T}{2}\right)\right] - \text{Erf}\left[\sqrt{\frac{2}{\ln 2}} \pi B_b \left(t - \frac{T}{2}\right)\right] \right\} \quad (2.3.12)$$

$$0 \leq t \leq T$$

donde  $\text{Erf}(x)$  es la función error. Para  $t < 0$ :

$$g(-t) = g(t)$$

Si representamos las formas de onda de la señal moduladora y la variación de la fase para MSK y GMSK observamos que con GMSK se suavizan las transiciones de señal en los puntos de cambio de bit 0 a 1 y viceversa. La onda moduladora es más continua. Esto hace que los lóbulos laterales del espectro se reduzcan. También se aprecia que en GMSK los máximos de la desviación de fase son menores que en MSK. Esto implica una reducción en la intensidad de la señal demodulada. Sin embargo la GMSK introduce cierta interferencia intersimbólica que debe ecualizarse, lo cual resta capacidad al ecualizador. Este es el precio necesario de un espectro condensado y con pequeños lóbulos laterales, que era nuestro objetivo.

### 2.3.5 Probabilidad de error para GMSK

En la literatura técnica [6],[40] se han publicado las siguientes expresiones teóricas para  $P_e$ , con perturbación de ruido, para detección diferencial y detección por discriminador en función de la relación portadora/ruido ( $x$ ):

a) Detección diferencial

$$P_e(x) = \frac{1}{2} - \frac{x J_0(2\pi f_d T)}{4(x+1)} \left\{ 1 + \frac{\cos(2p_1)}{1 - \frac{1}{2} \left( \frac{x}{x+1} \right)^2 J_0(2\pi f_d T) \sin^2(2p_1)} \right\} \quad (2.3.13)$$

donde:

$J_0(x)$ , función de Bessel de orden cero

$$p_1 = \frac{\pi}{2} \frac{\left\{ \text{Erf}(2kT) - \text{Erf}(kT) + \frac{1}{2kT\sqrt{\pi}} \{1 - \exp[-(kT)^2] + \exp[-(2kT)^2]\} \right\}}{\text{Erf}(kT) + \frac{1}{kT\sqrt{\pi}} \{ \exp[-(kT)^2] - 1 \}} \quad (2.3.14)$$

y  $k = \sqrt{2} \ln 2 \cdot \pi \cdot B_b$

b) Detección por discriminador

$$P_e(x) = \frac{1}{2} - \frac{xg(0)}{8(x+1)^{\frac{1}{2}}} \left\{ \frac{\frac{2}{\left\{ \frac{4}{3}(BT)^2 + x[8(f_d T)^2 + g^2(0)] \right\}^{\frac{1}{2}}} + 1 + 2 \frac{g(T)}{g(0)}}{\left\{ \frac{4}{3}(BT)^2 + x[8(f_d T)^2 + \{g(0) + 2g(T)\}^2] \right\}^{\frac{1}{2}}} + \frac{1 - 2 \frac{g(T)}{g(0)}}{\left\{ \frac{4}{3}(BT)^2 + x[8(f_d T)^2 + \{g(0) - 2g(T)\}^2] \right\}^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (2.3.15)$$

donde:

$g(t)$ : Impulso modulador, dado por 8).

$BT$ : Anchura de banda normalizada de transmisión.

$x$ : Relación señal/ruido.

$f_d$ : Frecuencia Doppler

## 2.4 Sistemas de telefonía celular

### 2.4.1 Cobertura

La respuesta del sistema emisor y del receptor dependen del medio en que las ondas electromagnéticas son propagadas emitidas por las BS o las MS. La cobertura aparece como un determinante de la efectividad del sistema, junto con la capacidad de mantener la conexión.

La calidad de esta cobertura vendrá definida a partir de las siguientes características:

- a) Extensión: es el tamaño de la zona de cobertura. Tiene diferentes niveles dependiendo del tipo de célula utilizada (zonal, local, regional, nacional, internacional).
- b) Escenario de cobertura: describe el entorno de cobertura, por ejemplo en calles y carreteras, en el interior de vehículos, en el interior de edificios, en subterráneos y túneles.
- c) Grado de cobertura: especifica el porcentaje (perimetral y zonal) de ubicaciones en el que se debe conseguir la comunicación.

Antes de abordar las especificaciones técnicas de cada uno de los sistemas de comunicaciones móviles públicos más conocidos (GSM, DCS, UMTS, ...), existe una serie de conceptos que hay que clarificar.

### 2.4.2 Concepto celular

El concepto de cobertura celular fue ideado teóricamente por D.H. Ring en 1947. En él se resolvía el problema de exigencia de capacidad de tráfico propio de sistemas PMT. Esta idea está basada en: división de la zona de cobertura en regiones pequeñas (células) de tamaño variable en función de la demanda de tráfico y reutilización de las frecuencias en células separadas por una distancia suficiente para que la interferencia cocanal (debida al solapamiento de frecuencias utilizadas por diversas estaciones móviles (MS)) sea tolerable [41].

El tráfico ofrecido en una zona es proporcional a la superficie de este área. Como las celdas son pequeñas, las BS sólo podrán atender un volumen reducido de tráfico [6], y gracias a la reutilización de las frecuencias podemos realizar en cualquier momento más llamadas que frecuencias tengamos disponibles, ya que un radiocanal puede dar servicio a diversas llamadas.

Llamamos agrupación celular o “*cluster*” (racimo) al conjunto de celdas que emplean 14 canales diferentes (figura 2.2). Cuanto menor sea el tamaño del “*cluster*” también lo será el número de frecuencias necesarias, por lo tanto, en los sistemas celulares es importante compatibilizar el tamaño óptimo de la agrupación los requisitos de capacidad (que han de ser pocos) y rendimiento espectral con los de interferencia entre símbolos (ISI).

En una red celular GSM tenemos un determinado número de pares de portadoras RF (radiocanales). Si consideramos que con el multiacceso TDMA tiene 8 canales por portadora, entonces el número de canales por celda vendrá definido por la expresión  $T_c = \frac{8 \cdot N}{J}$ , donde  $N$  es el número de pares de portadoras y  $J$  el número de agrupaciones de celdas. El valor de  $T_c$  es una constante (por la consideración celular que hemos hecho). Si el operador mantiene fija la probabilidad de bloqueo en la celda ( $p$ ), entonces la intensidad de tráfico atendido se mantendrá fija también.

Un requisito primordial para el diseño de una red celular es conseguir una determinada calidad según la cualificación de la zona de uso. Por ejemplo en una zona de cobertura primaria, donde la necesidad de tener cobertura es primordial (por ejemplo en un aeropuerto, en una autopista, ...), el objetivo debe ser una cobertura zonal del 90% o superior. En una zona de cobertura secundaria puede ser inferior y suele estar entre el 70 y 75 %.

La planificación y diseño de un sistema celular pasa por controlar factores como la cobertura radioeléctrica, la limitación de frecuencias, la movilidad de

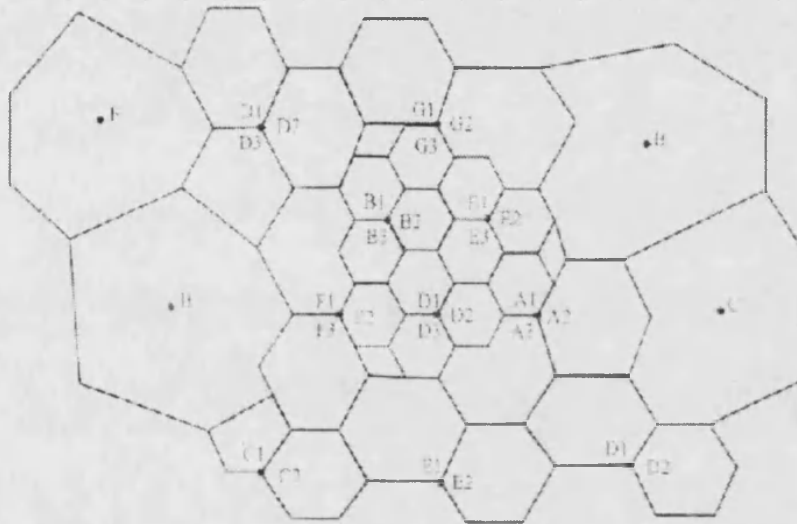


Figura 2.2: Diagrama de un cluster complejo de celdas en un sistema celular.

los usuarios, la distribución del tráfico, etc., a ello le hemos de sumar el factor económico (adquisición o alquiler de infraestructuras), ya que ofrecer una mejor calidad de servicio significa aumentar costes de inversión en estas infraestructuras (el objetivo de un empresario es la optimización de la relación calidad/precio, intentando ponderar la calidad que es la que valoraran sus clientes).

Esta planificación celular comprende el desarrollo de un modelo de tráfico y movilidad de los clientes en función del tipo de zona (urbana, comercial, rural, ...), la elección del tamaño de la celdas en función del volumen de tráfico estimado, la elección de los sistemas radiantes (antenas de dipolo o *arrays* de antenas en forma de panel) , el diseño de la malla celular (seleccionando la geometría de la celda y su tamaño, e intentando evitar la interferencia entre redes de celdas), etc.

El dimensionamiento de un sistema celular se realiza a partir de sistemas de llamadas perdidas, estudiando la probabilidad de bloqueo de una llamada ( $p_b$ ) a



partir de:

$$p_b = B(N, A) \text{ (distribución Erlang B)} \quad (2.4.1)$$

donde  $N$  es el número de canales por célula o sector y  $A$  es el tráfico ofrecido (en *erlangs/km<sup>2</sup>*). La probabilidad real de pérdida vendrá dada por:

$$p = 1 - (1 - p_b) \cdot p_c \quad (2.4.2)$$

siendo  $p_c$  la probabilidad de cobertura radioeléctrica que deseamos para cumplir con los objetivos de calidad del sistema celular. Finalmente, definimos el Grado de Servicio (*GOS*) para sistemas celulares como:

$$GOS(\%) = 100 \cdot p$$

. En general, se establecen como objetivos de calidad  $p_b$  y  $p_c$  y a partir de ellos obtenemos el GOS.

Considerando como característica el tamaño de las celdas, éstas pueden clasificarse en:

- **Macro células:** con radios entre 1'5 y 20 km para cobertura rural, carreteras y poblaciones cercanas.
- **Minicélulas:** con radios comprendidos entre 0'7 y 1'5 km para cobertura de medios urbanos importantes.
- **Micro células:** con radios de 0'3 a 0'7 km para cobertura de zonas de ciudades con elevada densidad de tráfico y penetración en interiores de edificios.
- **Pico células:** con radios de 30 a 200 m para coberturas localizadas en interiores (aeropuertos, centros comerciales, bancos, ...).

## 2.5 Aspectos técnicos de las estaciones base: las antenas

El *IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas* (IEEE Std 145-1983) define la antena como “un medio para radiar o recibir ondas radioeléctricas”. Por tanto, una antena se puede definir como «la estructura asociada con la región de transición entre una onda guiada y una onda en el “espacio libre”.» [42]. En transmisión, una antena acepta energía de la línea de transmisión y la radia al espacio, y en recepción, la antena recoge la onda incidente y la envía a la línea de transmisión.

Para caracterizar una antena se tienen que exponer sus propiedades fundamentales. Estas vienen definidas por:

- el diagrama de radiación,
- la ganancia,
- el área efectiva ( $A_e$ ), y
- la polarización

Para el estudio de las antenas también podemos definir dos regiones para su caracterización: la región de campo próximo y la de campo lejano.

### 2.5.1 Conceptos básicos y definiciones

Consideremos una antena localizada en el origen de un sistema coordenado esférico. Supongamos que realizamos observaciones en la capa esférica de radio  $r$ .

Si suponemos que la antena está transmitiendo, y  $P_0$  (potencia aceptada por la antena, W),  $P_r$  (potencia radiada por la antena, W) y  $\eta$  (eficiencia de radiación):

$$\eta = \frac{P_r}{P_0} \quad (2.5.1)$$

Sea  $I(\theta, \phi)$  la intensidad de radiación (W/stereorad), la potencia total radiada por la antena es:

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi I(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi$$

y la intensidad de radiación media

$$I_m = \frac{P_r}{4\pi}$$

La directividad ( $D(\theta, \phi)$ ) es una medida de la habilidad de concentrar la potencia radiada en una dirección particular y se relaciona con la intensidad de radiación:

$$D(\theta, \phi) = \frac{I(\theta, \phi)}{I_m} = \frac{I(\theta, \phi)}{P_r/4\pi} \quad (2.5.2)$$

La directividad de una antena es la razón de intensidad de radiación alcanzada en una determinada dirección respecto a la de una antena isotrópica. En la práctica, nos interesará el pico de directividad del lóbulo principal.

La ganancia de una antena ( $G(\theta, \phi)$ ) está relacionada con la directividad y la intensidad de radiación:

$$G(\theta, \phi) = \eta D(\theta, \phi) = \eta \frac{I(\theta, \phi)}{P_r/4\pi} \quad (2.5.3)$$

Así, la ganancia es una medida de la habilidad para concentrar en una dirección particular la potencia aceptada por la antena.

### 2.5.2 Regiones del campo radiado

La distribución del campo alrededor de la antena es, en general, una función de la distancia a la antena y de las coordenadas angulares.

En la región próxima a la antena, el campo incluirá una componente reactiva. La fuerza de esta componente decae rápidamente con la distancia a la antena, de manera que pronto se convierte en una componente radiada. Esta región, en la que predomina la componente reactiva, se llama *región reactiva de campo próximo* y más allá de esta región predomina el campo radiado.

La región en la que predomina el campo radiado se subdivide en una región de campo radiado cercano y una región de campo radiado lejano.

### Región de campo cercano o de Fresnel

En la región de campo radiado cercano, la distribución de energía radiada es dependiente de la distancia a la antena. En esta región, las fases relativas y las amplitudes relativas de contribuciones de los elementos que conforman la antena también son funciones de la distancia a ella.

El límite entre las regiones reactiva y de campo radiado próximo se establece normalmente a  $R = \lambda/2\pi$  del contorno de la antena.

### Región de campo lejano o de Fraunhofer

En esta región, la distribución angular de energía radiada no depende, esencialmente, de la distancia a la antena, por lo que se considera una característica de la antena. A grandes distancias, las fases y amplitudes relativas de contribuciones de los elementos que conforman la antena son independientes de la distancia a ella.

El límite entre las regiones de campo próximo y campo lejano se establece en  $R = 2D^2/\lambda$ , donde  $D$  es la dimensión mayor de la antena y  $\lambda$  es la longitud de onda. Aunque este criterio es generalmente aceptado, para realizar medidas de ganancia de antena precisas se suele tomar  $R \gg 2D^2/\lambda$

### 2.5.3 Diagramas de radiación de las antenas más comunes

La utilización de elementos radiantes o antenas para dar cobertura a determinadas zonas (celdas) hace que las características de estos sea relevante en el problema de la comunicación.

En comunicaciones móviles se suelen utilizar sistemas radiantes polarizados en el plano vertical (omnidireccional o sectorizado) y en el plano vertical, con una determinada inclinación del haz llamada *down tilt*.

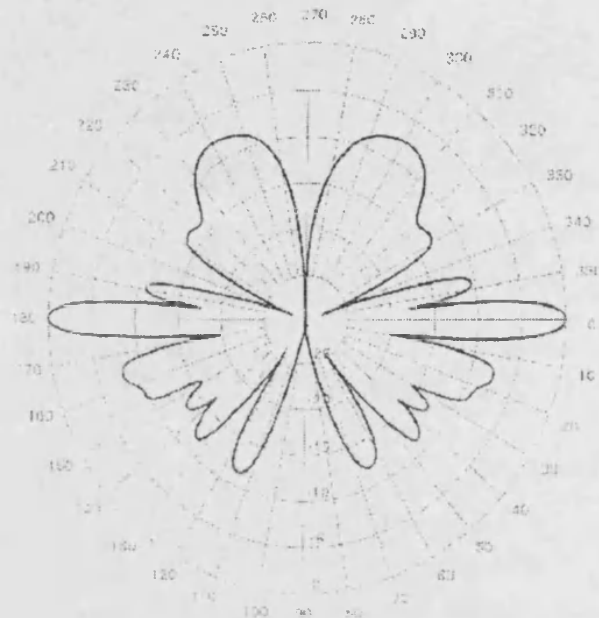


Figura 2.3: Diagrama vertical de una antena omnidireccional ASPJ 977 CYS.

### Antenas omnidireccionales

Este tipo de antenas suelen estar basadas en tecnología *Dump-Bell* de gran ancho de banda, con un *down tilt* eléctrico variable. La intermodulación es muy baja y su ganancia suele ser pequeña (para la antena de la figura es de 8.5 dB). En la figura 2.3 podemos ver el diagrama vertical medido para una antena omnidireccional utilizada en la interfaz de radio GSM. Su apertura a -3 dB se obtiene a los 7° sobre la vertical.

### Antenas sectorizadas

Este tipo de antenas pertenecen a la familia de las antenas de panel y están basadas en tecnología *patch microstrip* de gran ancho de banda. También presentan

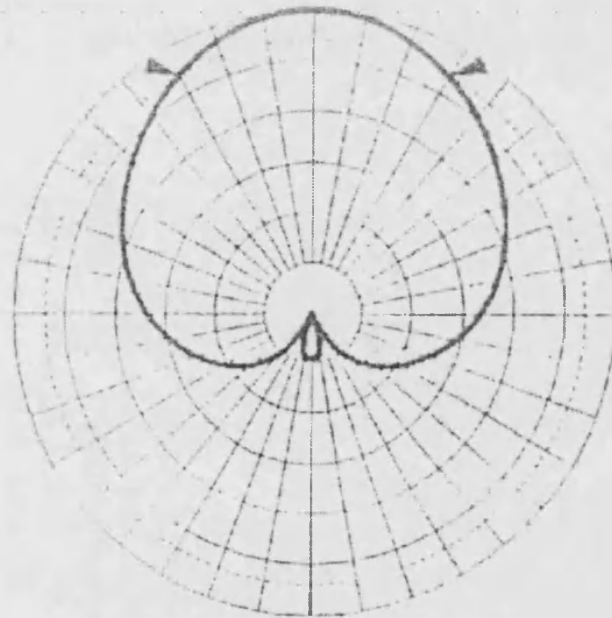


Figura 2.4: Diagrama horizontal de una antena sectorial 60° DB-CYS Mod.90060.135.

una intermodulación muy baja y su ganancia es más elevada que las omnidireccionales, aunque depende del diseño de la antena. En las figuras 2.4 y 2.5 observamos los diagramas horizontal y vertical de una antena sectorial con ganancia 13.5 dB. Su apertura a -3 dB se obtiene a 60° sobre la horizontal y 15° sobre la vertical.

#### 2.5.4 Propagación multitrayecto (sistemas analógicos)

La propagación multitrayecto es el mecanismo básico para la llegada de la energía radioeléctrica a terminales situados en entornos rodeados de obstáculos. Gracias a este tipo de propagación se consigue obtener cobertura en puntos recónditos. Sin embargo existen ciertos inconvenientes. Debido al fenómeno del multitrayecto, para una determinada señal transmitida, en el receptor captamos numerosas componentes o ecos a través de diferentes caminos con distintas interacciones con

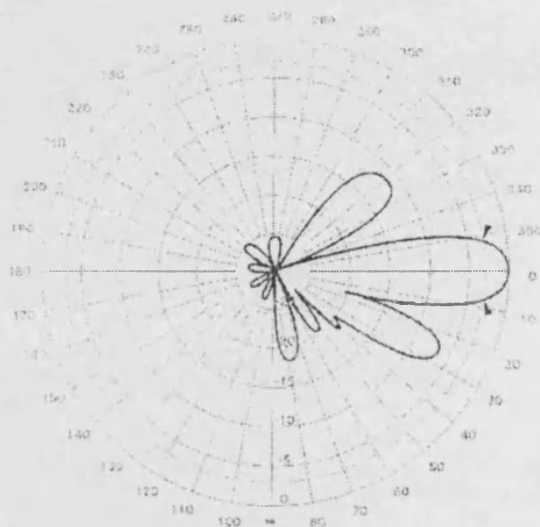


Figura 2.5: Diagrama vertical de una antena sectorial 60° DB-CYS Mod.90060.135.

los obstáculos interpuestos. Por tanto, estas componentes llegan al receptor en tiempos diferentes con amplitudes y fases aleatorias.

La suma de estas componentes se manifiesta como una onda con una amplitud que presenta amplias y rápidas variaciones de nivel a lo largo del recorrido del móvil, con mínimos que pueden decaer más de 40 dB respecto del valor medio. La separación entre ellos es del orden de  $\lambda/2$ .

Por eso la primera consecuencia de la propagación multitrayecto se le llama *desvanecimiento rápido* producido por la suma incoherente de los diferentes rebotes de la señal en los diferentes obstáculos presentes. Cuando la longitud del recorrido es pequeña (del orden de  $40\lambda$ ) no hay variaciones apreciables en la configuración y efecto de los dispersores cercanos al móvil, por lo que el valor medio de la envolvente (media local) es prácticamente constante.

Si representamos la variación de la envolvente de la señal multitrayecto de una determinada frecuencia en función del tiempo en un desplazamiento del receptor

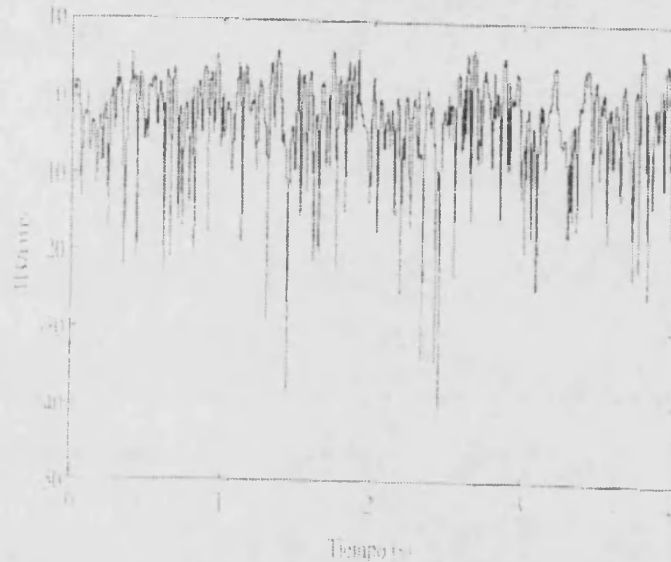


Figura 2.6: Variación de la envolvente de la señal multitrayecto en función del tiempo en un desplazamiento de la MS[6].

móvil podemos observar las rápidas e intensas fluctuaciones de nivel, además de una cierta periodicidad en su trazado (ver figura 2.6).

A esta representación se le suele llamar *patrón de ondas estacionarias*, ya que se parece a las distribuciones de ondas estacionarias que se originan en las líneas por combinación del rayo directo y los reflejados. Los mínimos de amplitud están separados entre sí por distancias en múltiplos de semilongitudes de onda de la señal transmitida. Esta variación de los mínimos con la distancia suele denominarse desvanecimiento selectivo en espacio.

Al moverse el receptor a través de un patrón de ondas estacionarias percibe unas variaciones de amplitud en función del tiempo y el patrón espacial se convierte en patrón temporal.



### 2.5.5 Canales multitrayecto (sistemas digitales)

La aplicación que hemos descrito aquí está referida a la caracterización necesaria para sistemas móviles de banda estrecha (como los analógicos). Pero para caracterizar sistemas de banda ancha como son los actuales sistemas móviles digitales es necesario conocer otros efectos derivados de la propagación multitrayecto y del desplazamiento móvil (en este caso hablamos de caracterización en *banda ancha* de los canales multitrayecto).

Si, mediante la propagación multitrayecto en sistemas móviles de banda estrecha, nos centramos en la variable tiempo, ahora tenemos *dispersión temporal* (*delay excess*). Consideremos  $t_i$  y  $t_0$  los tiempos de propagación del eco  $i$ -ésimo y del eco que llega en primer lugar. A la diferencia  $t_i - t_0$ , la llamamos *exceso de retardo* del eco  $i$ -ésimo. A partir de los valores del exceso de retardo obtenemos una característica de los canales multitrayecto llamada *dispersión del retardo* (*delay spread*). El valor del exceso de retardo depende del entorno de propagación (rural, urbano, etc.). Por ejemplo, en medios urbanos el multitrayecto se genera en estructuras relativamente próximas al móvil y los valores de la dispersión de retardo usuales son de 0'5 a 1'5  $\mu\text{s}$ . En el caso de medios rurales, los valores aumentan, ya que los objetos en los que se producen los *rebotes* están más alejados (montañas).

En el dominio del tiempo, esta dispersión temporal produce *interferencia entre símbolos* (ISI) y en el dominio de la frecuencia (en sistemas de banda ancha) produce *desvanecimiento selectivo en frecuencia* (FSF: Frequency Selective Fading), por eso la señal recibida experimenta distorsión.

La caracterización del FSF de un canal se realiza mediante un parámetro denominado *anchura de banda de coherencia del canal*,  $B_c$ , que mide el grado de correlación entre dos componentes espectrales de la señal transmitida separadas  $B_c$ . Si la anchura de banda de la señal transmitida es  $B_T$ , cuando  $B_T \ll B_c$

las componentes espectrales de la señal están muy correladas y se desvanecen a la vez, entonces obtenemos lo que llamamos *desvanecimiento plano*. Si  $B_T > B_c$  tendremos componentes que desapareceran cuando otras no lo hagan, tendremos por tanto un *desvanecimiento selectivo*.

Cuando la estación móvil se desplaza a través del patrón de ondas estacionarias generadas por la propagación multitrayecto, la amplitud de tensión recibida varía con el tiempo dependiendo de la velocidad de desplazamiento, de forma que el patrón espacial se transforma en otro temporal. Como consecuencia se producen dos efectos ligados entre sí:

- la transformación del desvanecimiento espacial en *desvanecimiento selectivo en el tiempo* (TSF: *Time Selective Fading*), y
- la transformación de las variaciones temporales de la amplitud recibida en una dispersión de frecuencia (denominada *desplazamiento Doppler*, cuyos valores máximos son  $\pm v/\lambda$ . Este desplazamiento produce variaciones de las frecuencias espectrales de la señal y, por tanto, de la distorsión.

Cada componente de multitrayecto experimenta un desplazamiento Doppler  $f_{d_i}$  y a partir del conjunto de estos desplazamientos se obtiene un parámetro calificador de la movilidad llamado *dispersión Doppler*. Como consecuencia del TSF,

## 2.6 Protocolos de PMT más extendidos en la actualidad

La acelerada evolución de las telecomunicaciones móviles e inalámbricas ha hecho que muchos de los sistemas desarrollados no sean válidos, mientras que otros se hallan impuesto de manera generalizada. Estos sistemas se han estandarizado debido a una serie de ventajas (como por ejemplo un mejor servicio, mayor capacidad de transmisión de datos, ...).

### 2.6.1 Sistema GSM

El sistema global para comunicaciones móviles (GSM) es un estándar aceptado mundialmente para comunicaciones celulares. GSM fue el nombre que se le dió al grupo que se dedicó en 1982 a la estandarización de un sistema común de telefonía móvil a nivel europeo que formularía las especificaciones para un sistema radiocelular móvil paneuropeo (en 1989 GSM se integra en el ETSI -European Telecommunications Standards Institute- como comité técnico) que operase en la banda de los 900 MHz. En la actualidad son muchos los países que se han acogido a este sistema.

Las especificaciones más características de este sistema son:

- **Banda de frecuencia:** Utiliza la banda entre 890 a 915 MHz en *up link* y la banda de 935 a 960 MHz en *down-link*, así cubre las necesidades de los usuarios sin tener interferencias.
- **Distancia duplex:** La distancia duplex es la distancia entre las frecuencias *uplink* y *downlink*. En este sistema, la distancia que separa un canal BS-MS de uno MS-BS son 45 MHz.
- **Separación de canales:** La separación entre dos frecuencias portadoras adyacentes son 200 kHz (en GSM). De esta manera, en la banda primaria de GSM (P-GSM) <sup>5</sup> se dispone de 124 radiocanales con frecuencias separadas para *uplink* y *downlink* como vemos en la siguiente expresión:

$$\left. \begin{aligned} F_{uplink}(n) &= 890 + 0'2 \cdot n \\ F_{downlink}(n) &= F_{uplink}(n) + 45 \end{aligned} \right\} 1 \leq n \leq 124 \quad (2.6.1)$$

- **Modulación:** <sup>6</sup> En GSM la modulación utilizada es la GSMK (Gaussian Minimum Shift Keying) con  $B \cdot T = 0'3$ .
- **Velocidad de transmisión:** GSM es un sistema digital con capacidad de transmitir datos por el aire a una velocidad de 270'83 kbps.

<sup>5</sup>Esta es la banda que se ha utilizado usualmente en España desde la aparición del GSM en nuestro país. No ha sido necesaria la utilización de la banda extendida E-GSM como en otros países[6].

<sup>6</sup>La modulación, como ya avanzamos es el procedimiento por el cual cambiamos las características de la frecuencia portadora con el fin de poder transmitir una información.

Tabla 2.1: Tipos de estaciones base (BS) y terminales móviles (MS) según su potencia de emisión

Clase	Potencia máx. MS	Potencia máx. BS
1	20 W (43 dBm)	320 W (55 dBm)
2	8 W (39 dBm)	160 W (52 dBm)
3	5 W (37 dBm)	80 W (49 dBm)
4	2 W (33 dBm)	40 W (46 dBm)
5	0'8 W (29 dBm)	10 W (40 dBm)
6	-	5 W (37 dBm)
7	-	2'5 W (34 dBm)

- **Método de acceso:** Este sistema utiliza el concepto de acceso multiplexado en dominio de tiempo (TDMA<sup>7</sup>)
- **PIRE<sup>8</sup> máxima de las BS:** del orden de 500 W por portadora.
- **Potencia nominal de las MS:** Las estaciones móviles (MS) pueden ser de varios tipos. Se definen 5 clases de MS según su potencia ( 2.1)
- **Potencia nominal de las BS:** Para las estaciones base tenemos 7 clases diferenciadas por 3 dB (el doble de potencia) ( 2.1).
- **Codificación del habla:** GSM utiliza la codificación lineal predictiva (LPC). El propósito de utilizar esta técnica de codificación es para reducir la velocidad de muestreo ('bit rate'). El LPC proporciona los parámetros necesarios para construir un filtro que simule el tracto vocal. La señal pasa a través de este filtro dejando una señal residual. El habla es codificada a 13 kbps.

El sistema GSM tiene su arquitectura y protocolos basados en el modelo de referencia OSI de 7 capas utilizado en sistemas de redes y telecomunicaciones [37].

<sup>7</sup>Este método de acceso multiplexado temporal incluye el FDMA, es decir multiplexado en dominio de la frecuencia.

<sup>8</sup>Llamamos *Potencia Isótropa Radiada Equivalente* o PIRE al producto de la potencia entregada a la antena ( $p_t$ ) por la ganancia directiva isótropa de la antena sin pérdidas ( $g(\theta, \phi)$ ), es decir:  $pire(\theta, \phi) = p_t g(\theta, \phi)$

### 2.6.2 Sistema DCS

En 1990 se congelan las especificaciones de GSM y en 1991 las del sistema gemelo DCS 1800 (GSM 1800). Se deja para una fase posterior (GSM Phase 2) la especificación de una serie de nuevos servicios. En 1991 se ponen en marcha los primeros sistemas de ámbito reducido, pero es a partir de 1992 cuando los principales operadores comienzan la explotación comercial de sus redes (en España esta explotación se pone en marcha en 1995).

Los sistemas DCS tienen las siguientes características:

- Utilizan la banda de 1710 a 1785 MHz en *up link* y la banda de 1805 a 1880 MHz en *down-link*.
- La separación entre dos frecuencias portadoras adyacentes son, igual como en GSM, 200 kHz. Así se dispone de 374 (entre los numerados como 512 y 885). radiocanales con frecuencias separadas para *uplink* y *downlink* como vemos en la siguiente expresión:

$$\left. \begin{aligned} F_{uplink}(n) &= 1710'2 + 0'2(n - 512) \\ F_{downlink}(n) &= F_{uplink}(n) + 95 \end{aligned} \right\} 512 \leq n \leq 885 \quad (2.6.2)$$

- La utilización de MS de baja potencia (de 0'25 a 1 W) hace que el tamaño de las celdas se reduzca entre 300 m (en microcélulas urbanas) y 5 km (macrocélulas rurales), utilizando por tanto BS de baja potencia (las cuatro últimas categorías de estaciones base en la tabla 2.1).
- Respecto a la modulación, continua utilizando GSMK y multiacceso TD-MA/FDMA.

### 2.6.3 Tecnologías de evolución a la tercera generación: GPRS

La gran cantidad de usuarios que tiene el sistema GSM hace que esté en continua evolución y en 1998 se publican las especificaciones del GPRS (*General Packet Radio Service*). El GPRS forma parte de la nueva orientación del proceso de estandarización *GSM phase 2+*.

Esta tecnología se implementa con la intención de mejorar la capacidad de transmisión de datos para dar soporte a nuevos servicios como acceso Intranet/Internet, servicios multimedia (como la videoconferencia), acceso remoto telemático, etc.

El propósito del GPRS es el de acomodar eficientemente los datos de los usuarios, de naturaleza pulsante, con un factor de actividad desde el 1% al 5%. De esta manera, podremos sacar provecho de esta peculiaridad incrementando el número de usuarios que comparten unos pocos canales, fijando un retardo de acceso máximo [38].

Otro aspecto importante del GPRS es la compatibilidad total con la arquitectura GSM. Los servicios de voz y los ofertados por GPRS han de ser capaces de coexistir en el mismo entorno con un mínimo de cambios en el sistema. Así que la mejor opción es incorporar recursos según la demanda del GPRS.

Como ya hemos avanzado, el GPRS permite que las redes GSM sean perfectamente compatibles con Internet. Los canales físicos utilizados en GPRS se llaman PDCH (*Packet Data Channel*) y son estructuras multitrama compuestas por 52 tramas TDMA, divididas en 12 bloques enviados en 4 tramas consecutivas cada uno y 4 tramas inactivas. Este sistema permite velocidades de transmisión desde 9.6 Kbps a más de 150 Kbps por usuario. Otras características importantes del GPRS son la inmediata conectividad, incorporación de protocolos tan extendidos como IP y X.25, GSM SMS y GSM MM

#### **2.6.4 Sistema UMTS**

Los sistemas IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications - 2000*), en los cuales se incluye la telefonía móvil UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) están siendo implantados progresivamente en diversos países (hasta la fecha ya están en Japón, Austria, ...). En nuestro país aún se encuentra en fase

de pruebas (hasta la fecha -04/2002-), aunque la fecha de comienzo de implantación ha sido postpuesta por diversos motivos (fallos en las pruebas del sistema, paralización de licencias de instalación de la red de BS, ...). Pese a todo su llegada es inminente y las mejoras del sistema son notables.

Las principales características de los sistemas de tercera generación, conocidos como IMT-2000, son un familia de estándares que tienen las siguientes características:

- Pueden ser usados en cualquier parte del mundo.
- Pueden ser usados para todas las aplicaciones móviles.
- Soportan la transmisión de datos de conexión por paquetes (PS-DT) y la de conexión circuital (CS-DT).
- Ofrecen alta capacidad de transmisión (hasta 2 Mbps dependiendo de la movilidad/velocidad)
- Ofrecen alta eficiencia espectral.

Respecto a las especificaciones técnicas de estos sistemas, las principales características son:

- Utilización de las bandas de 1885 a 2005 MHz para comunicaciones en *up-link* y la de 2110 a 2200 MHz para comunicaciones en *down-link*.
- Capacidad de transmisión de datos por el aire hasta una velocidad de 2 Mbps. Con compatibilidad de acceso a redes (Internet, ...).
- Utilización de multiacceso W-CDMA (*Wide Code Division Multiple Access*), el cual permite realizar radiocomunicaciones simultáneas utilizando la misma radiofrecuencia. En CDMA, cuando hay un cierto número de usuarios utilizando un mismo radiocanal, éste se divide asignando un *código de difusión* a cada usuario de manera que una comunicación no interfiere con la de los demás usuarios. De esta manera se proporciona gran capacidad y economía en las comunicaciones usando y controlando un único canal.
- El tipo de modulación utilizada es el QPSK.
- Las BS utilizan potencias entre 1 y 2 W, siendo necesaria la utilización de picoceldas para proporcionar la cobertura necesaria.

## Capítulo 3

# El medio ambiente y la salud

En este capítulo intentaremos exponer las razones que motivaron el tema de esta tesis, dado que en los últimos años el número de artículos en publicaciones científicas dedicados a las implicaciones sobre la salud de los campos electromagnéticos y su interacción con materia viva ha aumentado notablemente.

Organismos oficiales como la O.M.S. y otros, reclaman la necesidad de investigación sobre este tema debido al poco conocimiento que se tiene en la actualidad sobre este asunto. .

### 3.1 Introducción

El concepto de salud ha experimentado importantes cambios en los últimos años. En 1977, la Organización Mundial de la Salud se reunía por segunda vez en Alma-Ata (antigua U.R.S.S.) para evaluar críticamente su filosofía y su política





en materia de salud [43]. En esta reunión se propuso una nueva definición de salud. La salud ya no podía considerarse como la ausencia de enfermedad, ni tampoco resultaba válida la ambiciosa definición de “estado de bienestar total físico, psíquica y social”. Era necesario un enfoque nuevo más acorde con la realidad y las necesidades de la mayoría de la población mundial. Según los expertos reunidos en esta ocasión, la salud sería un recurso más para la vida, un derecho inalienable de todo ser humano, para el que, entre otros elementos, es imprescindible vivir en un *entorno saludable*.

Como fruto de las discusiones y planteamientos de dicha reunión, la OMS adoptó como política oficial el proyecto denominado «Salud Para Todos en el Año 2000» (parece ser que los objetivos no se cumplieron). Se trataba de una estrategia muy amplia y general cuyo objetivo último sería conseguir que “todos los habitantes de todos los países del mundo tengan el nivel de salud suficiente para trabajar y participar activamente en la vida social de la comunidad en que viven” [44]. Para llevar a cabo este proyecto, se elaboró una lista de 38 objetivos fundamentales, de los que 8 atienden específicamente a problemas relacionados con el medio ambiente [45].

Las nuevas tendencias en el campo de la salud conceden una gran importancia a las actuaciones sobre el medio ambiente. El concepto de medio ambiente abarca no sólo los aspectos clásicos: físico, químico y biológico, sino, en un sentido mucho más amplio, los medios urbanos, sociales y laborales. Aunque la medicina tradicional ha centrado prácticamente la totalidad de su actividad sobre el individuo, actualmente se destaca la importancia de atender con igual interés los aspectos relacionados con el ambiente en que las personas viven y se desarrollan. De ese modo, se ha insistido en la necesidad de crear “ambientes saludables”, de manera que las condiciones ambientales sean las más propicias para que la población mantenga un nivel de salud satisfactorio.

La promoción de la salud, un instrumento básico para conseguir los objetivos de la estrategia de «Salud Para Todos», reconoce explícitamente el hecho de que «tanto a nivel local como general, nuestra salud depende de cómo tratamos al medio ambiente y a la naturaleza. Las sociedades que explotan su medio ambiente sin prestar atención al equilibrio ecológico, sufren los efectos de esa explotación directamente sobre su salud» [46]. Por lo tanto, una de las metas fundamentales de la promoción de la salud es la de crear condiciones de vida y laborales seguras, sanas, estimulantes y placenteras.

### **3.2 Los campos electromagnéticos de microondas**

La hipótesis de que la exposición a radiofrecuencias (RF) puede producir perturbaciones sobre la salud ha estado contemplada en varios estudios epidemiológicos [47]. Leucemia infantil y tumores cerebrales han sido objeto mayoritario de análisis.

Estudios sobre las consecuencias clínicas de la exposición en los entornos de las estaciones de radar se han llevado a cabo desde instancias militares y civiles.

Hay que diferenciar entre la exposición a altos niveles de densidad de potencia (niveles térmicos), y a bajos niveles de densidad de potencia (niveles atérmicos):

- Niveles altos de exposición son aquellos con densidades de potencia RF por encima de 500 microwatios por centímetro cuadrado, por encima de los cuales existen efectos medibles de calentamiento de los tejidos. Estos se dan en los hornos de microondas, muy cerca (unos pocos metros) de las estaciones base de telefonía celular, repetidores de radio y televisión, y la emisión de los teléfonos celulares móviles (pegados a la oreja) y walkie-talkies.

- Niveles bajos de exposición: Del orden de 1 microwatio por centímetro cuadrado e inferiores, no tienen efectos térmicos medibles, por esa razón se llaman niveles atérmicos, y de existir algún efecto biológico, a estos niveles, se dice que es un efecto “no térmico”. Estos se dan lejos de las estaciones base de telefonía celular, lejos de los repetidores de radio y televisión.

Una sintomatología muy específica relacionada con bajos niveles de exposición fue acuñada con la terminología de “síndrome de microondas” o “síndrome de las radiofrecuencias”, (*microwave sickness or RF syndrome*) [48], [49]. Varios artículos encuentran reacciones adversas a muy bajos niveles de radiación, sin elevación de temperatura, indicando algún tipo de efecto “no térmico” [50], por debajo de las actuales recomendaciones de la Unión Europea, y la normativa vigente en España.

La norma vigente en España - Real Decreto Ministerio Presidencia 1066/2001[51]- se basa en la recomendación Europea 1999/519/CE DOCE 30/7/99, la cual a su vez está basada en la recomendación que promulga la ICNIRP (*International Commission for the Non-Ionizing Radiation Protection*)[34], la cual ha sido objeto de muchas críticas por parte de diversos sectores, tanto sociales como científicos[52].

Alrededor de las estaciones base de telefonía celular digital GSM-DCS (BS) encontramos bajos niveles de RF. Estas BS se sitúan normalmente en las azoteas de edificios altos, para dar la cobertura necesaria en zonas urbanas con edificios de varias alturas, o sobre altos mástiles para dar cobertura en zonas semi-rurales o con poca densidad de población (generalmente con viviendas de dos plantas).

En telefonía GSM, las BS, como ya explicamos en el capítulo 2, normalmente disponen de tres sectores, con tres antenas cada uno, cubriendo una zona angular de 120 grados cada sector. Cada sector hace uso de entre una y seis frecuencias portadoras, o canales de RF (FDMA). Dentro de cada canal RF hay un reparto

en el tiempo de acceso (TDMA), de forma que cada canal de RF puede atender entre 1 y 8 usuarios. Cada BS puede atender simultáneamente del orden de 48 usuarios.

La portadora esta modulada en frecuencia binaria con filtro Gaussiano (GMSK). La portadora de microondas se divide en 8 slots de tiempo. Cada 8 slots de tiempo forman una trama TDMA. El tiempo de cada slot es  $\frac{15}{26}ms = 576.9\mu s$ ; así una trama dura 4.613 ms.

Esta señal recogida sobre un diodo, tiene una frecuencia de aproximadamente 8 Hz, esto es una frecuencia extremadamente baja (ELF). Teniendo en cuenta que los pulsos de radar tienen una frecuencia de repetición de entre  $100ms = 100000\mu s$  a  $50ms = 0.05\mu s$ , podemos inferir una similitud respecto a su filtrado con una unión n-p (diodo). En otros términos, simplificando, diríamos que ambas son señales pulsadas de corta duración que transportan armónicos de baja frecuencia [19].

Varios trabajos indican alteraciones neurológicas bajo la exposición a ondas VHF moduladas a bajas frecuencias (ELF) [53], [54], y el síndrome de microondas se ha relacionado con la exposición a bajos niveles de señal de radar (del orden de microwatios por centímetro cuadrado).

Estos antecedentes, unidos a las quejas de los vecinos que viven en los entornos de las estaciones base de telefonía celular digital (GSM-DCS), podrían ser de importancia para las autoridades sanitarias, en vistas de sus posibles efectos sobre la salud. En este sentido los síntomas relacionados con el síndrome de microondas habría que verlos como “alarmas biológicas” que nos avisan de una acción más profunda a largo plazo.

### 3.3 Efectos a largo plazo: mecanismos

Entre los posibles efectos a largo plazo reportados en la literatura científica y que resultan más temibles encontramos un aumento de la probabilidad en leucemia infantil[55], igual como en distintos tipos de tumoraciones, también alteraciones del sistema inmunológico y hormonal. El mecanismo a través del cual se pueden producir estos efectos está relacionado con la influencia sobre el flujo de iones calcio sobre la membrana celular. Esta influencia se produce a niveles muy bajos de densidad de potencia, y está relacionada con la frecuencia de modulación [56], [31].

La concentración de ión calcio ( $Ca^{++}$ ) en las células se relaciona con la fidelidad en la replicación del ADN, el AMP que regula el aporte de energía, y la actividad de la proteína kinasa C [57],[58].

Walleczek [59], [60]: El sistema inmunológico produce células asesinas que atacan las células cancerosas (en un intento de defensa del organismo vivo -sistema inmunológico-), las células cancerosas son el blanco del ataque. Estas células asesinas son los linfocitos-T, el acto de destruir las células blanco se llama citotoxicidad. La citotoxicidad de los linfocitos-T se reduce en un 20% bajo la irradiación de ondas moduladas armónicas de 450MHz a niveles de 1500 microwatios por centímetro cuadrado [61].

Las alteraciones hormonales están relacionadas con la supresión del incremento de melatonina en la sangre por la noche [62]. Las distintas concentraciones de melatonina afectan los niveles de otras hormonas. La disminución de melatonina aumenta la secreción de hormonas esteroideas, estrógenos y testosterona, también incrementa los niveles de prolactina procedente de la glándula pituitaria [63]. Estas alteraciones hormonales incrementan la tasa de proliferación de los tejidos del pecho e inhiben al sistema inmunológico, esto es consistente con un aumento

del riesgo de cáncer de pecho.

### 3.4 Efectos sobre la secreción de Melatonina

La mayoría de seres vivos puede distinguir el día de la noche gracias a una serie de fotoreceptores, que en los humanos están situados en los ojos. Estos fotoreceptores se caracterizan por la capacidad de transformar los campos electromagnéticos en señales neuronales. Una de las innumerables conexiones neuronales garantiza la comunicación entre el ojo y la glándula pineal o epífisis, situada en el epítalamo en la parte posterior del diencéfalo, al lado del mesencéfalo. La epífisis es una glándula endocrina que segrega la hormona de la melatonina, esta secreción está relacionada con la cantidad de luz solar existente[12].

En el campo macroscópico, los ritmos circadianos (sueño-vigilia) están gobernados por campos de muy baja frecuencia (ELF) y de muy baja densidad de potencia (inferior a 0.0003 microWattios por centímetro cuadrado). Un elemento muy importante es la secreción de la neurohormona melatonina. La falta de luz sobre la retina estimula su secreción, alcanzándose altas concentraciones por la noche, que llegan a todo el organismo. Los mecanismos bioquímicos son ampliamente conocidos, siendo su principal función la antioxidante, eliminando radicales libres (-OH) [63], por esa razón, la melatonina, es probablemente una de las defensas naturales más eficientes que existen contra el cáncer. Al envejecer disminuye su producción, de ese modo las personas mayores presentan mayor tendencia al desarrollo de tumoraciones. La melatonina es claramente un potente protector celular ante la iniciación del cáncer. Según Russell Reiter [63]:

«La reducción de los niveles de melatonina por la noche, ante cualquier circunstancia, incrementa la vulnerabilidad a alteraciones debidas a agentes cancerígenos. De ese modo, si de hecho la exposición a los campos electromagnéticos artificiales incrementa la incidencia de cancer en los humanos, un posible mecanismo podría tener en consideración una reducción de melatonina como consecuencia de dicha exposición.... Los epidemiólogos deberían mirar por otros posibles efectos, incluyendo la depresión, la fatiga, degradación del sueño, ansiedad, somnolencia, trastornos endocrinológicos y otros síntomas; todos ellos resultarían de una crónica baja secreción de melatonina».

Existe un mecanismo bioquímico según el cual el ión calcio  $Ca^{++}$  media en la respuesta de los neurotransmisores en la membrana de las células pineales [62]. Es probable que los pinealocitos expuestos a microondas moduladas a bajas frecuencias (ELF) experimenten un desalojo de iones  $Ca^{++}$ , una reducción de la actividad transmisora de la cAMP y una reducción de la producción de melatonina. Este sería el mecanismo que explicaría porque la exposición a microondas moduladas a bajas frecuencias (ELF) reduce la producción de melatonina con sus consecuencias para la salud.

Los niveles óptimos de melatonina se asocian con un sueño de calidad y también puede comprobarse mediante medidas EEG (ElectroEncéfaloGramma). Niveles inadecuados de melatonina se asocian a una ineficiencia del sueño, pérdida de energía, fatiga crónica, pérdida en la capacidad de concentración de aprendizaje y de memoria [64], [65], [66].

El trabajo de Altpeter et al. [12], es consecuencia de muchos años de protesta de parte de los vecinos hacia una estación emisora de onda corta (3-30 MHz) en Schwarzenburg (Suiza). En dicho trabajo se estudian tres zonas A-B-C con

densidades de potencia media 0.24-0.024-0.0004 microWattios por centímetro cuadrado. Altpeter hace un estudio del síndrome de microondas encontrando valores significativos ( $p < 0.05$ ) en síntomas relacionados con la calidad del sueño los cuales justifican dichas quejas. También estudia los niveles de melatonina en humanos (mediante muestras de orina<sup>1</sup>) y en animales vacunos (mediante muestras de saliva), no encuentra una relación directa entre la secreción de melatonina y la exposición a CEM, aunque concluye que esta falta de relación estadística debe ser tratada con extremo cuidado y reclama la necesidad de investigar más sobre esta vinculación.

### 3.5 Efectos sobre la actividad de la Ornitino Decarboxilasa (ODC).

Al ser un efecto relacionado con la frecuencia, el grado de coherencia de la señal ELF o la frecuencia de modulación puede ser relevante. [67].

Litovitz et al. [68] investigaron este asunto usando células fibroblastos L929 de ratón expuestas a microondas de 915 MHz moduladas a 55, 60 y 65 Hz, con un SAR de  $2.5 \frac{W}{kg}$ . Encontraron que, como para las señales ELF, se necesitaba un período de coherencia de unos 10 s para obtener un refuerzo completo de la ODC.

Un año más tarde, usando una señal modulada a 60 Hz, superpusieron ruido que contenía frecuencias desde 30 a 90 Hz [69]. Determinaron que el refuerzo completo de la ODC se obtenía cuando el valor rms del ruido era menor que la décima parte de la señal coherente. Estos resultados podría haber sido influidos

---

<sup>1</sup>Esta elección se hace a partir de un estudio de Barsch et al. (1992) y otro Wilson et al. (1990), aunque pensamos que la relación de subproductos de la melatonina en la orina es menor que en la sangre (aunque también se han de incluir cuestiones prácticas en el estudio)



por el ruido térmico de la señal de microondas usada que era bastante intensa. No se encontró ningún efecto sobre el flujo del ion  $Ca^{++}$  a valores de SAR iguales o superiores a  $0.2 \text{ W/kg}$  (si consideramos  $\sigma = 1.2S/m$ , y que  $S = 530.5/\sigma \cdot SAR$  en  $\frac{mW}{cm^2}$ , obtenemos que  $S = 88.4 \frac{mW}{cm^2}$ ), pero se encontraron efectos muy significativos entre  $0.00015 \frac{W}{kg}$  y  $0.075 \frac{W}{kg}$  (entre  $0.066$  y  $33.156 \frac{mW}{cm^2}$ ).

También podemos encontrar evidencias de que las microondas son promotoras del cáncer usando mecanismos atérmicos que actúan a nivel de membrana celular [70]. Sumiyoshi et al. realizaron una aplicación directa al estudio del cáncer producido por microondas en animales y humanos [71]. Según ellos:

”La ODC es una encima reguladora en la biosíntesis de poliaminas, ligada a una proliferación de células normales y neoplásticas. Se ha sugerido que la inducción de la ODC juega un papel muy importante en la proliferación de tumores incluyendo la carcinogénesis de piel, de vejiga urinaria, de estómago y de colon en modelos de roedores. [...] Los estudios realizados han mostrado que los niveles de mucosidad colónica humana de la actividad de la ODC son menores en la mucosa colónica de sujetos control sanos, pero se ve incrementada en la mucosa de los sujetos aparentemente normales con pólipos colónicos y de pacientes con cáncer de colon”

Yoshida et al. [72], investigando niveles de génesis de ODC en cánceres humanos, encontraron que la razón de ODC mRNA en tumores comparada con la del tejido normal era  $14.6 \pm 3.7$  para todos los cánceres esofageales,  $2.9 \pm 0.9$  para el cáncer de estómago,  $2.1 \pm 0.9$  para el cáncer de colon y  $0.9 \pm 0.2$  para tumores hepáticos.

Las investigaciones realizadas muestran que la ODC, una encima que regula el crecimiento en el camino de transducción de la señal de la poliamina, se ve mejorada en un cierto número de líneas celulares, incluyendo la células humanas, en presencia de radiación ELF o radiación RF/MW modulada con ELF. El mecanismo, como ya hemos dicho, es aún desconocido, pero podría bien involucrar la

proteína quinasa C en un receptor sobre la superficie de la membrana celular [73]. Esto es relevante para los mecanismos y canales de transducción de señal en la formación y promoción del cáncer, por ello encontramos que los niveles de ODC son altamente elevados en tejidos neoplásticos en muchos cánceres humanos. La relación entre procesos de transducción de señal, crecimiento celular, diferenciación y transformación neoplástica de células es muy compleja [50].

Es importante comentar que muchos genes, conocidos como oncogenes, son claramente análogos a receptores de membrana o a moléculas que toman parte en los canales de transducción de señal activados por receptores membrana. Los medios reguladores intracelulares, como el ciclo de división de la célula y la promoción de diferenciación y expresión génica son muy probables que estén moduladas por una multitud de caminos de transducción de señal en células normales y en células neoplásticamente transformadas [74].

Evidentemente, cualquier influencia ambiental, como los campos electromagnéticos, que modifiquen los medios de transducción de señal en células normales podría también influir en los medios potencialmente tumorigénicos en células susceptibles, bien mediante el aumento de la probabilidad de la transformación por otros estímulos tumorigénicos o bien mediante la acción directa de un proceso tumorigénico [50].

De esta manera no es necesario hacer hipótesis, como han hecho algunos investigadores, sobre que los EMF (campos electromagnéticos) pueden causar daños o alterar en la expresión génica en las células directamente. Mediante la influencia de los medios de la transducción de señal, que por otra parte puede regular la proliferación celular, la diferenciación celular e incluso la transformación a un fenotipo canceroso, potencialmente los EMF pueden estar implicados en un huésped de procesos de enfermedad, sin entrar en la membrana celular de manera significativa [74].



## Capítulo 4

# Medidas de niveles de radiación electromagnética en diversas poblaciones de la Comunidad Valenciana

En este capítulo se expone el protocolo que se ha desarrollado para la medida de la densidad de potencia de RF/MW ambiental asociada a las estaciones base (BS) de telefonía móvil celular digital. Este protocolo ha sido aplicado a mediciones en diversas poblaciones y ha demostrado su eficacia en la descripción estadística de los niveles instantáneos de densidad de potencia electromagnética.

También expondremos el método seguido para la evaluación de la evolución temporal de la densidad de potencia emitida en el entorno de las estaciones base (BS) de telefonía móvil durante diversos períodos de tiempo, estudiando la periodicidad de los niveles a efectos de futuros estudios de dosimetría electromagnética. El método seguido es similar al utilizado en la medida y análisis de la evolución temporal del ruido acústico.

## 4.1 Protocolo de medidas de densidad de potencia de RF/MW

### 4.1.1 Medidas y su justificación

La potencia disminuye con el cuadrado de la distancia a las antenas. Como vimos en capítulos anteriores, la potencia también depende del tipo de estación, y de la orientación respecto de las antenas, debido a su diagrama de radiación. También existe el fenómeno de “multipath”, interferencia de señales que recorren caminos diferentes, que ocasionaría interferencias constructivas y destructivas dando lugar a una gran variabilidad espacial en la medida del campo eléctrico. Por último, es posible que se sumen los efectos de dos estaciones base de distintas operadoras.

La penetración de microondas dentro de las viviendas depende de todos los factores comentados en el párrafo anterior, pero también depende de factores constructivos<sup>1</sup>, tales como el tipo de estructura, el número de ventanas, tamaño y orientación, así como el grosor y materiales de las paredes. La irradiación en las habitaciones de las viviendas depende del número y tipo de paredes que se interponen entre estas y la estación base (BS). También se observan ciertos efectos de guiado en los pasillos dependiendo de la orientación relativa de la vivienda respecto a las antenas.

Las medidas de los niveles instantáneos de irradiación alrededor de las estaciones base nos permiten estimar los puntos de máxima irradiación, principalmente en zonas habitadas. A partir de esos máximos y teniendo en cuenta factores de atenuación en paredes y demás estructuras próximas, podremos deducir las cotas en las cuales estarán los niveles en las distintas zonas de las viviendas.

---

<sup>1</sup>Como vimos en el capítulo 1, la dependencia radica en las propiedades dieléctricas y las pérdidas de los materiales.

Tabla 4.1: Pérdidas al atravesar diferentes tipos de paredes un campo radiado de microondas [2]

Tipo de Pared	mínimo (dB)	típico (dB)	máximo (dB)
Gruesa (25cm) cemento sin ventanas	10	13	18
Doble (2x20cm) de cemento . Interior	14	17	20
Delgada (10cm) de cemento. Interior	3	6	7
Pared de cemento. Pequeñas ventanas	3	4	5
Pared de acero (1cm) con ventanas	9	10	11
Pared de Cristal	1	2	3
Cristal reforzado	7	8	9
Cemento 20cm y ventanas grandes		5.4	
Cemento 30cm		9.4	
Ladrillos 63cm		4.0	
Ladrillos 70cm		4.5	
Cemento poroso		6.6	

En la tabla 4.1 vemos indicadas las pérdidas de inserción al atravesar distintas estructuras constructivas. En ella se muestran los niveles de atenuación a los que normalmente se ven sometidas las microondas al atravesar un medio material.

#### 4.1.2 Procedimiento

El primer paso, existan o no fuentes emisoras cercanas, consistirá en medir el campo eléctrico total en varios puntos. Este campo eléctrico es la suma de todas las señales radioeléctricas presentes en el aire, incluirá las emisiones de Radio en FM, Televisión. emisoras de radio diversas, teléfonos inalámbricos, emisiones de Estaciones Base (BS) de telefonía móvil, y emisiones de los teléfonos móviles. Si el valor del campo eléctrico total no supera el límite correspondiente, seguro que la estación base (BS) en consideración tampoco lo hace, y cumple la norma

que corresponda. De lo contrario se deberán realizar medidas para discriminar la frecuencia de la estación base, para averiguar su contribución a la radiación total.

Para medir el campo eléctrico total se utiliza inicialmente un medidor de gran ancho de banda, el LX-1435 (ver anexo 2). Este mide y suma todas las señales radioeléctricas presentes en el aire desde 1 MHz a 3000 MHz. El medidor ha sido calibrado en la Cámara Anecoica de la Universitat de València. La calibración se realizó desde 45 MHz hasta 3000 MHz, con un analizador de redes HP-8510C. Se calibró la antena, y el medidor por separado. No dispone de memoria para almacenar las medidas, ni de ningún programa de adquisición de datos. Las medidas son anotadas en papel según se van realizando. Las medidas aparecen en una pantalla de cuarzo líquido, y son instantáneas. La lectura de la pantalla se corresponde con el nivel de campo eléctrico en ese determinado punto y en ese instante.

En los puntos donde detectamos valores significativos de campo total recurriremos al analizador de espectros IFR-2398, que permite medir la potencia a cada frecuencia en las bandas GSM-DCS. El analizador de espectros nos permite discernir que nivel de potencia es atribuible a cada fuente radioeléctrica desde 9 KHz a 2700 MHz, y en particular a cada estación base. La medida con el analizador de espectros indicará la potencia por cada canal de comunicación. Como las estaciones base de GSM y DCS emiten (down-link) de 935 a 960 MHz, y de 1805 a 1880 MHz respectivamente, las medidas las realizamos en esas dos bandas, sintonizando el analizador en las bandas correspondientes. Los aparatos y accesorios de medida que hemos utilizado son:

- Un analizador de espectros modelo IFR-2398 preparado para medidas EMC con autocalibración automática.
- Dos sondas calibradas en las bandas 0.9-0.96 GHz y 1.8-1.9 GHz.
- Cable semi-rígido especificación 1-3636-463-5296 de Richardson Electronics.
- Un trípode no metálico.

- Medidor de ancho de banda 1MHz-3.0GHz, modelo LX-1435.

#### 4.1.3 Medidas en banda ancha (1 MHz-3000 MHz)

El medidor es sensible a la polarización en un plano, debido al diseño de su antena. Para detectar el valor del campo, sin influencias por reflexión en nuestro cuerpo, lo mantenemos alejado con el brazo horizontal, a una altura aproximada de 1.35 m, y lo giramos en polarización. Siempre procuramos mantener una distancia mínima de 1 metro a la pared, acercándonos más si hay una ventana. Hay una gran variabilidad espacial de la lectura del campo eléctrico. Esto es debido a las estructuras de ondas estacionarias y al fenómeno "multipath" -reflexiones en estructuras colindantes- que ocasionan lecturas variables según el punto, alcanzándose valores máximos y mínimos.

Las medidas en cada punto también son variables en el tiempo, por depender de fluctuaciones en las fuentes de emisión. En el caso de las estaciones base depende del número de usuarios en cada canal (portadora) y del número de portadoras en funcionamiento. Todas las medidas del LX-1435 se dan en  $V/m$ , para pasar a  $W/m^2$  se deben elevar los  $V/m$  al cuadrado y dividir por 377 ohmios. Los  $W/m^2$  se pasan a microwatios por centímetro cuadrado multiplicándolos por 100. Las medidas se van anotando según nos desplazamos por cada zona de medida.

Las medidas se indican en cada punto, localizándolas espacialmente. Se indica la distancia horizontal aproximada a cada BS. En la medida se busca el máximo en cada zona. Cuando aparecen varias medidas en una zona, cada una de ellas corresponde a un punto. Si aparecen dos o más medidas, estas indican varios puntos de una zona extensa, o de una zona con gran variabilidad en la medida. Cuando aparece una sola medida, esta indica la lectura máxima en dicha zona, con poca variabilidad. Los valores de las medidas se pasan a valores de densidad



de potencia en microwatios por centímetro cuadrado,  $\mu W/cm^2$ . Las medidas en interiores se han realizado en condiciones de normales<sup>2</sup> en la vivienda o zona de trabajo/estudio.

#### Selección de los puntos de medida en banda ancha

Los puntos de medida se eligen de forma heurística alrededor de cada estación base (BS). Se mide en las calles colindantes, y en los edificios se mide planta a planta. Se eligen las zonas a las que apuntan cada uno de los sectores de la BS. Si la BS tiene tres sectores, se eligen tres zonas de 120 grados cada una alrededor de la BS. Si la BS tiene cuatro sectores se eligen cuatro zonas, y así sucesivamente.

#### 4.1.4 Medidas en banda estrecha

Combinando un analizador de espectros con una sonda calibrada se pueden hacer medidas puntuales de densidad de potencia frecuencia a frecuencia. Este tipo de medidas las hemos realizado con un analizador de espectros modelo IFR-2398, preparado para medidas de Compatibilidad Electromagnética (EMC). Es aconsejable una sonda isótropa de banda ancha, en caso de no disponer de ella, se pueden hacer medidas con una sonda de una única polarización en dos direcciones perpendiculares, para luego sumar ambas potencias.

Las sondas de medida conectadas al analizador, son dos dipolos  $\lambda/2$ , con ganancia conocida en la banda de frecuencias 935-960 MHz y 1805-1880 MHz. El cable que conecta las sondas de medida con el analizador es de tipo semi-rígido especificación 1-3636-463-5296 de Richardson Electronics con pérdidas inferiores a 1 dB en la banda 9 KHz-2.0 GHz.

Todas las medidas se efectúan en condiciones de campo lejano, guardando una

---

<sup>2</sup>Por condiciones normales entendemos las que se presentan habitualmente en cada casa sin que cumpla ningún requisito especial para la medida de los campos electromagnéticos.

distancia superior a 70 cm entre las sondas y las paredes, o de cualquier estructura metálica que actúe reflejando. Las sondas se posicionan sobre un trípode de plástico a una altura de 1.35 m.

El analizador mide la potencia recogida por la sonda en dBm. Los dBm son unidades de potencia con referencia a 1 mW. La conversión de dBm en mW se hace efectuando la operación:

$$\text{Potencia en mW} = 10^{\left(\frac{\text{Potencia en dBm}}{10}\right)} \quad (4.1.1)$$

El analizador de espectros permite medir la potencia asociada a cada frecuencia  $f$ . Esta lectura debe de ser corregida con las pérdidas del cable de conexión y los conectores, que son de aproximadamente 1 dB, en la banda DC-1000 MHz:

$$\text{Potencia en mW corregida} = \text{Potencia en mW} \cdot 10^{\left(\frac{1}{10}\right)} \quad (4.1.2)$$

La lectura del analizador en dBm se corrige con las pérdidas del cable y se convierte en unidades de densidad de potencia en  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , a través del área efectiva de la sonda de medida, que depende de la frecuencia  $f$ .

$$S(f) = \frac{\text{Potencia leída en el analizador}(f)}{A_e(f)} \quad (4.1.3)$$

El factor  $A_e$ , llamado área efectiva de la antena está relacionado con la Ganancia y la frecuencia a través de la relación:

$$A_e(f) = G(f) \cdot \frac{c^2}{4\pi f^2}$$

siendo:  $c = 2.99798 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , la velocidad de la luz en el aire y  $G(f)$  la ganancia de la antena.

Teniendo en cuenta todos estos factores, deducidos para dos sondas tipo dipolo, calibradas en la Cámara Anecoica de la Universitat de València (ver anexo 4), se obtiene la densidad de potencia GSM o DCS asociada a cada canal, y se calcula la

potencia total sumando cada uno de los canales. Aunque haya una sola portadora en funcionamiento, como el número de estas por BS oscila de 1 a 9, es fácil deducir cual será la densidad de potencia máxima cuando las nueve portadoras estén operando. La máxima densidad de potencia en un determinado punto se obtendrá multiplicando la de una portadora por el número total de portadoras, que es el caso en que la estación base está saturada.

## 4.2 Niveles de radiación en diversas poblaciones de la Comunidad Valenciana

### 4.2.1 Medidas instantáneas de densidad de potencia

La medida de la densidad de potencia instantánea permite conocer en un determinado instante los niveles de potencia a los que está sometida una determinada zona. De esta manera y mediante una adecuada cartografía de estos niveles podemos conocer las zonas de mayor densidad de potencia (esta cartografía la hemos realizado en el caso de la ciudad de Sueca en la comarca de la Ribera Baixa y en una sección posterior la expondremos).

Hemos aplicado este protocolo de medida en diversas ciudades. La primera, Silla, es una ciudad pequeña con unos 16208 habitantes (en el 2001), la segunda, Paterna, es una ciudad mayor con unos 46974 habitantes. La tercera, Algemésí, tiene 24563 habitantes, la cuarta, Sueca, tiene 25371 habitantes y la quinta, Paiporta, con 18860 habitantes<sup>3</sup>. En esta última ciudad hemos medido a nivel de la calle, de manera que los niveles de densidad de potencia pueden diferir de los niveles que se pueden encontrar dentro de las viviendas.

La tabla 4.2 muestra el número de estaciones base (BS), el número de medidas

---

<sup>3</sup>Los datos poblacionales han sido extraídos del censo realizado por el I.N.E. en el 2001 (puede ser consultado en <http://www.ine.es/censo2001/pobcen01menu.htm>).

Tabla 4.2: Descripción estadística de las medidas realizadas en diversas poblaciones

Ciudad	Nº Habitantes	Nº BS	Nº medidas	Potencia media ( $\mu W/cm^2$ )	Desv. Estándar ( $\mu W/cm^2$ )
Silla	16208	5	74	2'0969	2'8003
Paterna	46974	13	1696	1'323	1'9950
Algemesí	24563	6	736	0'6510	1'1856
Sueca	25371	6	1023	0'1575	0'5946
Paiporta	18860	5	707	0'1654	0'3443

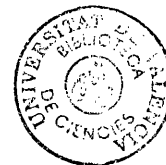
Tabla 4.3: Distribuciones estadísticas de las medidas realizadas en diversas poblaciones

Ciudad	$S < 0'1 \mu W/cm^2$ (%)	$0'1 < S < 1 \mu W/cm^2$ (%)	$1 < S < 4 \mu W/cm^2$ (%)	$S > 4 \mu W/cm^2$ (%)
Silla	16'22	39'19	21'62	22'97
Paterna	26'89	40'39	20'93	11'79
Algemesí	34'92	47'28	15'22	2'58
Sueca	78'10	18'38	3'13	0'39
Paiporta	71'95	24'25	3'80	0'00

realizadas y datos estadísticos realizados con estas medidas. La tabla 4.3 presenta la distribución estadística de densidades de potencia en bandas viene dada por los siguientes porcentajes en cada una de las ciudades.

#### 4.2.2 Medidas en Banda Estrecha

A partir de las medidas en banda ancha se seleccionan los puntos de medida en banda estrecha. Las medidas se realizan con el trípode situado en el mismo punto, haciendo medidas en tres instantes distintos. En las tablas de resultados se presenta la densidad de potencia máxima y la media detectadas, efectuada la



corrección de la sonda (área efectiva), y las pérdidas del cable. Las medidas en diversos puntos de las mismas portadoras pueden presentar una ligera variación en la frecuencia, esto se debe al error de apreciación en la determinación del máximo para cada canal, sin llegar nunca a solaparse dos canales.

De todas las poblaciones en la que hemos realizado medidas de banda ancha, y por lo tanto de banda estrecha, seleccionamos algunas de las medidas realizadas en diversas poblaciones como representativas de distintas situaciones.

En el municipio de Paterna se han realizado 17 medidas en banda estrecha, una por antena. Las situaciones más representativas las podemos observar en las tablas 4.4, 4.5, 4.6.

**Referencia: punto alejado del casco urbano.**

**Características de la medida:** a 2000m de la BS más próxima. Hay cobertura de telefonía.

**Distancia aproximada en horizontal:** 2000m de la BS más próxima.

Se elige este punto de medida, porque tiene una medida en banda ancha muy baja y hay cobertura. Podemos ver la distribución de la densidad de potencia en frecuencia<sup>4</sup> en la tabla 4.4.

**C/. San Jacinto, 3, Pta.13 (Paterna)**

**Características de la medida:** Las medidas se hacen en el comedor. Entre antenas y sonda se interponen las ventanas y la pared de la fachada. Todas las habitaciones con vista a calle San Andres reciben densidades de potencia similares.

**Distancia aproximada en horizontal a la BS:** 105 m a antenas BS-Amena y más de 300 m de antenas BS-Airtel.

Se elige este punto de medida porque un sector de BS-AMENA apunta en

---

<sup>4</sup>No existe señal apreciable de DCS sobre el nivel de ruido en el IFR-2398

Tabla 4.4: Densidad de potencia medida en un punto alejado del casco urbano

f(MHz)	S media	S máxima ( $\mu W/cm^2$ )
930.84	0.0000	0.0002
931.50	0.0000	0.0000
932.16	0.0001	0.0003
935.40	0.0002	0.0003
936.42	0.0000	0.0001
938.04	0.0000	0.0000
939.90	0.0002	0.0004
940.80	0.0000	0.0002
941.46	0.0002	0.0003
943.20	0.0001	0.0001
944.04	0.0000	0.0000
945.54	0.0000	0.0000
951.96	0.0000	0.0000
952.74	0.0000	0.0000
956.46	0.0000	0.0000
958.68	0.0000	0.0001

S media ( $\mu W/cm^2$ ) Total GSM	0.0010
S media ( $\mu W/cm^2$ ) Total DCS	0.0000
S media ( $\mu W/cm^2$ ) Total GSM+DCS	0.0010

esta dirección a las ventanas, es el último piso, y las medidas en banda ancha son relativamente altas. En la tabla 4.5 podemos ver la distribución de la densidad de potencia en frecuencia.

#### **C/Mestre Joan Magal Benzó, 1 pta 5. (Paterna)**

Se elige este punto de medida por ser las medidas en banda ancha elevadas. En la tabla 4.6 podemos ver la distribución de la densidad de potencia en frecuencia.

En el Paiporta se han hecho 5 medidas en banda estrecha, una por antena. Las situaciones más representativas las podemos observar en las tablas 4.7, 4.8.

#### **C/. Mestre Palau, 3, pta 10, 5º piso (Paiporta)**

**Características de la medida:** Realizada a  $d = 15m$  de una BS de Telefónica. Existe una pared entre sonda y las antenas de telefonía móvil. La medición está hecha en el dormitorio.

La tabla 4.7 nos muestra la distribución de la densidad de potencia en frecuencia.

#### **C/. Antonio Machado, 12, pta 8, 4º piso (Paiporta)**

**Características de la medida:** Realizada a  $d_1=250m$  de una BS de Telefónica y a  $d_2=200$  m de una BS de Vodafone. Existe una ventana entre sonda y la BS. La medición está hecha en el comedor.

En la tabla 4.8 podemos ver la distribución de la densidad de potencia en frecuencia.

### **4.2.3 Cartografía de niveles radioeléctricos**

Tabla 4.5: Espectro de densidad de potencia medida en C/. San Jacinto, 3, Pta.13 de Paterna

f(MHz)	S media	S máxima ( $\mu W/cm^2$ )
935.35	0.0001	0.0001
936.48	0.0001	0.0002
937.74	0.0001	0.0001
938.82	0.0003	0.0004
941.40	0.0003	0.0003
942.24	0.0001	0.0001
943.32	0.0000	0.0001
944.82	0.0001	0.0001
945.60	0.0002	0.0003
946.62	0.0001	0.0001
947.52	0.0001	0.0001
949.44	0.0004	0.0008
950.04	0.0004	0.0006
950.64	0.0005	0.0007
951.96	0.0005	0.0009
952.38	0.0007	0.0012
954.12	0.0004	0.0011
955.08	0.0000	0.0001
956.22	0.0011	0.0017
957.72	0.0000	0.0000
959.40	0.0000	0.0000
1863.20	0.9545	1.7542
1870.40	0.5876	1.1095
1870.40	0.5876	1.1095
1872.80	0.5518	1.0038
1875.20	0.6142	1.2977
1877.60	0.7073	1.5072

S media ( $\mu W/cm^2$ ) Total GSM	0.0055
S media ( $\mu W/cm^2$ ) Total DCS	4.0029
S media ( $\mu W/cm^2$ ) Total GSM+DCS	4.0084



Tabla 4.6: Espectro de densidad de potencia medida en C/Mestre Joan Magal Benzó, 1 pta 5. de Paterna

f(MHz)	S media	S máxima ( $\mu W/cm^2$ )
937.30	0.0009	0.0010
937.80	0.0001	0.0001
938.60	0.0001	0.0002
939.10	0.0010	0.0016
939.90	0.0001	0.0002
941.30	0.0004	0.0006
942.20	0.0001	0.0002
943.10	0.0001	0.0002
944.00	0.0003	0.0004
945.40	0.0004	0.0006
946.10	0.0001	0.0001
948.30	0.0005	0.0006
948.70	0.0010	0.0016
949.40	0.0001	0.0001
950.00	0.0001	0.0002
951.50	0.0006	0.0010
955.70	0.0006	0.0010
956.30	0.0001	0.0001
957.40	0.0001	0.0001
958.30	0.0001	0.0001
958.60	0.0001	0.0001
1864.00	0.0018	0.0029
1866.00	0.6005	0.7001
1867.00	0.0045	0.0071
1868.00	0.7001	1.1095
1870.00	0.0206	0.0279
1871.00	0.6005	0.7001
1872.00	0.0012	0.0018
1872.00	0.0130	0.0177
1873.00	0.8162	1.1095
1875.00	0.0152	0.0177
1876.00	0.3789	0.4417
1877.00	0.1759	0.2787

S media ( $\mu W/cm^2$ ) Total GSM	0.0070
S media ( $\mu W/cm^2$ ) Total DCS	3.3282
S media ( $\mu W/cm^2$ ) Total GSM+DCS	3.3352

Tabla 4.7: Espectro de densidad de potencia medida en C/. Mestre Palau, 3, pta 10, 5º piso de Paiporta.

f (MHz)	S media( $\mu W/cm^2$ )	S máxima ( $\mu W/cm^2$ )
937.62	0.0593	0.1108
939.24	0.0131	0.0377
941.22	0.0331	0.0498
941.76	0.0413	0.0654
942.60	0.0502	0.0723
945.00	0.0028	0.0036
946.26	0.0108	0.0295
947.58	0.0031	0.0042
949.62	0.0018	0.0030
950.28	0.0005	0.0043
951.42	0.0029	0.0052
952.98	0.0033	0.0048
953.46	0.0009	0.0044
954.96	0.0001	0.0002
957.36	0.0026	0.0040
958.20	0.0000	0.0001
959.52	0.0002	0.0002
1875.80	0.0008	0.0014
1873.60	0.0004	0.0016
1870.80	0.0008	0.0010
1869.20	0.0001	0.0002
1868.80	0.0005	0.0013
1866.60	0.0012	0.0027
1864.00	0.0001	0.0001

S media( $\mu W/cm^2$ )-GSM	0.2261
S media( $\mu W/cm^2$ )-DCS	0.0041
S media( $\mu W/cm^2$ )-Total	0.2301

Tabla 4.8: Espectro de densidad de potencia medida en C/. Antonio Machado, 12, pta 8, 4º piso de Paiporta.

f (MHz)	S media( $\mu W/cm^2$ )	S máx( $\mu W/cm^2$ )
935.22	0.0001	0.0002
937.62	0.0025	0.0056
939.30	0.0004	0.0005
940.92	0.0303	0.0682
941.82	0.0013	0.0033
942.60	0.0017	0.0036
945.06	0.0560	0.0871
946.32	0.0001	0.0002
947.58	0.0410	0.0691
949.20	0.3002	0.4553
951.00	0.2878	0.4140
952.20	0.2868	0.3753
954.60	0.2757	0.3709
958.20	0.3120	0.3795
959.46	0.0020	0.0037
1876.20	0.0041	0.0076
1873.80	0.0059	0.0091
1871.20	0.0034	0.0054
1869.00	0.0056	0.0072
1867.00	0.0041	0.0082
1864.00	0.0011	0.0014

S media( $\mu W/cm^2$ )-GSM	1.5980
S media( $\mu W/cm^2$ )-DCS	0.0241
S media( $\mu W/cm^2$ )-Total	1.6221

La localización y visualización gráfica de los niveles de densidad de potencia electromagnética es importante, como ya hemos mencionado anteriormente, para que en caso de ser necesaria una actuación correctiva o simplemente de control comparativo se pudiese actuar de manera eficiente. Su identificación mediante un código de colores hace más sencilla su evaluación a la hora de realizar estudios simplemente prospectivos (para saber los niveles límites de densidad de potencia a los que están expuestos los viandantes), ya que es mucho más difícil intentar relacionar los niveles medidos en la calle con los medidos dentro de la vivienda (esto supondría encontrar un factor que explicara la atenuación dentro de la vivienda).

La complejidad es mayor si consideramos la variación temporal, ya que los niveles radioeléctricos varían tanto temporal como espacialmente, pero este tema lo trataremos separadamente en otra sección debido a la dificultad que entraña el control espacio-temporal de estos niveles. Sería prácticamente inviable y una tarea extremadamente larga medir la variación temporal en cada punto de medida que considerásemos dentro de un reticulado sobre el plano de la ciudad, en esto se asemejaría al estudio de los niveles sonoros en el entramado viario de una ciudad.

La representación de los niveles de potencia se debería hacer espacialmente (con coordenadas  $x,y,z$ ), pero aquí se plantea la dificultad de presentación en un cartograma 2D de estos niveles, ya que la coordenada  $z$  (la altura) es un parámetro muy importante para su representación, porque el patrón de directividad de la antena de la BS hace que los niveles más elevados se presenten en un ángulo de unos  $30^\circ$  a partir de la línea de horizonte de la antena, por lo que su representación requeriría varias secciones 2D en altura y entraña una gran dificultad práctica a la hora de realizar las mediciones, por la necesidad de un medio de elevación para los medidores y el hecho que los habitantes de las viviendas no siempre están disponibles o no se prestan a colaborar. Por otra parte, también se puede plantear el estudio en los dos casos extremos: el más desfavorable que es a nivel de la antena

(o en los edificios colindantes en las últimas plantas) y el más favorable que es a nivel de la calle.

En nuestro caso hemos realizado estudiado la distribución, en el caso más favorable, de densidad de potencia electromagnética de la ciudad de Sueca en la banda horaria vespertina (desde las 17 h a las 20 h, evitando así los intervalos horarios críticos<sup>5</sup>). Hemos de especificar que las medidas han sido realizadas a nivel de la calle, por la dificultad de representar estos niveles a diferentes alturas y dentro de los edificios.

Esta ciudad, con sus aproximadamente 26000 habitantes, reúne todas las situaciones en las que nos podemos encontrar instalada una estación base de telefonía móvil en el interior de un núcleo habitado. En su núcleo urbano se ubican cinco estaciones base, en cuyas zonas de influencia-cobertura podemos encontrar, tanto barrios con calles relativamente estrechas, como barrios con calles anchas, y algunas con amplias avenidas.

Las estaciones base (BS) son:

- BS-1: Telefónica. Mástil de aproximadamente 25m de altura situado en C/. Pío Muñoz, en local de telefónica al lado de la Guardería Infantil de la parroquia de la Milagrosa (ver Figura 4.1). Dispone de varios sectores y varios tipos de antenas para Moviline, Movistar-900 y Movistar-1800. Aunque los canales ocupados son de Movistar-900.
- BS-2: Amena. BS de tres sectores en C/. Dos Pontets, en edificio de seis alturas enfrente del Ambulatorio de Sueca- Centro de especialidades (ver Figura 4.2).
- BS-3: Vodafone. BS de tres sectores en Avenida del País Valencià, en edificio

---

<sup>5</sup>Por *intervalo horario crítico* nos referimos a aquel que corresponde a un cambio de tarifa (reducida o no) o bien al período nocturno en el que la actividad de llamadas (comunicaciones *up-link*) es más reducido



Figura 4.1: Fotografía panorámica de la situación de la BS-1

de siete alturas, en frente del polideportivo municipal (ver Figura 4.3).

- BS-4: Vodafone. BS de tres sectores en C/. Mare de Déu, en edificio de siete alturas, al lado del Hogar del Jubilado (ver Figura 4.4).
- BS-5: Telefónica. BS de tres sectores situada en Ronda de Espanya, edificio de cuatro alturas sobre el Restaurante Llopis, enfrente de los Juzgados (ver Figura 4.5).

Desde el punto de vista del impacto ambiental, lo más importante es que todos esos entornos los podemos encontrar muy próximos, de manera que todos estos emplazamientos están sometidos a unas mismas condiciones ambientales y están expuestos a los mismos agentes externos (contaminación aire, calidad de aguas, etc.). Esto, que en principio parece una obviedad, nos asegura ciertas condiciones ambientales uniformes que evitarán posibles sesgos estadísticos incontrolados a la



Figura 4.2: Fotografía de la situación de la BS-2

hora de evaluar la respuesta subjetiva. Por supuesto que deberemos considerar todos estos condicionantes, pero el hecho de que estos agentes externos sean los mismos en todos los entornos, nos permite tratar de forma más superficial estos elementos y centrarnos en el estudio de los niveles de radiación ambiental.

El hecho de tener cerca entornos tan diferentes no es tan fácil de conseguir, pues en los pueblos donde las calles estrechas del centro están cerca de las calles más anchas, de reciente urbanización, apenas se tiene una estación base, o dos a lo sumo. En cambio, en las grandes ciudades donde tenemos gran cantidad de estaciones base, los diferentes tipos de paisajes urbanísticos están alejados unos de otros. En cambio, en ciudades medianas como Sueca se combinan estas dos condiciones. Además, al encontrarnos toda esta variedad arquitectónica en un espacio localizado nos asegura una homogeneidad en el aspecto humano de la zona bajo estudio, que ha resultado muy importante a la hora de interpretar los

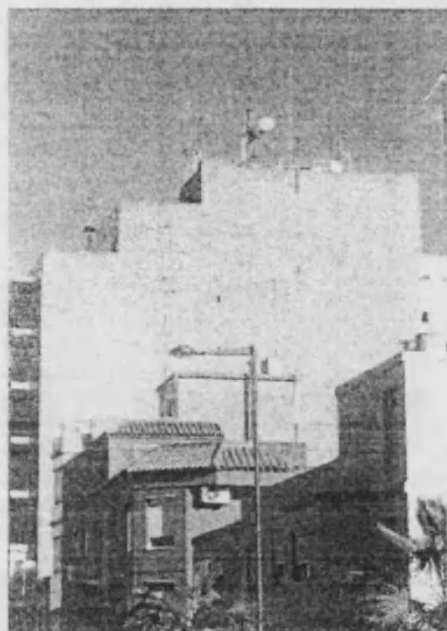


Figura 4.3: Fotografía de la situación de la BS-3

resultados.

Código de colores en los mapas de las figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10:

- Azul: inferior a  $0.05 \mu W/cm^2$
- Verde: entre  $0.05$  y  $0.1 \mu W/cm^2$
- Amarillo: de  $0.1$  a  $1.0 \mu W/cm^2$
- Rojo: más de  $1.0 \mu W/cm^2$

Zona de influencia de BS-4 y BS-5: El paisaje urbanístico que nos encontramos en los alrededores de la calle "Mare de Déu" queda determinado por largas y rectas calles, de unos 12 m de anchura en su gran mayoría. El hecho de que las calles no sean demasiado anchas junto con edificios relativamente altos explica los bajos niveles de polución radioeléctrica encontrados a pié de calle en esta zona. Pues, sólo en la esquina de la calle "Mare de Déu" con la calle "Sant Josep" se observa



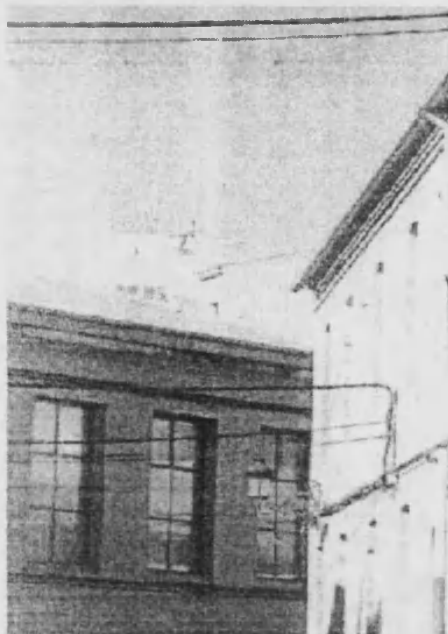


Figura 4.4: Fotografía de la situación de la BS-4

una densidad de potencia superior a los  $0.1 \mu W/cm^2$ . El aumento de la radiación electromagnética al final de la calle “Mare de Déu” y la “Placeta del Convent” no son debidas a la antena situada en esta calle, sino a la instalada en la esquina de “Mestre Serrano” con “Ronda de Espanya”. Esta estación base, tiene un sector que apunta en dirección a la carretera CN-332, hacia Cullera, otro hacia Valencia hacia los Juzgados de 1ª Instancia y La Residencia de Ancianos San José -zona sensible<sup>6</sup>-, y otro hacia la Calle S. Isidro Labrador (Carrer ataud) y Avinguda Mestre Serrano, en esas direcciones se observan altas densidades de potencia, por la baja altura de las antenas, y sobre todo por ser BS-5, una estación base que soporta muchos canales operativos (Telefónica Móviles).

---

<sup>6</sup>Según el RD 1066/01, “en la planificación de las instalaciones radioeléctricas, los titulares de las mismas deberán tener en consideración [...] de manera particular, la ubicación, características y condiciones de funcionamiento de las estaciones radioeléctricas debe minimizar, en la mayor medida posible, los niveles de emisión sobre espacios sensibles, tales como escuelas, centros de salud, hospitales o parques públicos”.

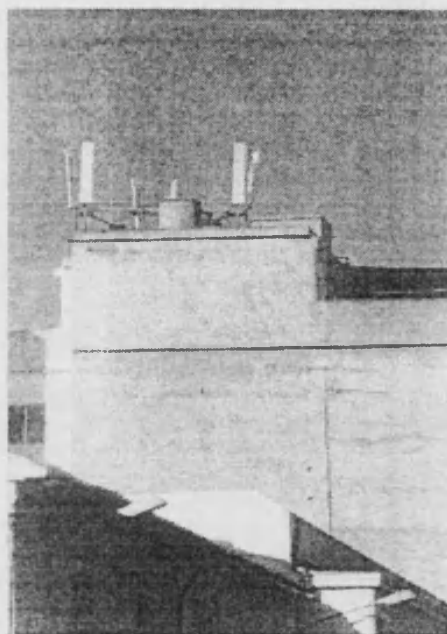


Figura 4.5: Fotografía de la situación de la BS-5

En la zona de la avenida “Mestre Serrano” predominan calles relativamente anchas (unos 15 m), con casas de dos alturas. Por eso, los niveles de densidad de potencia medidos son mayores. En esta zona cabe destacar la presencia de dos avenidas como “Ronda de Espanya” y “Mestre Serrano” de anchura superior a los 20 m. Los niveles de potencia medidos en estas dos avenidas son relativamente altos porque en casi cualquier punto de estas avenidas tenemos visión directa de las antenas, en estos casos los niveles son relativamente mas altos que cuando llega la señal por sucesivos rebotes o a través de obstáculos. En estas dos calles se puede comprobar el efecto de sombra que ejercen los propios edificios y el “efecto paraguas”<sup>7</sup>. En las cercanías del edificio donde está situada la antena, la densidad

---

<sup>7</sup>Efecto paraguas: Las antenas son muy directivas, lo cual quiere decir que tienen un alto grado de concentración de la radiación en la dirección perpendicular a sus paneles, por esta razón la densidad de potencia suele ser mayor lejos de las antenas siempre que haya visión directa de la antena emisora -sin obstáculos-



Figura 4.6: Mapa global de Sueca



Figura 4.7: Mapa de la zona de C/. Mare de Déu.

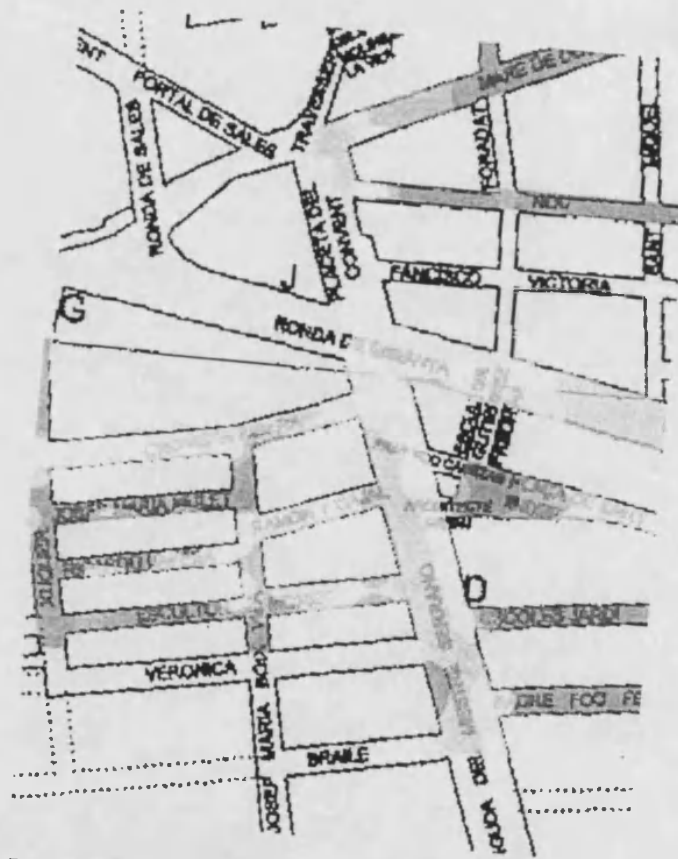


Figura 4.8: Mapa de la zona Mestre Serrano





Figura 4.10: Mapa de la zona de C/. Pío Muñoz

las calles en las que se encuentran las antenas y en los pisos altos con vista directa de los sectores o con pocos obstáculos, este es el caso del Centro de Atención Sanitaria de la Seguridad Social -zona sensible- y los edificios altos de la Calle Les Palmeres. Especialmente en esta zona se pone de manifiesto el hecho de que aumenta la densidad de potencia electromagnética en los cruces de dos calles y con la altura. Los elevados niveles de radiación observados en la calle “Bernat Alinyó” provienen de la antena situada en la calle “Pío Muñoz”.

La BS-1 esta situada en la C/. Pío Muñoz, en un edificio de Telefónica con

un mástil de aproximadamente 25m y multitud de sectores con GSM-900, DCS-1800 y Moviline. En la zona de "Pío Muñoz" predominan las calles estrechas con alternancia de casas bajas (de dos alturas) y edificios altos (de 5 ó 6 alturas), por lo que los niveles de densidad de potencia electromagnética son bajos y altos según haya mayor o menor bloqueo. En esta zona, sólo encontramos niveles de radiación elevados en la propia calle "Pío Muñoz" y en gran parte de la calle "Patilots". También en la calle "Almussafes" se observa un aumento de la contaminación radioeléctrica debido a que la orientación de uno de los sectores de la antena situada en la "Pío Muñoz" (BS-1) apunta hacia la calle "Almussafes". BS-1 está justo al lado de la Guardería Infantil la Milagrosa, -zona sensible- donde, a pesar de la altura del mástil, se observan niveles relativamente altos de densidad de potencia, debido principalmente a la cantidad de canales operativos y a su concentración espacial.

### 4.3 Medidas continuas de densidad de potencia

El seguimiento temporal de la densidad de potencia electromagnética permite un conocimiento más objetivo de la exposición a radiación no ionizante en un determinado lugar. De hecho, nos permite tener un conocimiento más profundo sobre la densidad de potencia a la que está expuesto un determinado objeto durante intervalos temporales distintos. Se recogen u analizan medidas continuas a lo largo de períodos de 30 minutos, 24 horas y una semana.

La realización de estas mediciones han sido posibles gracias a las modificaciones que hemos realizado en el LX-1435 en el taller de electrónica del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de València (UVEG), mediante las cuales hemos adaptado al circuito original un registrador consistente en un conversor A/D de 8 bits conectado a una memoria con capacidad de 1800 muestras. El registrador



se puede programar para distintos intervalos temporales de muestreo, siendo el tiempo mínimo de muestreo 1 s. Además está provisto de disparo retardado para iniciar las medidas en el instante deseado.

### 4.3.1 Medidas continuas a lo largo de una semana

A partir de la medida de la densidad de potencia durante las 24 horas podremos calcular el nivel de SAR (*Specific Absorption Rate*) al que se está expuesto en un nivel promedio (ver sección 1.4) un objeto inanimado o tejido vivo en una ubicación concreta.

La elección de una distribución que describa este conjunto de medidas, que conforman una distribución no simétrica, no es trivial y su parametrización depende de esta elección [75]. Nuestra elección sobre el conjunto de datos se realiza a partir de la observación del histograma y la distribución teórica a la que se hace referencia para ajustar los datos registrados es una distribución gaussiana, aunque se pueden utilizar otros tipos de distribuciones<sup>8</sup>. Una de las posibilidades es la distribución estadística de Rayleigh, que es característica de la propagación multitrayecto [6],[40] y se rige por la función densidad de probabilidad:

$$p(r) = \frac{r}{b} \exp\left(-\frac{r^2}{2b}\right) \quad \text{siempre que } r \geq 0 \quad (4.3.1)$$

donde  $b = \frac{\bar{r}^2}{2}$  es la mitad del valor cuadrático medio de  $r$  y  $r$  es la variación estadística de la señal resultante de la propagación multitrayecto cuando los diferentes rayos tienen amplitudes similares y fases aleatorias.

Como ya hemos dicho, se pueden considerar otros tipos de distribuciones de contraste como prueba para el estudio de la distribución de las medidas registradas. Estos han resultado aceptables en algunas de ellas, variando según la

---

<sup>8</sup>Se han utilizado otras posibles distribuciones para ajustar este tipo de distribuciones como son combinaciones de distribuciones lognormales, exponenciales, ... [76].

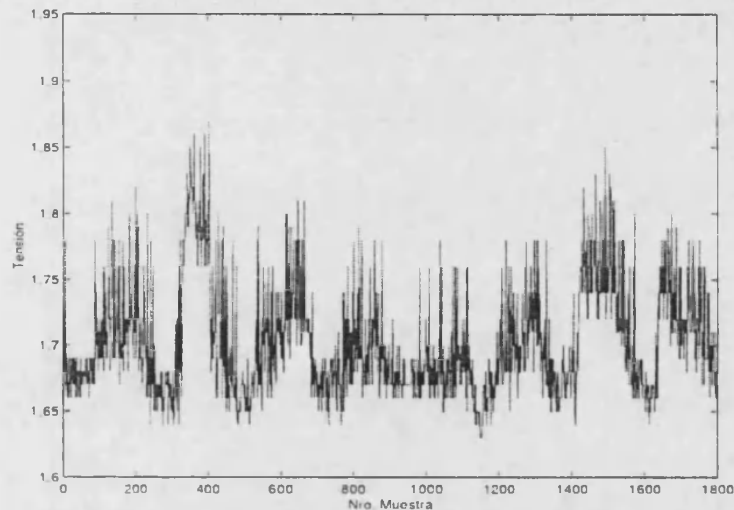


Figura 4.11: Historia temporal de las medidas de una semana en Paiporta a  $d=10$  m de la BS desde las 23:00h del 6/02/2002 al 15/02/2002.

distancia a la antena, o bien a causa del tráfico de llamadas, o simplemente por las variaciones de las condiciones atmosféricas.

### Medidas en Paiporta

En la figura 4.11 vemos la evolución de los niveles de potencia durante los 7 días de la semana en C/. Carretera Benetuser, 9, pta 5, 4º piso. El período de muestreo es de 6 minutos.

En el gráfico observamos que existe una variación de niveles periódica (similar a la obtenida en el caso del ruido acústico). Esta periodicidad está supeditada al tráfico y la ocupación de canales que haya en cada instante. También el nivel de potencia de fondo puede variar dependiendo de las condiciones atmosféricas[17], esto afecta al nivel de densidad de potencia promediado durante cada día.

En la figura 4.13 hemos representado un histograma de la densidad de potencia medida en los 1800 puntos de la figura 4.11 que recogen las medidas durante una

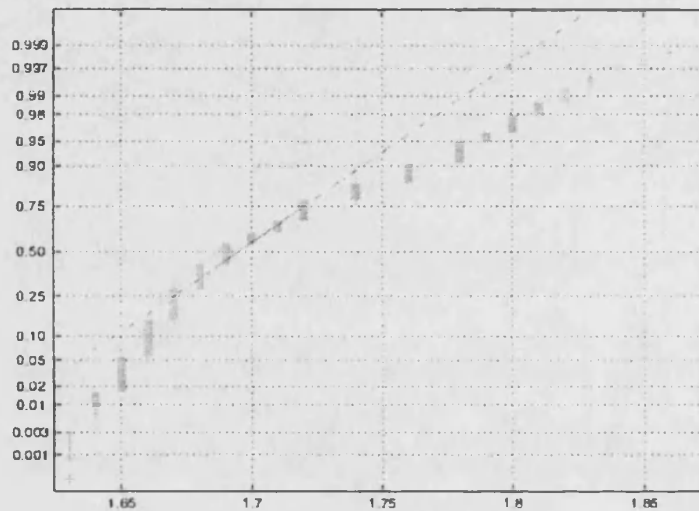


Figura 4.12: Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas de Paiporta.

semana en Paiporta. En la figura 4.12 vemos que hay una ligera desviación de la distribución normal. Si la distribución fuera normal, la media sería una medida representativa del valor esperado de las medidas.

### Medidas en Algemés

Algemés es una ciudad de 24563 habitantes. Su especial situación y buena comunicación (tiene buena comunicación con la autopista A-3, autovía N-340, ferrocarril) la hacen estar dotada suficientemente para ser un lugar conveniente de transacciones comerciales y especialmente dotado para la industria, aunque en la actualidad no haya demasiadas empresas que estén interesadas. Las principales fuentes de ingresos son la agricultura y las actividades generadas a partir del sector servicios.

En su término municipal podemos encontrar 6 estaciones base de telefonía móvil: 5 situadas en el casco urbano y una en zona agrícola, de estas 2 BS son de

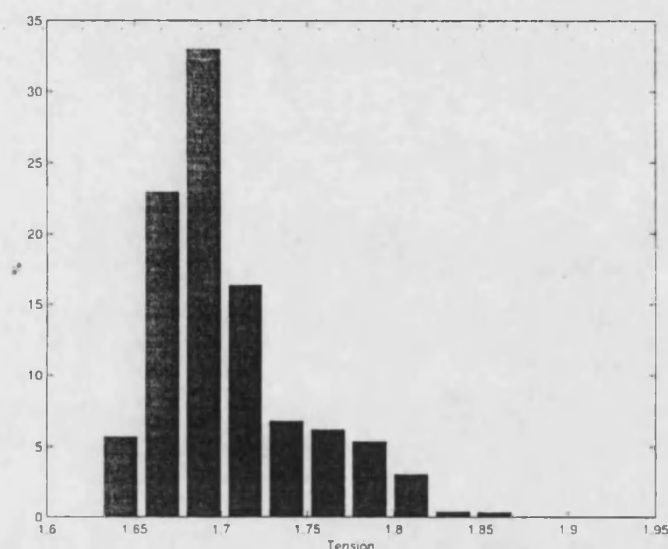


Figura 4.13: Histograma de las medidas durante una semana en Paiporta.

Telefónica Móviles, 2 de Amena y 2 de Vodafone. Las identificamos como:

- BS-1 a la BS de Amena ubicada en C/ Sant Josep de Calassanç,1,
- BS-2 a la BS de Vodafone y BS de Telefónica Móviles localizadas en C/ Muntanya, 3,
- BS-3 a la BS de Telefónica Móviles ubicada en C/ María Auxiliadora,
- BS-4 a la BS de Amena situada en C/Santiago Apóstol,32.
- BS-5 a la BS de Vodafone situada en C/ Albalat (cerca de la gasolinera)
- BS-6 a la BS de Telefónica Móviles localizada en zona rural (en frente del centro "Coop. La Salut").

Se realizaron medidas de una semana, registrando niveles cada 6 minutos en diversas localizaciones:

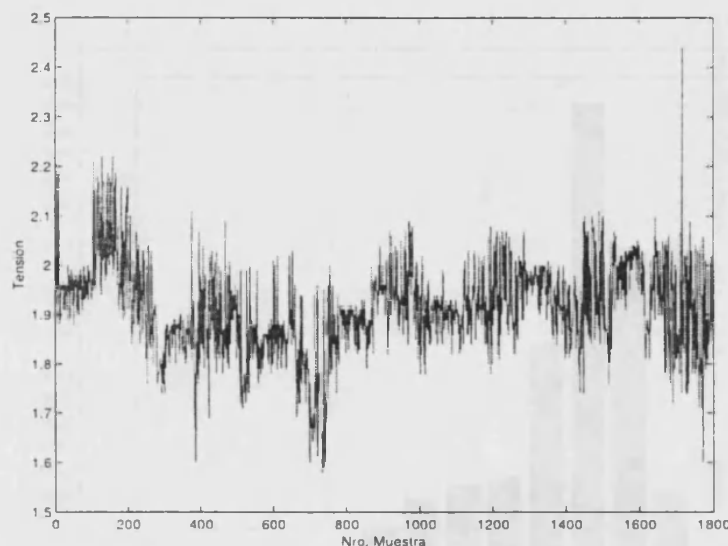


Figura 4.14: Historia temporal de las medidas de una semana en C/ St. Josep de Calassanz,1 de Algesesí a  $d < 5$  m de la BS-1 desde las 23:00h del 12/04/2002 a las 00:54h 20/04/2002.

- En C/Sant Josep Calassanz,1 (a menos de 5 m de BS-1).
- En el Parc Salvador Castell último piso (a unos 300m de una BS-2).
- En la Plaça de la Ribera, pis 5 (a 100 m de la BS-3).
- En la Avda. Bernat Guinovart, ático (a 150 m de la BS-5).

En C/Sant Josep Calassanz,1 hay una BS justo encima del piso donde realizamos la medida y otra a unos 100 m. En la figura 4.14 observamos una cierta periodicidad y al analizar su histograma vemos que hay poca desviación de la distribución gaussiana.

En la segunda ubicación donde colocamos el registrador (Parc Salvador Castell, 31) hay una BS a unos 300 m apuntando directamente al edificio donde situamos el medidor.

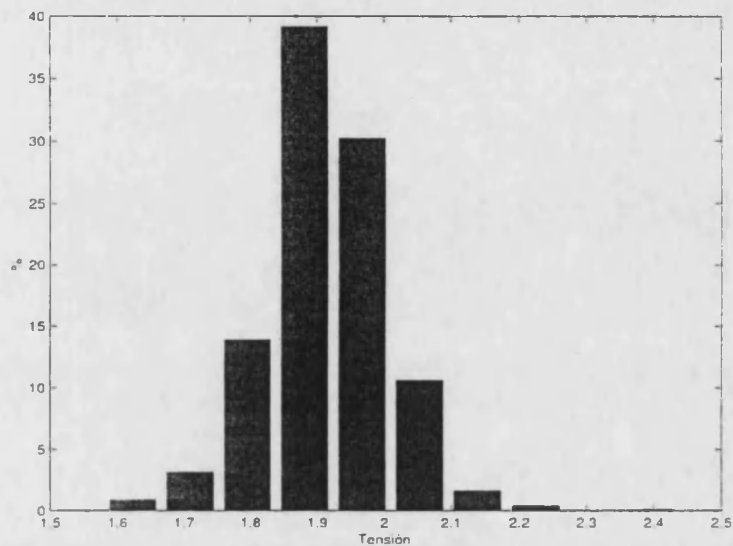


Figura 4.15: Histograma de las medidas durante una semana en C/ St. Josep de Calassanz,1 de Algemesí.

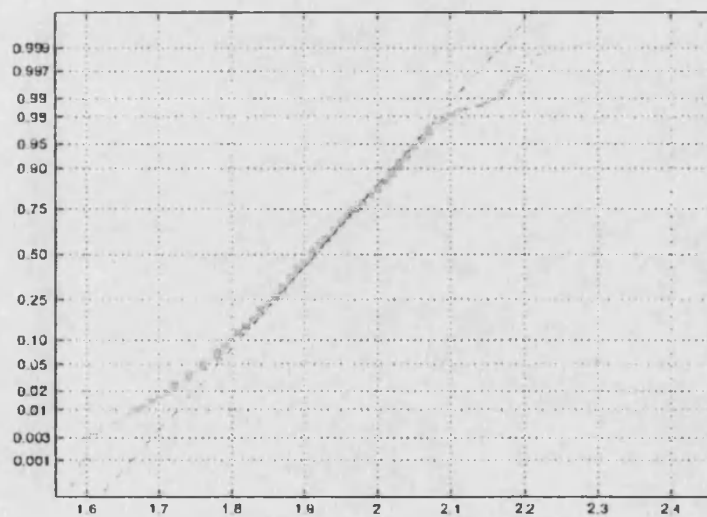


Figura 4.16: Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas en C/ St. Josep de Calassanz,1 de Algemesí.

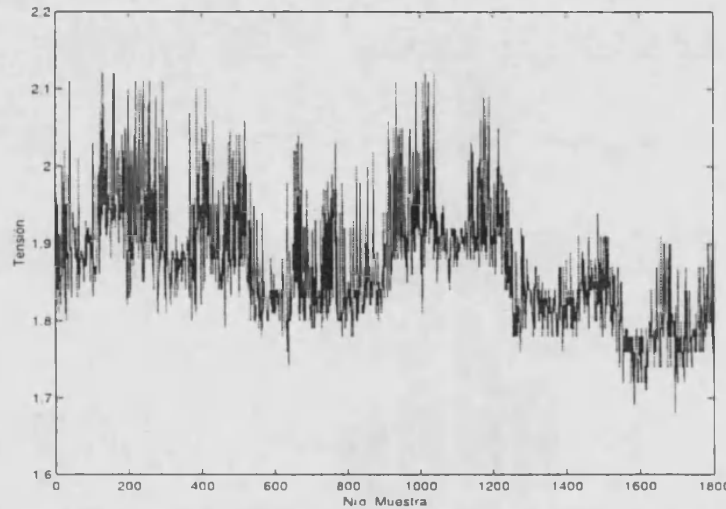


Figura 4.17: Historia temporal de las medidas de una semana en Parc Salvador Castell de Algemés a  $d=300$  m de la BS-2 desde las 21:30h del 2/05/2002 a las 23:24h 9/05/2002.

En la figura 4.17 observamos una cierta periodicidad y vemos que hay poca desviación de la distribución gaussiana.

En la Plaça de la Ribera, pis 5 situamos el medidor en un piso a unos 100 m de la BS de telefónica (BS-3).

En la figura 4.20 observamos que existe una cierta periodicidad diaria y vemos que hay poca desviación de la distribución gaussiana en niveles bajos (Figura 4.22), lo cual también nos indica un cierto carácter aleatorio.

En la Avda. Bernat Guinovart (ático) situamos el medidor en un piso a unos 50 m de una BS de Vodafone (BS-5).

En la figura 4.23 observamos una periodicidad diaria y que el nivel de fondo aumenta según pasan los días de la semana. También vemos que hay una cierta desviación de la distribución gaussiana (Figura 4.25) en los extremos del histograma (Figura 4.24).

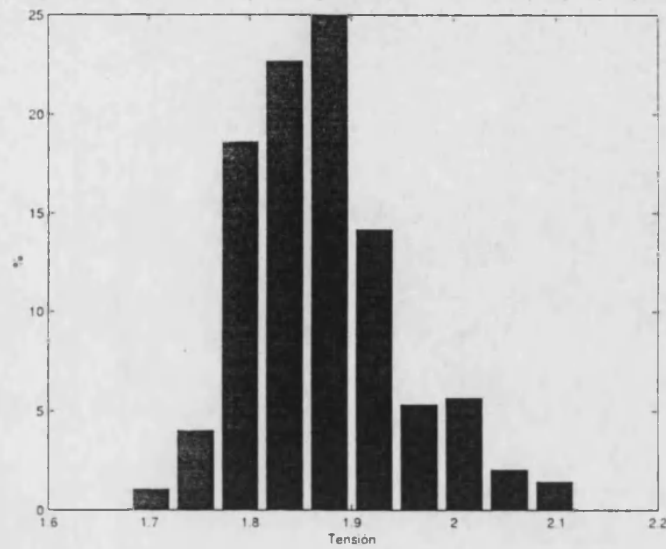


Figura 4.18: Histograma de las medidas durante una semana en Parc Salvador Castell de Algemésí.

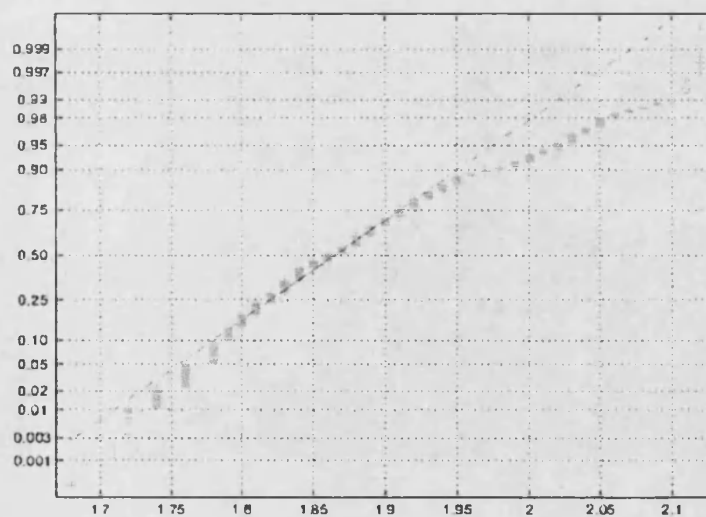


Figura 4.19: Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas en Parc Salvador Castell de Algemésí.



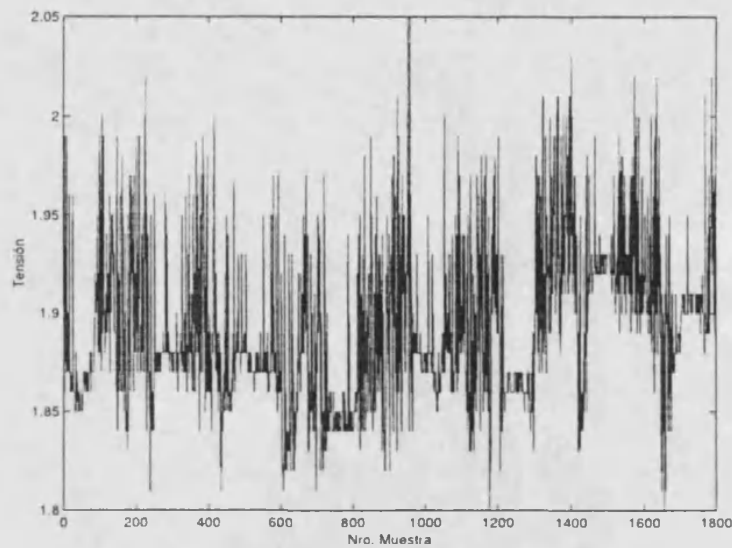


Figura 4.20: Historia temporal de las medidas de una semana en Plaça de la Ribera, pis 5 de Algemesí a  $d=100$  m de la BS desde las 23:00h del 24/05/2002 a las 10:54h del 1/06/2002.

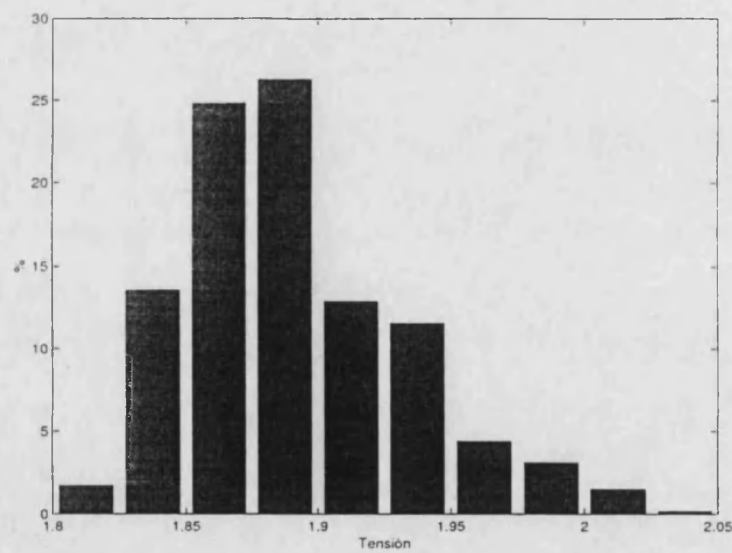


Figura 4.21: Histograma de las medidas durante una semana en Plaça de la Ribera, pis 5 de Algemesí.

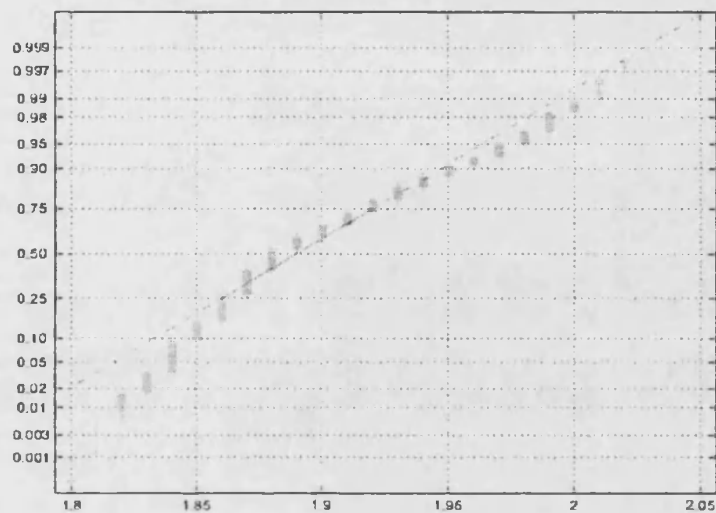


Figura 4.22: Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas en Plaça de la Ribera, pis 5 de Algemesi.

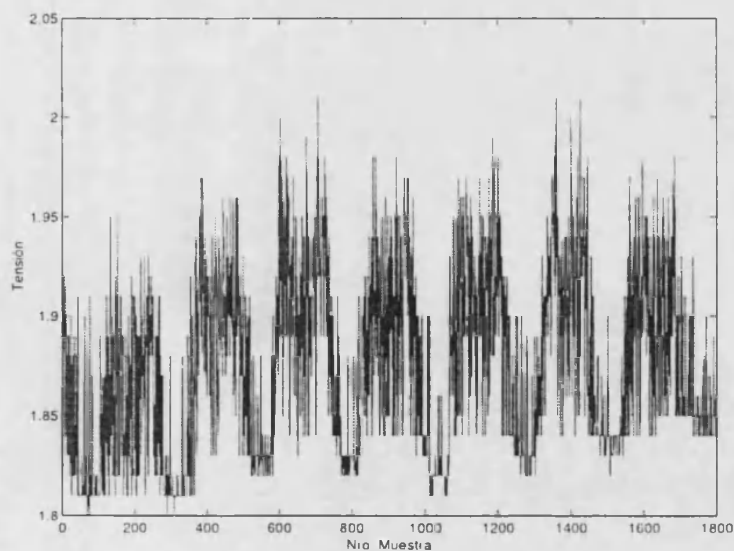


Figura 4.23: Historia temporal de las medidas de una semana en Avda. Bernat Guinovart de Algemesi a  $d=50$  m de la BS-5 desde las 22:00h del 23/06/2002 a las 9:54h del 1/07/2002.

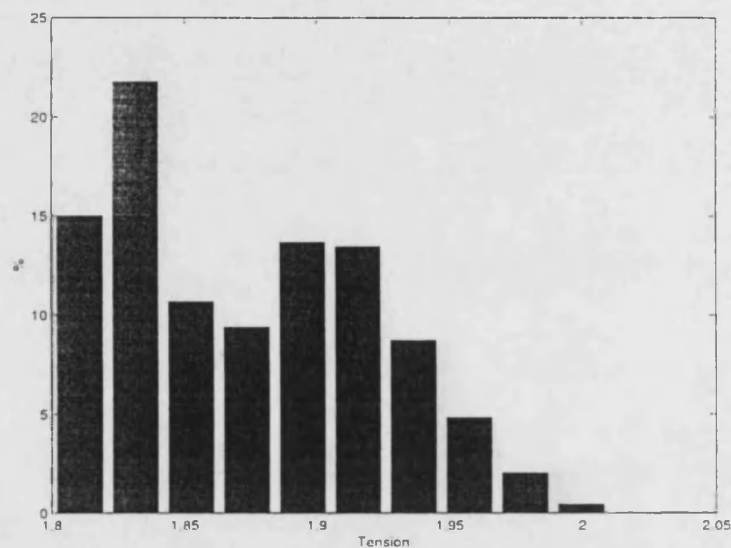


Figura 4.24: Histograma de las medidas durante una semana en Avda. Bernat Guinovart (ático) de Algemesí.

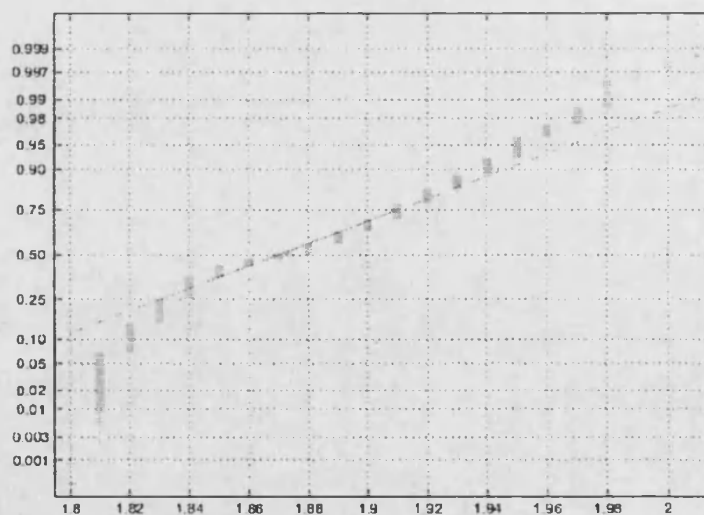


Figura 4.25: Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas en Avda. Bernat Guinovart (ático) de Algemesí.

### **Medidas en Gandía**

Se ha estudiado también la variación de niveles de densidad de potencia electromagnética en el caso de Gandía, una ciudad con un tipo de urbanización característico debido a su especial configuración como lugar vacacional en la costa, pero también como lugar no vacacional. Tiene una población de 59850 habitantes, aumentando en períodos vacacionales.

En Gandía hay 70 BS de telefonía móvil, distribuyéndose en las tres compañías de telefonía móvil que actualmente dan servicio. Se realizaron medidas cada 6 minutos en la calle República de Argentina nº66 (Gandía-ciudad), del 4 al 11 de junio de 2002. El piso donde situamos el medidor LX-1435 está a la misma altura que la antena y con una orientación relativa de uno de los paneles cuasi-frontal.

En la figura 4.26 podemos observar la variación temporal de los niveles. La figura 4.27 representa un histograma de la potencia medida en los 1800 puntos de la figura que recoge las medidas durante una semana en Gandía-ciudad y en la figura 4.28 vemos que hay una ligera desviación de la distribución normal en los extremos.

En la figura 4.26 observamos una baja periodicidad que viene avalada por su poca desviación de la curva normal.

También se realizaron medidas en otro punto de Gandía-ciudad, en la Plaza del Prado 4, 3er piso. Hay una BS de Telefónica Móviles en la terraza. Esta localización está situada en un lugar no vacacional pero con una gran densidad de población durante el año. El piso donde se realizó la medida está muy cercano a la antena. Entre el punto donde se realizó la medida y las antenas de la estación base se interpone una planta (el 4º piso) y la distancia aproximada desde el punto de medida a las antenas más próximas es de aproximadamente 5 metros en vertical.

En las figuras 4.29 y 4.30 observamos la historia temporal de los registros y el histograma de las medidas.

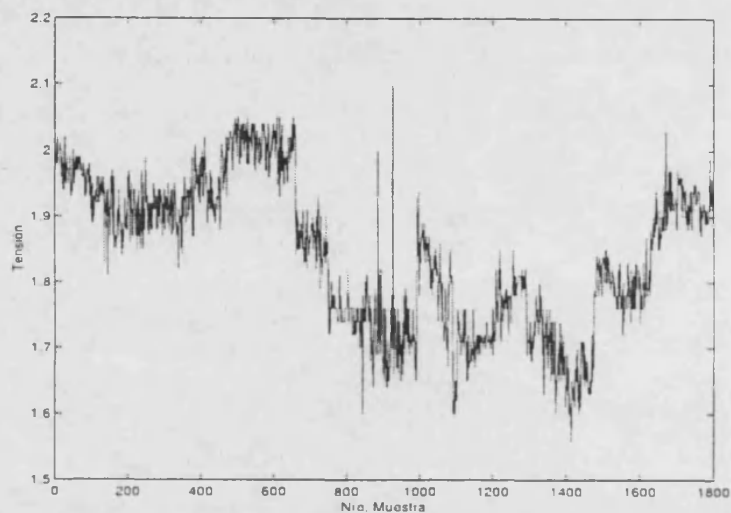


Figura 4.26: Historia temporal de las medidas de una semana en Gandía-ciudad a  $d=30$  m de la BS desde las 22:00h del 5/06/2002 a las 9:54h del 13/06/2002.

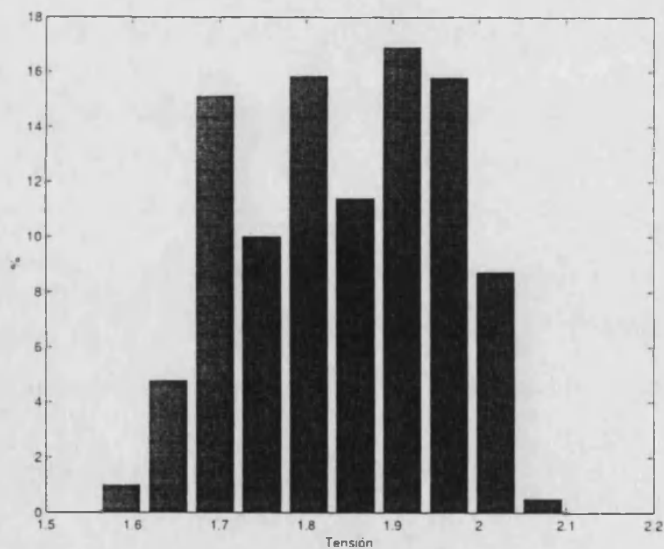


Figura 4.27: Histograma de las medidas durante una semana en Gandía-ciudad.

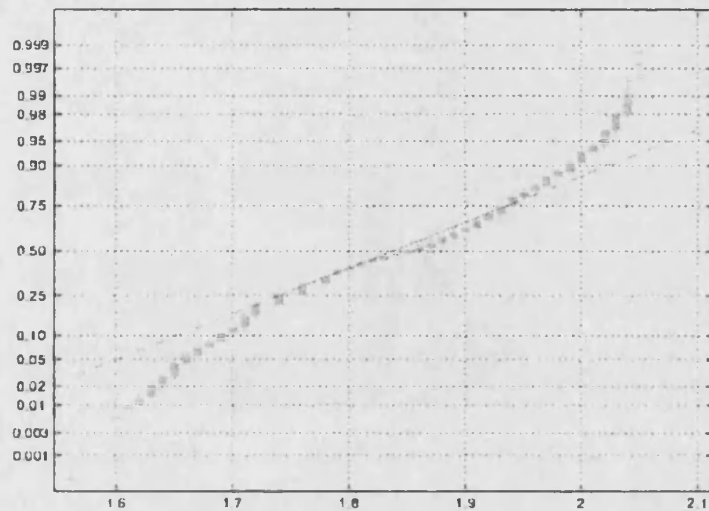


Figura 4.28: Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas de Gandía-ciudad.

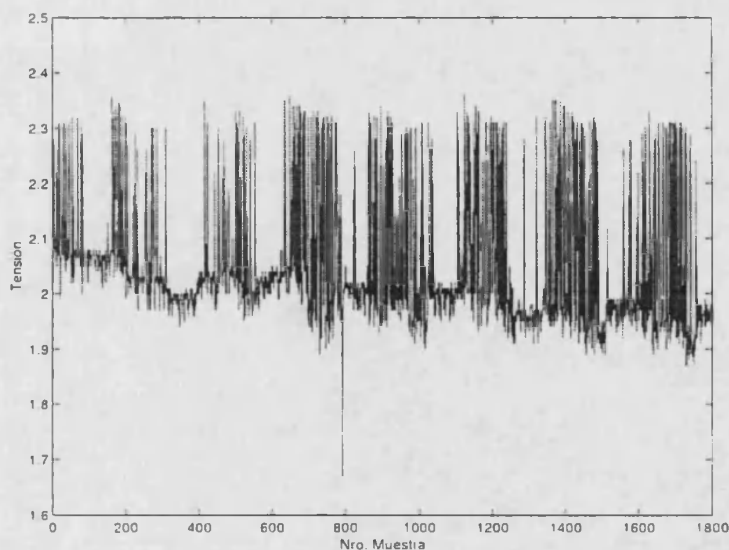


Figura 4.29: Historia temporal de las medidas de una semana en la Plaza del Prado, 4-3 a d=5 m de la BS desde las 18:00h del 6/09/2002 al 14/09/2002.

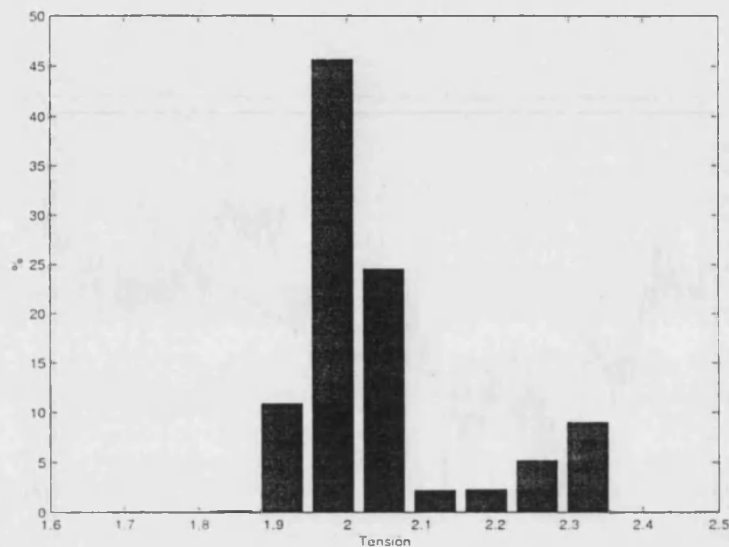


Figura 4.30: Histograma de las medidas durante una semana en la Plaza del Prado, 4-3.

En este último gráfico se observa la conformación de una doble gaussiana en los niveles medidos, que puede indicar una doble utilización de estas estaciones base con mayor uso. Esto se confirma en el gráfico de la curva de probabilidad normal, en el que se puede ver claramente dos curvas de tendencia gaussiana 4.31.

### 4.3.2 Medidas continuas a lo largo de 24 horas

Hemos estudiado también la variación de los niveles a lo largo del día, tomando un registro cada 48 segundos. Este período de muestreo completa en las 24 horas las 1800 muestras que puede almacenar el registrador en una medida.

En la figura 4.32 vemos la evolución de los niveles de potencia durante estas 24 horas de medida en un despacho del Departamento de Física Aplicada y Electromagnetismo, el día 26 de noviembre entre las 16:21 y las 16:21 del día

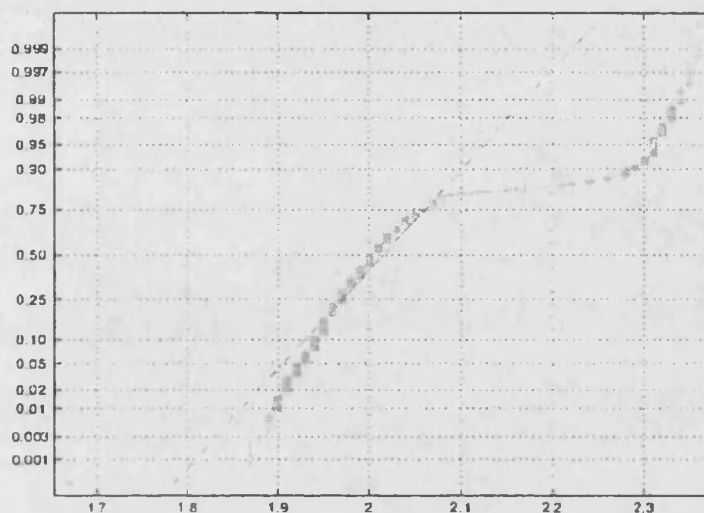


Figura 4.31: Representación de la curva de probabilidad normal para las medidas en la Plaza del Prado, 4-3.

siguiente.

En la figura 4.33 hemos representado un histograma de la potencia medida durante 24 horas en el despacho de nuestro departamento correspondiente a las medidas de la figura 4.32. En la figura 4.34 vemos que hay un cierto ajuste a la distribución normal, aunque observamos cierta desviación en los extremos.

En la figura 4.35 vemos la evolución de los niveles de potencia durante estas 24 horas de medida en el mismo despacho del Departamento, el día 28 de noviembre entre las 10:23 y las 10:23 del día siguiente.

En la figura 4.36 hemos representado un histograma de la potencia medida durante 24 horas en el despacho de nuestro departamento correspondiente a las medidas de la figura 4.35. En la figura 4.37 vemos que hay un ajuste bastante bueno a la distribución normal, sólo observamos una ligera desviación en a valores altos debido a que la distribución está corrida hacia delante.

En la figura 4.38 vemos la evolución de los niveles de potencia durante estas 24



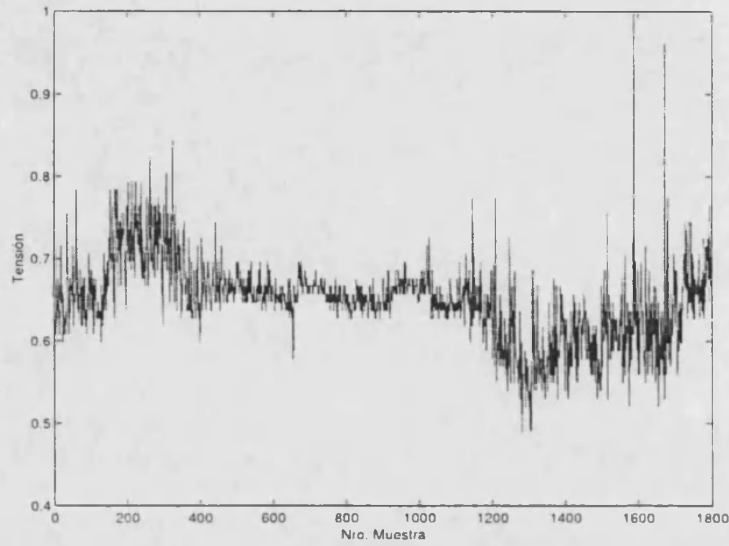


Figura 4.32: Historia temporal de las medidas durante 24 horas en un despacho del Departamento de Física Aplicada de la Universitat de València.

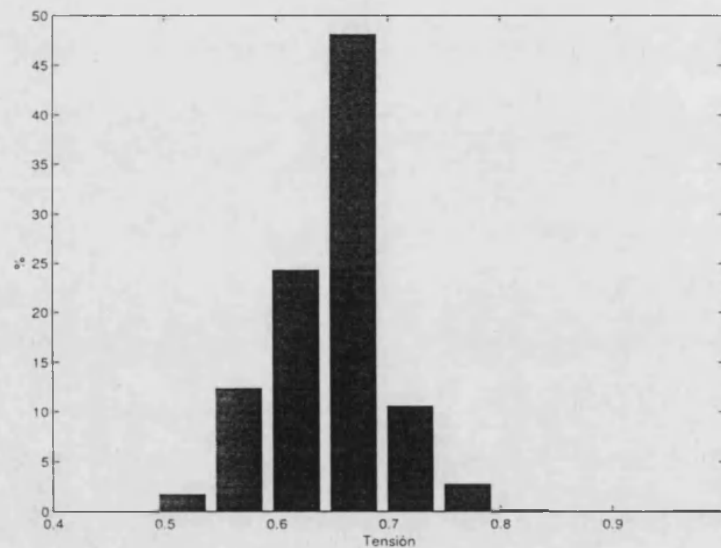


Figura 4.33: Representación del histograma para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.32.

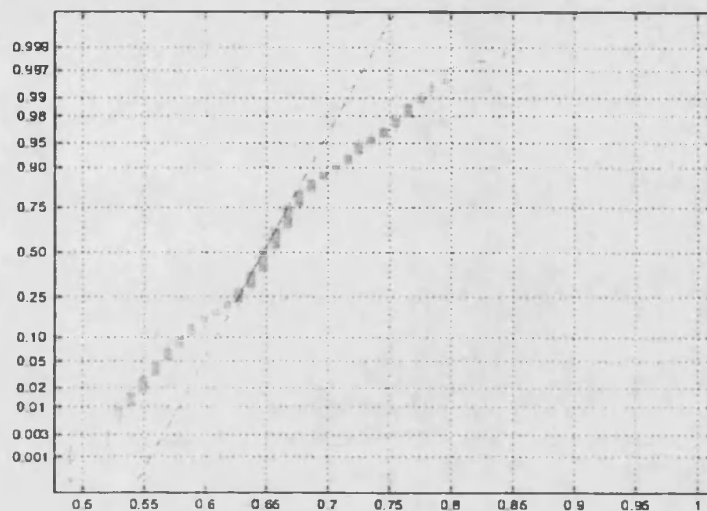


Figura 4.34: Representación de la curva de probabilidad normal para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.32.

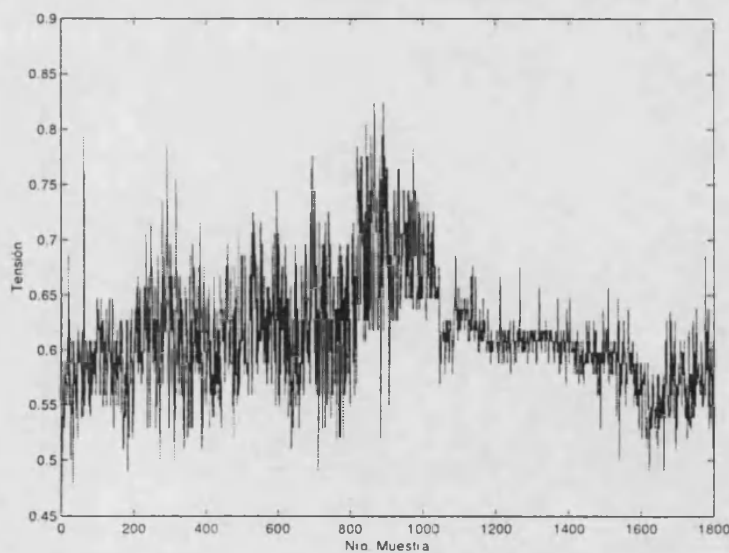


Figura 4.35: Historia temporal de las medidas durante 24 horas en un despacho del Departamento de Física Aplicada de la Universitat de València.



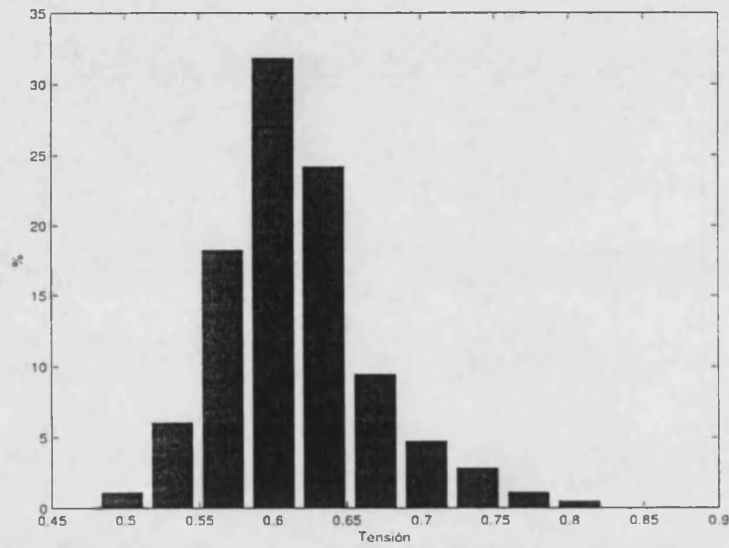


Figura 4.36: Representación del histograma para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.35.

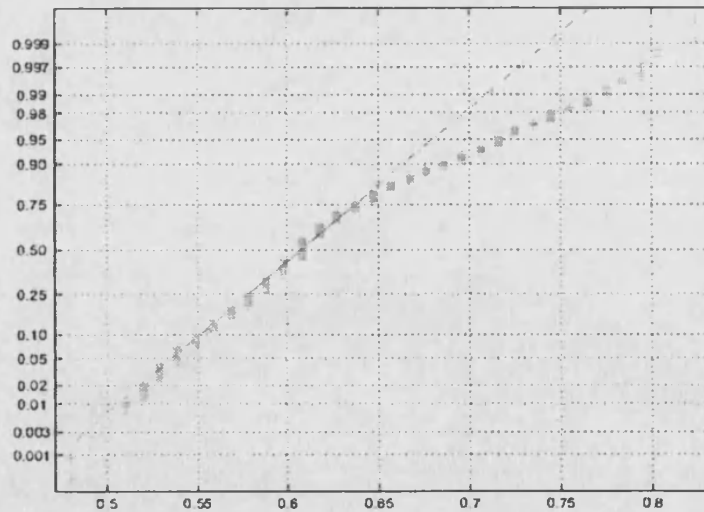


Figura 4.37: Representación de la curva de probabilidad normal para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.35.

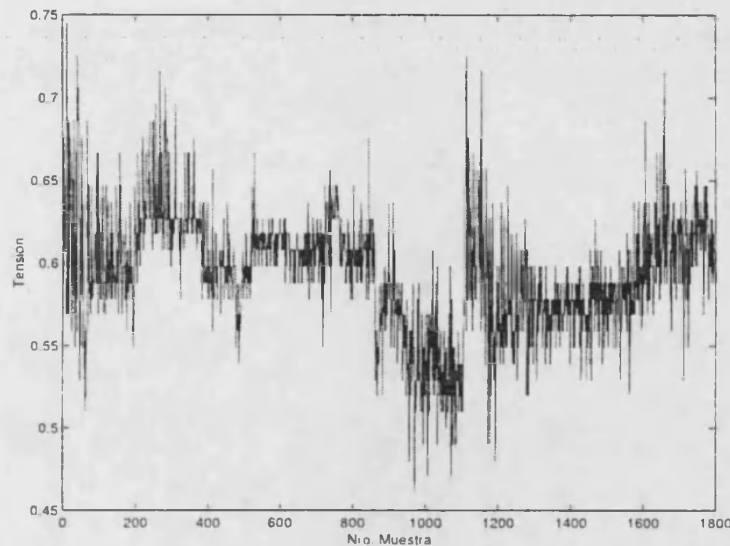


Figura 4.38: Historia temporal de las medidas durante 24 horas en un despacho del Departamento de Física Aplicada de la Universitat de València.

horas de medida en el mismo despacho del Departamento, el día 29 de Noviembre de 2002 entre las 21:12 y las 21:12 del día siguiente.

En la figura 4.39 hemos representado un histograma de la potencia medida durante 24 horas en el despacho de nuestro departamento correspondiente a las medidas de la figura 4.38. En la figura 4.40 vemos que hay un ajuste bastante bueno a la distribución normal, sólo observamos una ligera desviación en a valores altos debido a que la distribución está corrida hacia delante.

### 4.3.3 Medidas continuas a lo largo de 30 minutos

Igual como en las medidas anteriores, la realización de estas mediciones ha sido posible gracias a las modificaciones que hemos realizado en el LX-1435, mediante las cuales hemos adaptado al circuito original un *datalogger* que nos ha permitido registrar durante períodos de medición de 30 minutos, recogiendo una muestra

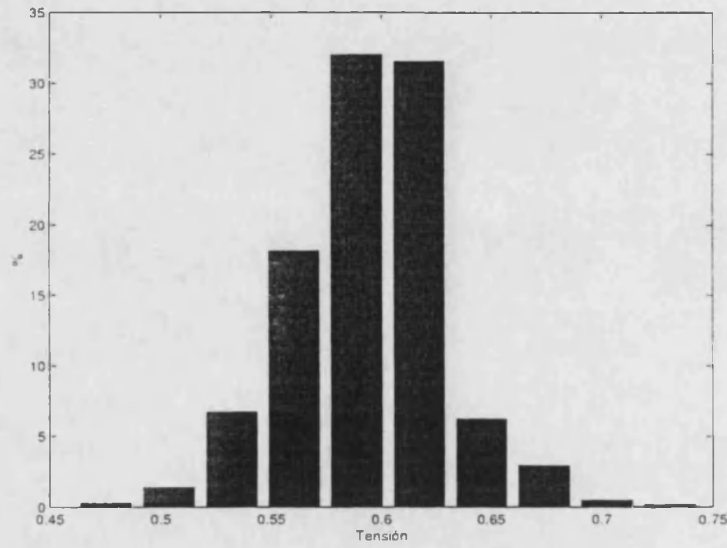


Figura 4.39: Representación del histograma para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.38.

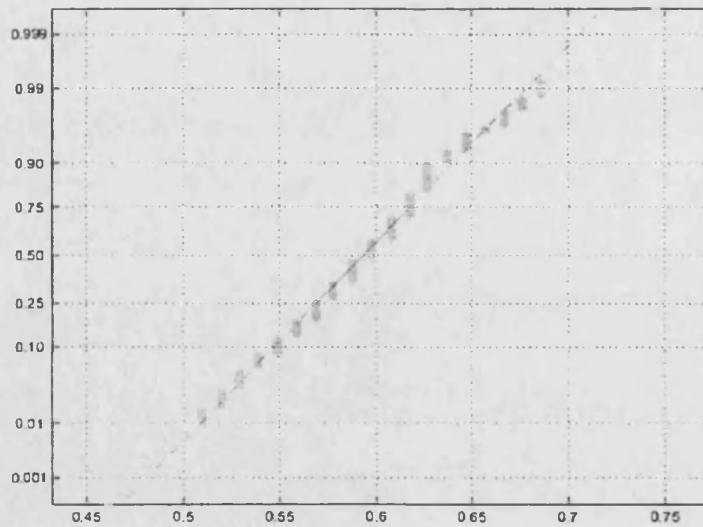


Figura 4.40: Representación de la curva de probabilidad normal para los datos de la medida de 24 horas de la figura 4.38.

cada segundo, con un total de 1800 registros en cada medición.

En la figura 4.41 vemos la evolución de los niveles de potencia durante estos 30 minutos de medida en un despacho del Departamento de Física Aplicada y Electromagnetismo.

En la figura 4.42 hemos representado los histogramas correspondientes a las medidas durante 30 minutos en el despacho de nuestro departamento correspondiente a las medidas de la figura 4.41. En la figura 4.43 vemos que hay un cierto ajuste a la distribución normal.

## 4.4 Discusión y conclusiones

Desde la segunda guerra mundial ha aumentado el número de actividades humanas que producen o funcionan mediante radiación no ionizante o electromagnética. En la actualidad hay más canales de radio, de TV, de telefonía móvil (que tuvo su principal impulso a partir de los años 90) y de otras aplicaciones industriales y militares. Este aumento de las actividades que radían campo electromagnético de alta frecuencia ha contribuido decisivamente en el aumento muy considerable en el nivel de densidad electromagnética ambiental de origen artificial respecto al nivel que existía en 1979 [77]. Por ejemplo, en la banda de frecuencia entre 1 MHz y 1 GHz había del orden de  $1.9576 \cdot 10^{-8} \mu W/cm^2$  de densidad de potencia promedio, mientras que en las medidas realizadas en este trabajo se ha encontrado un promedio de los niveles de densidad de potencia en la misma banda de  $0.88 \mu W/cm^2$ . Esto nos indica un nivel de densidad de potencia  $4.5 \cdot 10^7$  veces mayor que el nivel hace 23 años.

Se han obtenido niveles promedio de  $0.1654 \mu W/cm^2$  para las campañas de

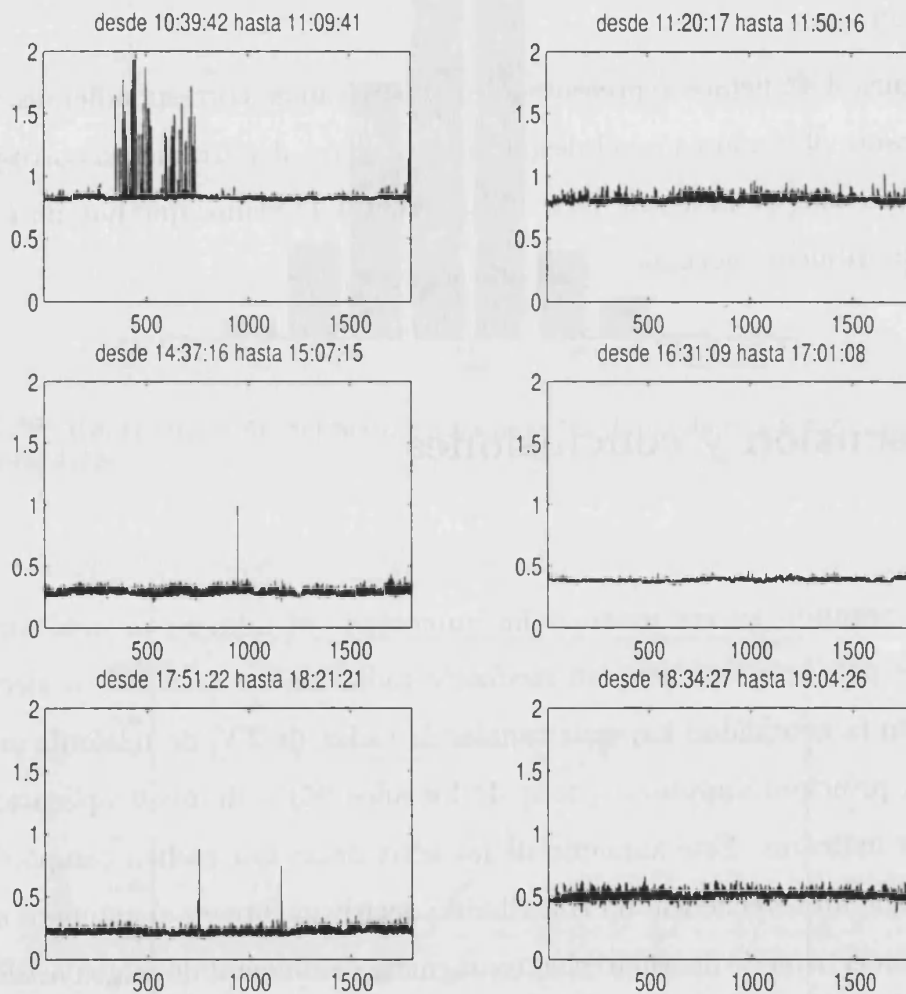


Figura 4.41: Historia temporal de las medidas durante 30 minutos en un despacho del Departamento de Física Aplicada de la Universitat de València.

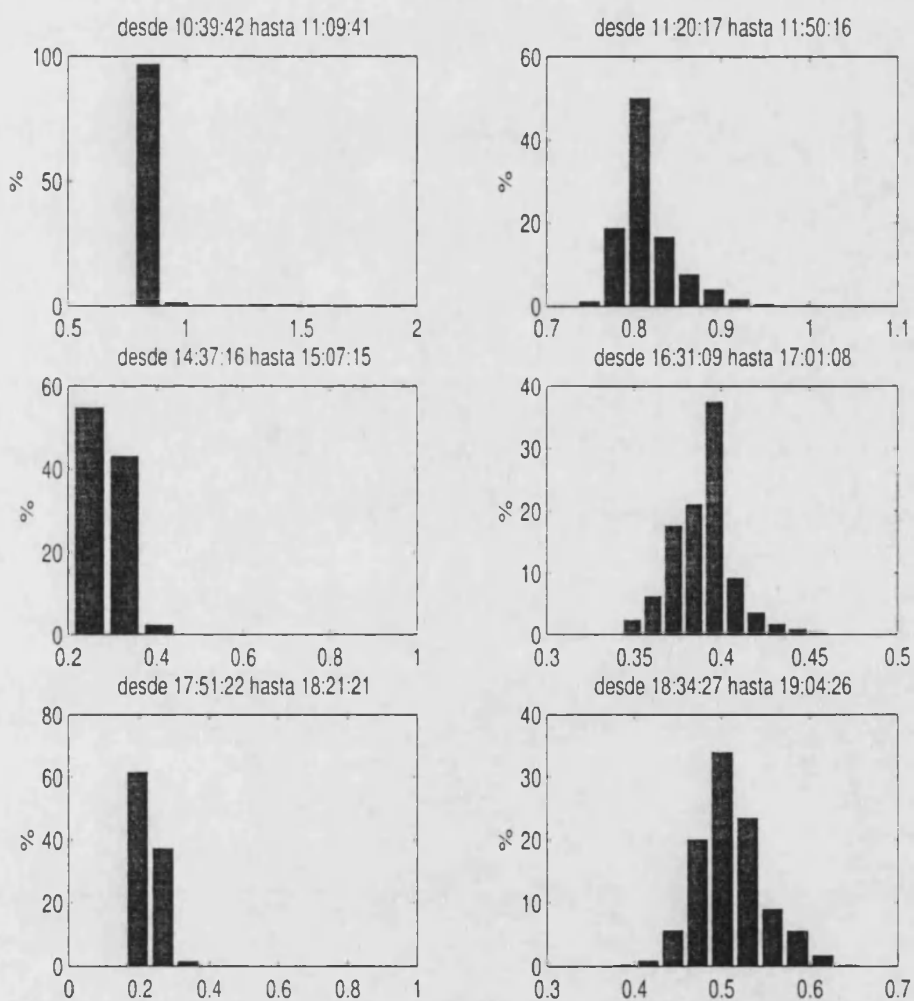


Figura 4.42: Representación de los histogramas para los datos de las medidas de 30 minutos de la figura 4.41.



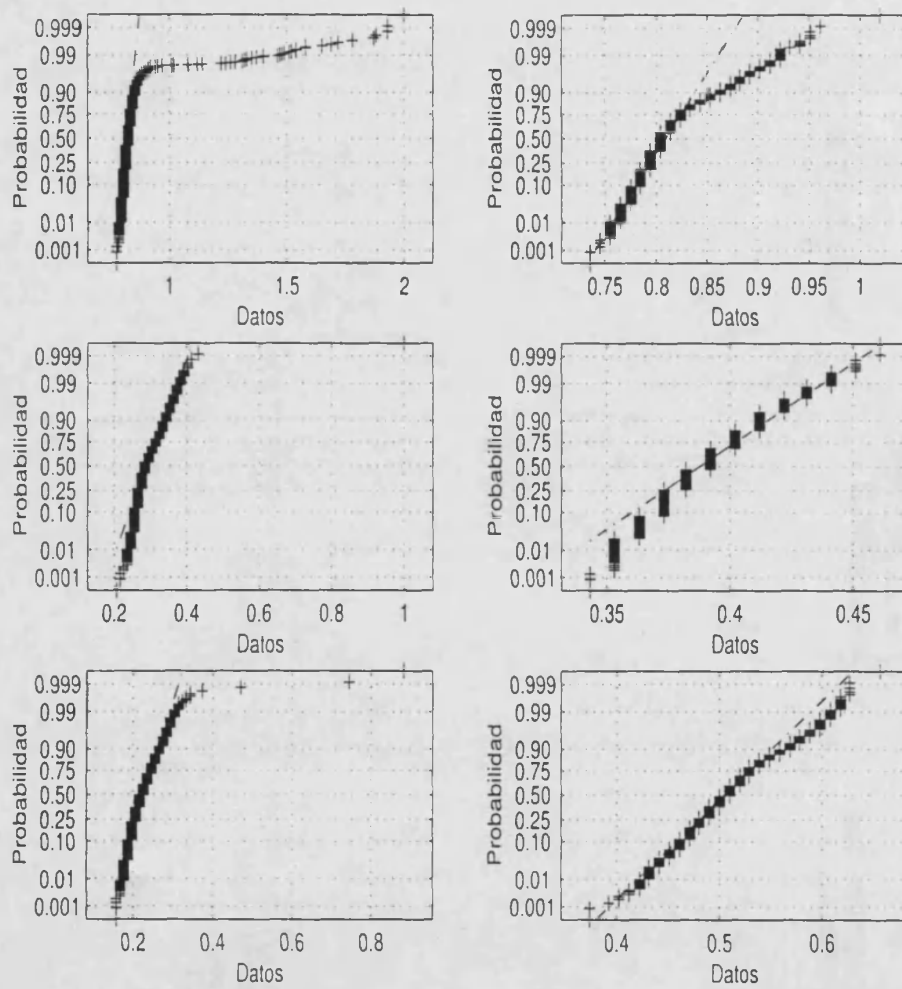


Figura 4.43: Representación de las curvas de probabilidad normal para los datos de las medidas de 30 minutos de la figura 4.41.

medidas de densidad de potencia a nivel de la calle y plantas bajas en Sueca y Paiporta. En las medidas realizadas en Silla y Paterna en “zonas calientes”<sup>9</sup> se ha obtenido niveles de densidad de radiación electromagnética medios de  $1.3570\mu W/cm^2$ . En Algeñes se ha medido en ambas situaciones y se ha obtenido un valor promedio de  $0.6510\mu W/cm^2$ .

La aplicación del protocolo de medida desarrollado ha permitido la medida en diversas poblaciones de València permitiendo así tener un conocimiento más profundo de los niveles de densidad de potencia que radían las estaciones base (BS) de telefonía móvil en el interior de viviendas colindantes y a nivel de la calle. Se ha podido comprobar que las antenas emiten niveles muy inferiores a los regulados por el R.D. 1066/01 de 28 de setiembre de 2001[51], en todos los casos. Este Real Decreto establece que en la banda desde 300 MHz a 300 GHz el nivel permitido de densidad de potencia, en  $\mu W/cm^2$ , es  $f(MHz)/2$ , entonces a  $900MHz$  es  $450\mu W/cm^2$  y para  $1800MHz$  es  $900\mu W/cm^2$ . Estos valores de referencia nos indican que las medidas de densidad de potencia registradas son aproximadamente entre 300 y 5000 veces más bajas que las establecidas en el R.D. 1066/01 (que coinciden con la recomendación de la ICNIRP).

A la vez se ha cartografiado la medida de los niveles de densidad de potencia electromagnética a nivel de las calles colindantes a las BS en las poblaciones de Sueca y Paiporta, representando los primeros mapas de radiofrecuencia en España.

También se ha podido medir la composición espectral de la radiación electromagnética emitida en esta banda en cada localización. Se ha comprobado la ocupación espectral en diversas zonas en una determinada banda horaria y que ésta varía según la cantidad de usuarios que acceden a los servicios de telefonía móvil.

---

<sup>9</sup>Entendemos por “zonas calientes” aquellas que tienen un nivel elevado de densidad de radiación (nosotros las consideramos por encima de  $1\mu W/cm^2$ ), bien porque están próximas a estaciones base o por otras razones, como proximidad a una estación de televisión, etc.

Se ha desarrollado un sistema para registrar la variación temporal del nivel de densidad de potencia en banda ancha (utilizando el medidor LX-1435). Otros autores han estudiado esta variación temporal sobre un sólo canal de telefonía móvil[76]. Mediante este sistema podemos estudiar la exposición promedio en una determinada ubicación. Aquí se ha estudiado la distribución estadística de los niveles de radiación comparándolas con la distribución normal aunque también se han intentado aplicar otros tipos de distribución (Rayleigh -distribución Weibull de segundo orden-, bimodal, ...). También se ha observado en las medidas de una semana que en algunas localizaciones existe una cierta periodicidad, que podría estar asociada al número de usuarios de la red. En las gráficas de los niveles temporales se observa que en los casos donde se observa periodicidad, las medidas diurnas son entre un 10 y un 20 % mayores que las nocturnas, aunque en ninguno de los casos llegan a ser cero (siempre existe un nivel de ruido electromagnético artificial).

En definitiva, podríamos decir que estamos ante un nuevo agente físico contaminante, el campo electromagnético, cuyo nivel se ha multiplicado en unos 10 millones de veces en los últimos 23 años (desde 1979 hasta el 2002). Pero estos niveles aún están por debajo de los niveles que producen “efectos térmicos” (los que producen calentamiento) en los seres vivos. En base a los estudios referenciados en el capítulo 3 [12, 50], podemos pensar que los niveles medidos podrían tener algún tipo de conexión con los llamados “efectos no térmicos”, que algunos investigadores han asociado a agrupaciones de síntomas que se resumen en el llamado “síndrome de microondas”.

Puesto que el “síndrome de microondas” o “enfermedad de las radiofrecuencias” (“microwave sickness”) es una posible respuesta del individuo ante este nuevo agente contaminante, nos proponemos analizar dicha respuesta subjetiva, y eso será objeto del siguiente capítulo.

## Capítulo 5

# Análisis de la respuesta de los residentes: El “síndrome de microondas o de radiofrecuencia”

El término “contaminación electromagnética” surge para definir la fracción de energía electromagnética que no sirve en su función y que queda en el ambiente, en torno al emisor y receptor de un canal de telefonía móvil y cerca de las estaciones base de telefonía móvil, este es el caso de la producida por microondas.

Los campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF) en las cercanías de tendidos de alta, media y baja tensión y en torno a centros de transformación también contribuyen a esta polución.

Estos campos electromagnéticos no son percibidos por los sentidos, pero son “intuidos” como un riesgo por los residentes de viviendas cercanas a las estaciones base de telefonía móvil, a los cableados y transformadores de energía eléctrica.

Esta percepción genera una respuesta subjetiva, que se ha analizado a través

de una encuesta, compuesta por 3 cuestionarios, sobre la población.

El análisis de la respuesta subjetiva es el objeto del presente capítulo.

## 5.1 Introducción

Desde 1966 a partir de trabajos publicados en Europa se describió la existencia de síntomas particulares entre los trabajadores de bases militares expuestos crónicamente, varios años, a las hiperfrecuencias. Esta respuesta sintomatológica se englobó dentro del término “síndrome de radiofrecuencia” o “enfermedad de las microondas”, (“RF/microwave sickness”), [78], [79], [80], [81], [82], [83], [84], los síntomas suelen ser:

- Astenia: fatiga, irritabilidad, cefaléa, náuseas, anorexia.
- Síndrome distónico cardiovascular, con modificaciones de la frecuencia cardíaca y de la tensión arterial.
- Síndrome diencefálico, con somnolencia, alteraciones del sueño, pérdida de memoria y concentración.
- Alteraciones sensoriales y cutáneas.

Este síndrome se presentaba en los individuos expuestos a densidades de potencia que eran del orden de pocos microwatios por centímetro cuadrado, muy por debajo de las actuales limitaciones oficiales [34], densidades de potencia de 400 a 1000 veces por debajo de la actual normativa [34] para un solo canal. El síndrome de radiofrecuencia ya se había descrito con anterioridad a 1980 [85] [86], en los países del Este, y en un estudio financiado por el departamento de estado de los EEUU para averiguar los efectos de las microondas, a nivel epidemiológico, sobre el personal de la embajada en Moscú, [81], [83].

## 5.2 Plan de trabajo

Se plantea la hipótesis de un síndrome de radiofrecuencia, en los entornos próximos de las estaciones base. El estudio es similar al de Altpeter (Schwarzenburg-Suiza, 1995)[12], pero a diferencia de este, esta vez se estudia directamente sobre niveles de densidad de potencia GSM-DCS, y dentro de las viviendas, efectuando un estudio de correlación con la severidad de los síntomas.

En este estudio se pretende analizar, en primer lugar, que niveles de densidad de potencia se detectan en las habitaciones de las viviendas, donde se permanece más de seis horas al día. En segundo lugar, que respuesta se ha observado en los vecinos, en términos subjetivos cual es su estado de salud y valorar en términos de una serie de criterios de enjuiciamiento la posible relación causal que pudiese existir entre este estado de salud y la exposición a los niveles de potencia medidos[87]. Estos criterios pueden variar según el tipo de estudio, pero en general para estudios epidemiológicos, suelen basarse en:

- El estudio de la secuencia temporal, en el que el inicio de la enfermedad va precedido en el tiempo por la exposición al presunto agente causal que la provoca. Esto es difícil de determinar, sobre todo en casos de enfermedades crónicas.
- La fuerza de asociación que viene determinada por la precisión con la que una variable es capaz de predecir otra (todos los expuestos enferman y todos los no expuestos permanecen sanos). La fuerza de la asociación se mide con respecto al incremento de la intensidad y/o a la duración de la exposición. La correlación permite también determinar el *gradiente biológico* de una relación causal (a mayor acción del factor estudiado corresponde un mayor efecto).
- La especificidad de la asociación mide la exclusividad de la relación entre las

variables estudiadas (una relación es ideal si sólo existe entre dos variables, pero también pueden existir más factores que influyan en la aparición de la enfermedad).

- Debe existir un *gradiente biológico* del efecto, determinado de forma cuantitativa. Cuanto mayor sea la exposición al factor y más larga su duración, el riesgo de la enfermedad debe aumentar.
- El estudio de la *constancia de la asociación* del efecto y de su reproducibilidad, es decir, que métodos y estudios diferentes deben conducir a las mismas conclusiones. La valoración de la constancia de una asociación causal implica que existe una relación causal comparable en estudios de diferente estructura (factor causal aparte).
- El mecanismo de acción del factor, la respuesta biológica y la propia interacción deben poder ser explicados de manera plausible dentro de nuestro conocimiento de las ciencias fundamentales en biología humana.
- La coherencia con los conocimientos actuales (plausibilidad biológica y aceptabilidad científica) debe ser respetada, aunque esto no ocurre de forma general en los estudios epidemiológicos.

Para medir su estado de salud, en base a su respuesta subjetiva, se han pasado tres encuestas, una primera encuesta con 25 ítems que es una traducción al castellano, realizada por el Dr. Claudio Gómez-Perretta del Centro de Investigación del Hospital la Fe de València, de la encuesta confeccionada por el Dr. Santini - (CNRS-Lyon). Esta es una encuesta de salud relativa a los síntomas específicos del síndrome de microondas. Una segunda encuesta con más ítems de salud, de aptitud hacia las nuevas tecnologías y varios ítems de control para descartar errores y personas no aptas, por padecer de algún tipo de patología psicósomática. Finalmente se pasa una encuesta de salud general tipo estándar.

Tras pasar la encuesta se realizan medidas de la densidad de potencia en el dormitorio o sala donde más tiempo se permanece. La medida se añade a la hoja de la encuesta.

El trabajo tiene tres fases bien definidas:

- Recogida de encuestas.
- Medidas en las viviendas.
- Procesado estadístico  $\Leftrightarrow$  Análisis

Este planteamiento tiene unos objetivos definidos:

- Obtener información de los niveles de densidad de potencia dentro de las viviendas, en el entorno de las BS.
- Obtener los niveles de densidad de potencia dentro de las viviendas, en el entorno de las BS.
- Verificar o refutar, si es posible, el síndrome de radiofrecuencia.
- Si es el caso: Analizar los niveles de potencia por debajo de los cuales el síndrome no se presenta.

Los objetivos son ambiciosos y el trabajo que se plantea es único en Europa. La mayoría de los estudios epidemiológicos sobre RF y salud publicados en la literatura científica, han buscado una relación con ciertos tipos de cáncer. En este trabajo se pretende analizar el estado de salud en términos generales y en particular respecto del "síndrome de microondas".

El tratamiento estadístico de las respuestas y las medidas nos permitirá descubrir si existe algún tipo de correlación significativa entre la severidad reportada en los síntomas y la densidad de potencia RF. Por otro lado se podrán definir distintos grupos con distintos niveles de potencia, para aislar grupos de control. Dada la cantidad de ítems recogidos no se descarta el análisis estadístico multivariante.



## 5.3 Materiales y método

### 5.3.1 Selección de la muestra

Dado que nuestro objetivo consistía en encontrar la existencia o no de una relación entre el nivel de salud de los encuestados, valorado a través de un cuestionario, y los niveles de densidad de potencia de microondas existentes en el lugar de residencia, la población seleccionada para llevar a cabo el estudio debía permanecer la mayor parte del tiempo en su vivienda y, por lo tanto, estar expuesta fundamentalmente a las condiciones ambientales presentes en la misma.

En la mayoría de casos sólo las amas de casa cumplen este requisito, no obstante se asume que los miembros de una familia que habitan en una determinada vivienda duermen al menos 6 horas al día, y en el dormitorio están expuestos a unos determinados niveles que guardan una relación con los niveles diurnos.

Es posible que determinados colectivos sufran mayores o menores niveles de irradiación en la escuela o centro de trabajo que en su vivienda por la noche, pero estos niveles considerados sobre una muestra al azar son aleatorios en términos estadísticos, y el análisis permitirá discernir el efecto sobre el sueño que se producirá sobre todo por la noche, según el síndrome de microondas. Dentro de esta muestra elegida al azar habrá un subgrupo constituido por amas de casa que en términos estadísticos puede ser el más homogéneo.

Se han realizado diversos estudios de tipo epidemiológico (para estudiar la posible relación entre los niveles de potencia electromagnética y los síntomas que componen el síndrome de microondas, que ya hemos expuesto anteriormente) en diversas poblaciones de la provincia de València y en una pequeña población de Murcia (La Ñora)[3]. En los estudios realizados en Valencia hemos contemplado las poblaciones de: Favara, Corbera y Sueca (en la comarca de la Ribera Baixa del Xuquer) y Algesesí y Carcaixent (en la Ribera Alta)[3].

En todas estas poblaciones se ha intentado tomar una muestra suficientemente significativa como para representar la población en general en el entorno de las estaciones base (BS) de telefonía móvil.

Hasta el momento, se han realizado cuestionarios en una pedanía de Murcia llamada La Ñora (tomamos una muestra con 101 de 3208 habitantes)[3], en Favara (muestra con 65 de 1777 habitantes) donde existen 2 BS, igual que en Corbera (muestra con 66 de 3029 habitantes). Carcaixent entran como poblaciones medias (132 de 19508 habitantes)[3]. En esta elección se considera suficientemente representativa de los entornos seleccionados, Algemesí (muestra de 175 sobre 24563) y Sueca tienen la mayor población (una muestra de 429 sobre 25371 habitantes en Sueca)<sup>1</sup>.

### 5.3.2 Descripción del cuestionario

El cuestionario utilizado en este trabajo está basado en la encuesta Santini traducida al castellano [88] que se ha completado con ítems extraídos del Cornell Medical Index (CMI), y con la encuesta de salud EuroQol-5D versión española. El CMI es un cuestionario antiguo y bien conocido, que se desarrolló en Estados Unidos, concretamente en la Universidad de Cornell, como una ayuda para el diagnóstico médico. Numerosos estudios llevados a cabo en Estados Unidos y en Inglaterra han demostrado su valor para este propósito y como procedimiento de "screening". El cuestionario original de Santini (en francés) recoge respuestas a los síntomas mencionados categorizadas de cero a 3 según la severidad, nosotros las hemos re-escalado de 1 a 5, introduciendo recuadros numerados para que se pueda indicar el número con perfecta claridad. Como es natural, el CMI original está en lengua inglesa, de este hemos extraído ciertos ítems para simplificar,

---

<sup>1</sup>Los datos poblacionales han sido extraídos del censo realizado por el I.N.E. en el 2001 (puede ser consultado en <http://www.ine.es/censo2001/pobcen01menu.htm>).

(el CMI tiene 195 ítems), estableciendo una respuesta por categorías 1-5 en función de la severidad de los síntomas. Obviamente hubiese sido excelente pasar la CMI al completo, pero esto hubiese complicado y eternizado la recolección de las encuestas.

Se ha mantenido la encuesta Santini (su versión en castellano) para poder comparar con los resultados obtenidos en los diversos estudios precedentes: El de la Ñora (Murcia), el de Carcaixent (Ribera Alta-València), el de la Ribera Baixa (Favara, Corbera y Sueca) y el de Algesesí (Ribera Alta-València). Sin embargo, esta encuesta se ha completado con otras dos encuestas, siendo tres las encuestas pasadas en el orden siguiente:

- a) Encuesta Santini con 25 ítems, 16 de ellos de salud. 5 ítems que preguntan por las características de la exposición. Estos ítems estaban en la encuesta Santini para correlar los síntomas con la distancia. En nuestro caso son innecesarios dado que vamos a efectuar medidas y vamos a correlar con las medidas. Estas se han conservado para mantener patrón y poder comparar con otros estudios realizados con esta encuesta (ver anexo 1).
- b) Ítems del CMI para hacer un estudio más profundo, y ítems de actitud. 47 ítems en total. 40 de salud, 1 sobre la permanencia en laborables y festivos en la vivienda y 6 de actitud hacia las nuevas tecnologías y sus fuentes de información (número de teléfonos móviles en casa, uso del móvil, disponibilidad de información sobre los efectos de la telefonía móvil y su procedencia, actitud respecto de las nuevas tecnologías y la salud) (ver anexo 1).
- c) Una encuesta de salud estándar: EuroQol-5D. 13 ítems totales, 7 de salud, 1 de edad, 1 de estado civil, 1 de estudios, 1 de actividades, 1 preguntando su código postal. Este cuestionario se diseñó con el objetivo de que fuera

un instrumento genérico de medida de la calidad de vida relacionada con la salud (CVRS), que pudiera ser utilizada en la investigación clínica y de servicios sanitarios [89]. Con este propósito, el cuestionario debe incluir múltiples dimensiones la CVRS. Debe ser aplicable a población en general y a pacientes, y no sólo limitarse a describir el estado de salud y la calidad de vida sino también a detectar y cuantificar cambios en el estado de salud. El instrumento se pensó para proporcionar tres tipos de información: Un perfil descriptivo de la calidad de vida del individuo en dimensiones, un valor de calidad de vida global del individuo y un valor que representa la preferencia del individuo por estar en un determinado estado de salud.

El contenido del EuroQol se basa en una revisión de las dimensiones genéricas más importantes que incluían los instrumentos de medición genéricos desarrollados anteriormente como el Sickness Impact Profile y el Nottingham Health Profile. Se desarrolla ante la necesidad de obtener un número que represente la preferencia con que los asocian los individuos los estados de salud para que puedan ser utilizados en la evaluación económica de programas e intervenciones sanitarias.

Consta de tres partes. La primera, es una descripción del estado de salud en cinco dimensiones: movilidad, cuidado personal, actividades cotidianas, dolor/malestar y ansiedad/depresión. Cada una de estas dimensiones tiene cinco ítems que definen cinco estados de gravedad. Los niveles se codifican como 1 si el individuo no tiene problemas en aquella dimensión, 3 si tiene algún problema (valor medio) y 5 si tiene muchos problemas (valor máximo). Se dan valores intermedios 1-2-3-4-5. Un estado de salud es la combinación de un nivel de problemas de cada dimensión. El individuo señala el nivel de cada dimensión que le es aplicable en el "día de hoy". En la segunda parte, el individuo puntúa su estado de salud "hoy" en una escala visual analógica

cuyos extremos son 0: peor estado de salud imaginable y 100: mejor estado de salud imaginable. Esta información puede utilizarse de dos formas: por un lado, la información descriptiva de cada dimensión puede servir para indicar el nivel de problemas del individuo, que puede expresarse como un dato numérico, y por otro lado, el valor expresado en la escala analógica puede ser usado como indicador cuantitativo del estado general de salud de un individuo o grupo de individuos. Se suele introducir una tercera parte en la que el individuo puntúa 14 estados de salud en una escala similar a las anteriores, pidiéndose que valoren en dicha escala el estado de muerte. Esta última parte está orientada a obtener valores sociales de los estados de salud, y se ha omitido puesto que no es el objetivo del presente trabajo había que economizar en el número de preguntas para mejorar el grado de colaboración y eficacia de la encuesta. Por último se preguntan datos demográficos (edad, estado civil, nivel de estudios, actividad-tipo de ocupación, código postal) [90] (ver anexo 1).

En la adaptación al castellano, hemos convertido todo tipo de términos especializados intentando formular las preguntas en un vocabulario totalmente familiar para cualquier persona sin conocimientos médicos.

Generalmente, completar todas las preguntas requiere un tiempo de 10 a 20 minutos. Los cuestionarios recogidos se trataron con el paquete estadístico SPSS en un ordenador personal.

El CMI ha sido validado como indicador del estado general de salud en diversos estudios, utilizándose diferentes formas de interpretar las respuestas y diferentes dimensiones de salud. Se ha demostrado que mediante una aproximación clínica, es decir, revisando el número de la distribución y, en particular, la identidad de las preguntas contestadas afirmativamente, los médicos pueden identificar casi todas (94 %) las categorías diagnósticas que se determinan con la investigación clínica y

pueden inferir (en el 87% de los casos) qué condiciones médicas específicas están presentes en los sujetos examinados [91]. El cuestionario ha mostrado también poseer un alto nivel de validez como indicador de la presencia y severidad de alteraciones emocionales [92]. Por otra parte, un estudio realizado hace algunos años en Estados Unidos, se demostró incluso la existencia de una relación entre las respuestas al CMI y las tasas de mortalidad en la población encuestada [93]. Sin embargo, en palabras de los propios autores del CMI, no se puedan dar reglas [94] acerca de la manera de interpretar las respuestas de los enfermos en el CMI. La interpretación diagnóstica de los datos se debe basar en la propia intuición y en el conocimiento y experiencia en su aplicación [95].

Es interesante recordar que las mujeres suelen presentar puntuaciones más altas que los hombres. Dado que, a priori, no se puede considerar que las mujeres sufran más alteraciones emocionales o físicas que los hombres, se ha sugerido que las mujeres podrían ser más proclives a manifestar estar dolencias o síntomas, es decir, que se trataría de una diferencia cultural entre ambos sexos, o bien que las preguntas del CMI podrían estar sesgadas hacia síntomas más propiamente femeninos [93], [96]. Como resumen de todas estas consideraciones, podemos afirmar que el cuestionario CMI se considera válido en estudios epidemiológicos, y como identificador de casos en epidemiología psiquiátrica, como indicador del grado de salud emocional y como indicador del estado de salud general principalmente por su relación con la salud emocional.

### **5.3.3 Medidas de campo electromagnético de microondas: densidad de potencia RF**

#### **Material**

Con el fin de cruzar el autodiagnóstico sintomatológico con la densidad de potencia instantánea a la que se está expuesto en promedio en los lugares más frecuentados o habitados de la casa (por regla general son el dormitorio, la salita o la cocina). Para ello se utilizó un medidor de campo portátil (EFM) para medidas puntuales espacio-temporales.

El medidor dispone de una antena que es isótropa en un plano de polarización. También contiene un diodo detector con un amplificador logarítmico. Este diodo es un detector que trabaja en la zona cuadrática, rectifica la señal de microondas dando un nivel de DC que se amplifica con el amplificador logarítmico, sacando un nivel de tensión entre 1 y 5 Volts. La salida es calibrada introduciendo un nivel conocido de potencia de microondas con un analizador de redes HP-8510C. La antena tiene ganancia conocida dentro de la banda apropiada: GSM-935-960MHz, y DCS-1805-1880MHz, actuando también como un filtro de entrada para detectar las frecuencias de interés. La antena fue calibrada en la cámara anecoica de la Universitat de València. El medidor se calibró por separado por tres procedimientos diferentes, con un generador HP-8614A y atenuadores calibrados, con el HP-8510C y con el analizador IFR-2399, en el Laboratorio de Electromagnetismo y Ondas del Departamento de Física Aplicada de la Universitat de València.

La medida del medidor EFM se convierte a unidades de micro-Watio por centímetro cuadrado ( $\mu W/cm^2$ : unidad de densidad de potencia) o Voltios partido por metro ( $V/m$ : unidad de campo eléctrico), usando la aproximación de onda plana<sup>2</sup>. La medida se muestra en un display con un convertidor analógico digital y un chip programado.

Para comprobar la intensidad de las emisiones de televisión, y el número de canales operativos GSM-DCS de las estaciones base (BS), se hicieron medidas con una sonda y un analizador de espectros portátil.

---

<sup>2</sup>Una onda esférica en la zona donde  $r \gg \lambda$  puede considerarse como una onda plana.

La señal de TV mantiene los niveles durante las medidas, no es el caso de las señales GSM-DCS que presentan dramáticos cambios de amplitud, estableciéndose y desapareciendo canales, según el número de usuarios.

La sonda se montó sobre un trípode no-metálico a 1.2 metros aproximadamente sobre el suelo.

## **5.4 Estudio de la Ribera Baixa: Favara, Corbera y Sueca**

Para la realización de este estudio hemos modificado el cuestionario (descrito anteriormente), con el fin de definir diferentes fuentes de información adicionales y obtener mayor información de las encuestas.

Un equipo de encuestadores, entrenado para este cometido, se dedicó a efectuar encuestas en tres poblaciones de la Ribera Baixa: Favara, Corbera y Sueca. Se pretendía pasar la encuesta sobre un 5% de las respectivas poblaciones.

La encuesta se introducía como parte de un estudio dedicado a evaluar el impacto en el área de las estaciones base de telefonía celular.

En general, la población era reacia a responder al cuestionario. El ratio de respuesta era de casi un 20%, disminuyendo en Sueca a niveles de participación muy bajos.

Una parte importante del estudio era la medida del nivel de radiación dentro de las casas, esto implicaba el regreso a la vivienda donde se había recogido la encuesta para hacer las medidas en una determinada franja horaria. El hecho de anotar la dirección de la persona encuestada y su edad impedía el anonimato, y esto disminuyó considerablemente el número de personas dispuestas a colaborar.

Estas dificultades nos alejan del objetivo inicial de recogida de encuestas, que en Sueca solamente era de 1200. Esta cantidad de encuestas, a la vista de la



situación, nos parece casi inalcanzable en el plazo de un año.

Otra situación que se observaba era la disposición a colaborar de parte de los vecinos más cercanos a las estaciones base (BS), y la no disposición de los vecinos que tenían la BS en su propio edificio, esto podría introducir un sesgo en el análisis estadístico.

Además, las personas que mayoritariamente abrían la puerta y atendían a los encuestadores vivían en plantas bajas, que normalmente están expuestas a niveles relativamente más bajos, por el llamado “efecto paraguas”: Las antenas de las BS son muy directivas, y concentran la densidad de potencia en la dirección perpendicular a su panel (las antenas de las BS tienen aspecto de panel de altavoz). Por esta razón un porcentaje alto de las encuestas corresponde a personas expuestas a bajos niveles de radiación.

Contrasta el grado de colaboración observado en la Ribera Baixa, con el de la población de la Ñora (Murcia)[3], donde el ratio de respuesta fue de aproximadamente el 70%. También contrasta con la colaboración de los vecinos de Carcaixent (València), donde se recogieron 133 encuestas válidas en una barriada.

Entre Corbera y Favara se recogieron 131 encuestas. En Sueca el número de encuestas válidas es de 157. Las encuestas válidas son aquellas correspondientes a individuos que ejercen su actividad normal, libres de enfermedades crónicas con tratamientos específicos, y en las que se ha podido medir dentro de la vivienda. En Sueca se recogieron 272 encuestas adicionales en las que no se indicó el domicilio, pero sí la calle donde se ubicaba el domicilio. Obviamente no se podía medir dentro de esas viviendas porque no se indicaban. Se elaboró un modelo de regresión para relacionar la exposición exterior a la vivienda (medidas en la calle) con la interior (medidas dentro de la vivienda) teniendo en cuenta únicamente las encuestas válidas y de esta manera aprovechar las encuestas no ubicadas.

### **Procedimiento**

Las medidas se efectuaban en las zonas de las viviendas donde se permanecía un tiempo mayor o igual a seis horas, dormitorios y salas de estar. Dadas las características de la antena, se orientaba con la mano para medir el máximo del campo (recoger la polarización de la señal medida) en los dormitorios y salas de estar. El campo eléctrico presenta estructura de estacionarias, por la reflexión en las paredes muebles y estructuras metálicas de la habitación [97], [6].

El medidor EFM se mantenía aproximadamente a 1 metro de las paredes y 1.2 metros sobre el suelo, asimismo lo movíamos sobre un círculo de 25 cm de radio orientando la antena para conseguir la máxima lectura. La medida se anotó a la hoja de la respectiva encuesta.

#### **5.4.1 Medidas en la Ribera Baixa**

Las medidas se realizaron en el dormitorio o zona de la casa donde cada encuestado pasaba más tiempo a lo largo del día. A través de estas medidas se han establecido unos valores medios con su desviación en cada una de las localidades: Favara, Corbera y Sueca. Estas medidas presentan una gran variabilidad (desviación típica) pero son una primera aproximación a los niveles promedio a los que esta expuesta cada población.

En el caso de Sueca, se han efectuado numerosas medidas en la calle que han permitido elaborar un mapa radioléctrico del núcleo urbano en el que se dan los niveles de exposición en la calle (ver capítulo 4). A partir de las medidas en la calle y en el interior de las viviendas se ha podido elaborar un modelo de regresión curvilínea para estimar el nivel de densidad de potencia dentro de las viviendas a partir de las medidas en el exterior.

A partir de las encuestas recogidas en las que realizamos medidas en el interior de la vivienda y en la calle -exterior de la vivienda- (un total de 157 encuestas)

realizamos una estimación curvilínea del campo en el interior de la vivienda a partir de las medidas en el exterior. Se deduce un modelo de tercer grado (ver anexo 3):

$$E_{int} = 0.3430 + 2.4579E_{ext} - 0.2853E_{ext}^2 + 0.0091E_{ext}^3 \quad (5.4.1)$$

donde  $E_{ext}$  es el campo medido en el exterior de la vivienda y  $E_{int}$  es el campo medido en el interior. Cabe añadir que las medidas utilizadas en este modelo han sido realizadas en viviendas de baja altura por lo que la estimación puede tener un error considerable en las viviendas situadas en edificios altos o cercanos a las estaciones base, pero en el caso de Sueca hay una parte muy importante de viviendas bajas por lo que consideramos ésta una aproximación válida.

El coeficiente de correlación múltiple obtenido a partir del ajuste de los datos correspondientes es 0.84537. Con este ajuste es posible asignar medidas dentro de casa a partir de las medidas en la calle, incrementando el número de encuestas en Sueca a 429.

Medidas en Favara:

- Medidas en 65 zonas
- Densidad de potencia media  $0.08 \pm 0.24 \frac{\mu W}{cm^2}$

Medidas en Corbera:

- Medidas en 66 zonas
- Densidad de potencia media  $0.07 \pm 0.12 \frac{\mu W}{cm^2}$

Medidas en Sueca:

- Medidas en 429 zonas
- Densidad de potencia media  $0.013 \pm 0.034 \frac{\mu W}{cm^2}$

## 5.4.2 Tratamiento estadístico de las encuestas

### Resultados de Favara y Corbera

Los datos de las encuestas, como en los casos anteriores, han sido informatizados y procesados con el paquete estadístico SPSS [98], [99].

Los resultados que se muestran a continuación corresponden a la primera encuesta, adaptación de la encuesta del Dr. Roger Santini del Inserm-CNRS de Lyon. La encuesta contenía 15 ítems de salud, entre ellos la medida y la severidad de una serie de síntomas relacionados con el síndrome de microondas:

- Fatiga
- Dificultad de concentración
- Irritabilidad
- Pérdida de memoria
- Dolor de cabeza
- Alteraciones de la piel
- Nauseas
- Alteraciones visuales
- Pérdida apetito
- Alteraciones Auditivas
- Alteración del sueño
- Vértigos
- Tendencia depresiva
- Problemas Cardio-Vasculares
- Otros síntomas

La respuesta en cada uno de ellos era la frecuencia con la que se le presenta al encuestado un determinado síntoma, en una gradación 1-5. El cuestionario también recaba información sobre la proximidad de líneas de alta tensión, uso del ordenador personal, y uso del teléfono móvil celular.

El cuestionario también incluye preguntas relativas a datos demográficos: dirección, sexo, edad, también la distancia aproximada a las antenas, y el tiempo de exposición en días/semana, horas/día, desde el principio de las emisiones.

Las encuestas se completaron con medidas dentro de las viviendas, en las zonas donde se permanecía un tiempo mayor o igual a seis horas, dormitorios y salas de estar. La medida se anotó a la hoja de la respectiva encuesta.

Los cuestionarios rellenados por personas con un historial de trastornos crónicos o psicológicos se excluyeron del tratamiento estadístico.

Favara y Corbera, tienen menos de 4000 habitantes y las podríamos calificar de poblaciones semirurales. En ellas, se recogieron 131 encuestas válidas en las poblaciones de Corbera (66) y Favara (65). Los encuestados eran hombres un 47% y mujeres un 53%, con edades distribuidas entre 15 y más de 65 años: 15-25 años (18%), 26-35 años (18%), 36-45 años (15%), 46-55 años (18%), 56-65 años (12%), más de 65 años (19%).

En la tabla 5.1 se presenta el valor medio, sobre toda la población, en una escala de 1 a 5 de la severidad declarada de los síntomas. Esta tabla agrupa el valor medio obtenido sobre la población que se encuentra bajo distintos grados de exposición. Por ejemplo, la primera columna contiene el valor medio para cada síntoma calculado sobre 31 encuestados que se encuentran expuestos a unos niveles entre 0 y 0.5 V/m. Esta tabla recoge los grupos de personas que se encuentran bajo niveles de exposición 0-0.5 (31), 0.5-1 (23), 1-1.5 (21), 1.5-2.0 (19), más de 2.0 V/m (37).

La tabla 5.2 recoge el valor medio del grado de severidad del síntoma reportado

Tabla 5.1: Presencia promedio del síntoma en relación con el campo eléctrico medido y el uso del móvil. V-01 fatiga, V-02 irritabilidad, V-03 cefaléa, V-04 nauseas, V-05 pérdida de apetito, V-06 insomnio, V-07 depresión, V-08 estado inconfortable, V-09 dificultad de concentración, V-10 pérdida de memoria, V-11 alteraciones de la piel, V-12 alteraciones visuales, V-13 alteraciones auditivas, V-14 vértigos, V-15 dificultades al andar, V-16 problemas cardiovasculares.

	0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	Más de 2	Uso del móvil		
	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	No	Sí	NS/NC
V-01	2	2	3	2	2	2	3	3
V-02	2	2	2	2	2	2	2	2
V-03	2	2	2	2	3	3	2	2
V-04	1	1	2	1	2	1	1	1
V-05	1	1	2	2	1	1	1	1
V-06	2	3	2	3	2	2	3	1
V-07	2	1	2	2	2	1	2	2
V-08								
V-09	2	2	2	2	2	2	2	2
V-10	2	2	2	2	2	2	2	1
V-11	2	2	1	2	1	2	2	1
V-12	2	2	2	2	2	2	2	1
V-13	2	3	2	2	1	2	2	1
V-14	2	1	1	2	2	1	2	3
V-15	2	2	2	1	1	1	2	1
V-16	1	2	2	2	2	2	2	1
N	31	23	21	19	37	62	67	2

Tabla 5.2: Presencia promedio del síntoma en relación con la edad de los encuestados.

	15-25	26-35	36-45	46-55	56-65	Más de 65
	años	años	años	años	años	años
V-01	2	2	2	3	2	3
V-02	2	2	3	3	2	2
V-03	3	3	2	3	2	2
V-04	1	1	1	2	1	1
V-05	1	1	2	2	1	1
V-06	2	2	3	3	3	3
V-07	1	2	2	2	2	2
V-08						
V-09	2	2	2	2	2	2
V-10	2	2	2	2	2	3
V-11	2	2	2	2	1	2
V-12	2	1	2	2	1	2
V-13	2	2	2	2	2	2
V-14	1	1	1	2	2	2
V-15	1	1	2	1	2	2
V-16	1	1	2	2	1	2
N	23	23	20	24	16	25

en función de la edad.

Las tablas 5.1, 5.2, 5.4, 5.5 presentan valores truncados a la categoría más próxima. La tabla 5.1 da una primera visión del gradiente de sintomatología en función del grado de exposición. La tabla 5.2 presenta una repartición en grupos de edad, la cual refleja una distribución de la sintomatología uniforme según la edad. Esta tabla nos indica que no necesariamente tenemos un sesgo por esta variable.

En la tabla 5.6 observamos que fatiga (V-01), irritabilidad (V-02), cefaléa (V-03), insomnio (V-06) y pérdida de memoria (V-10) son los síntomas que en término medio más se valoran en las tres poblaciones.

Tabla 5.3: Estado de salud en relación con el campo eléctrico.

	0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	Más de 2
	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m
1-Buena salud	13 (9.9%)	4 (3.1%)	7 (5.3%)	3 (2.3%)	10 (7.6%)
2- Saludable	15 (11.5%)	15 (11.5%)	11 (8.4%)	15 (11.5%)	23 (17.6%)
3- Regular	3 (2.3%)	4 (3.1%)	2 (1.5%)	1 (0.8%)	4 (3.1%)
4- Mala salud	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
N	31	23	20	19	37

Tabla 5.4: Estado de salud en relación con el uso del teléfono móvil.

	Uso del móvil	
	No	Sí
1-Buena salud	18 (13.7%)	18 (13.7%)
2- Saludable	41 (31.3%)	37 (28.2%)
3- Regular	3 (2.3%)	11 (8.4%)
4- Mala salud	0 (0%)	0 (0%)
N	62	66

Tabla 5.5: Estado de salud en relación con la edad de los encuestados.

	15-25	26-35	36-45	46-55	56-65	Más de 65
	años	años	años	años	años	años
1- Buena salud	8 (6.1%)	10 (7.6%)	3 (2.3%)	5 (3.8%)	6 (4.6%)	5 (3.8%)
2- Saludable	14 (10.7%)	10 (7.6%)	15 (11.5%)	15 (11.5%)	9 (6.9%)	16 (12.2%)
3- Regular	1 (0.8%)	3 (2.3%)	2 (1.5%)	3 (2.3%)	1 (0.8%)	4 (3.1%)
4- Mala salud	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
N	23	23	20	23	16	25

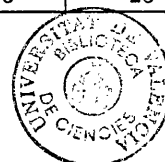




Tabla 5.6: Promedio sintomático y desviación estándar en las poblaciones de la Ribera Baixa.

Media $\pm$ DesvStd	FAVARA	CORBERA	SUECA
N	65	66	429
V-01	2.63 $\pm$ 1.33	2.14 $\pm$ 1.35	2.27 $\pm$ 1.45
V-02	2.29 $\pm$ 1.20	1.98 $\pm$ 1.25	2.21 $\pm$ 1.43
V-03	2.49 $\pm$ 1.24	2.11 $\pm$ 1.30	2.37 $\pm$ 1.51
V-04	1.34 $\pm$ 0.64	1.12 $\pm$ 0.54	1.29 $\pm$ 0.88
V-05	1.49 $\pm$ 0.94	1.23 $\pm$ 0.67	1.38 $\pm$ 0.95
V-06	2.28 $\pm$ 1.36	2.52 $\pm$ 1.58	2.44 $\pm$ 1.60
V-07	1.57 $\pm$ 0.88	1.61 $\pm$ 1.16	1.72 $\pm$ 1.23
V-08			
V-09	1.86 $\pm$ 0.95	1.83 $\pm$ 1.17	1.97 $\pm$ 1.25
V-10	2.20 $\pm$ 1.19	2.06 $\pm$ 1.30	2.15 $\pm$ 1.34
V-11	1.88 $\pm$ 1.31	1.47 $\pm$ 0.95	1.54 $\pm$ 1.16
V-12	1.77 $\pm$ 1.09	1.52 $\pm$ 0.98	1.65 $\pm$ 1.18
V-13	1.91 $\pm$ 1.21	1.53 $\pm$ 1.03	1.37 $\pm$ 0.95
V-14	1.62 $\pm$ 1.07	1.52 $\pm$ 1.07	1.69 $\pm$ 1.25
V-15	1.66 $\pm$ 1.00	1.20 $\pm$ 0.64	1.51 $\pm$ 0.95
V-16	1.58 $\pm$ 1.12	1.33 $\pm$ 0.90	1.32 $\pm$ 0.92
POTENCIA	(9.06 $\pm$ 25.01)10 <sup>-2</sup>	(4.51 $\pm$ 8.20)10 <sup>-2</sup>	(1.31 $\pm$ 3.42)10 <sup>-2</sup>
DISTANCIA	3.69 $\pm$ 1.87	3.94 $\pm$ 1.47	4.75 $\pm$ 1.97

Por otra parte, siguiendo un esquema similar al empleado en el estudio del ruido ambiental y sus molestias [100],[101], hemos estudiado la posible asociación existente entre la potencia y la frecuencia sintomatológica. Para ello hemos utilizado la correlación de Pearson unilateral entre el nivel de densidad de potencia (en  $dBre(8.76 \cdot 10^{-5})$ ) y la frecuencia con la que se presenta molestia o severidad del síntoma<sup>3</sup>. Para ello efectuamos la hipótesis de modelo logarítmico con la densidad de potencia o término cuadrático con el campo eléctrico. En la tabla 5.7 observamos los valores obtenidos comparando con los resultados de los anteriores estudios.

La comparación entre los parámetros estadísticos arroja resultados dispares. Asombra el grado de ajuste en el caso de La Ñora[3], con coeficientes de Pearson superiores a 0.35 y significativos al 95%. Pero la bondad del ajuste se desvanece para los distintos grupos de la Ribera. En total hay seis poblaciones, en estas se obtienen parámetros significativos para el síntoma V-06 (alteraciones del sueño), que es significativo en cuatro poblaciones de las seis<sup>4</sup>.

### 5.4.3 Discusión de resultados en el estudio de la Ribera Baixa

El que el coeficiente de correlación sea bajo puede implicar:

- Que la correlación no es de tipo lineal con la potencia.
- Que el procedimiento de medida del nivel RF no es el adecuado.
- Que no exista relación causa-efecto entre el nivel de RF y la gravedad del síntoma, lo cual se vería reflejado en el nivel de significación. A pesar del bajo coeficiente de correlación, la relación entre la severidad del síntoma y

<sup>3</sup>V-01 fatiga, V-02 irritabilidad, V-03 cefaléa, V-04 náuseas, V-05 pérdida de apetito, V-06 insomnio, V-07 depresión, V-08 estado inconfortable, V-09 dificultad de concentración, V-10 pérdida de memoria, V-11 alteraciones de la piel, V-12 alteraciones visuales, V-13 alteraciones auditivas, V-14 vértigos, V-15 dificultades al andar, V-16 problemas cardiovasculares.

<sup>4</sup>Este resultado coincide con las conclusiones del estudio de Altpeter et al. [12], aunque como en aquel trabajo, nosotros no conocemos el origen de esta significación.

Tabla 5.7: Correlación de Pearson y niveles de significación de la severidad de los síntomas de la encuesta de Santini con respecto al logaritmo de la densidad de potencia electromagnética. La Ñora[3], Carcaixent[3], Corbera, Favara y Sueca.

		La Ñora	Carcaixent	Corbera	Favara	Sueca
N		101	133	66	65	429
		dB $S_0$	dB $S_0$	dB $S_0$	dB $S_0$	dB $S_0$
V-01	r Pearson	0.438**	0.204**	0.027	-0.036	0.024
	Sig. (unilat.)	0.000	0.010	0.413	0.388	0.312
V-02	r Pearson	0.515**	0.196*	0.120	-0.032	0.097*
	Sig. (unilat.)	0.000	0.012	0.168	0.400	0.023
V-03	r Pearson	0.413	0.143	0.220*	0.015	0.063
	Sig. (unilat.)	0.000	0.050	0.038	0.454	0.095
V-04	r Pearson	0.354**	0.011	0.207*	0.156	-0.010
	Sig. (unilat.)	0.000	0.451	0.048	0.108	0.418
V-05	r Pearson	0.485**	0.142	-0.070	-0.130	0.069
	Sig. (unilat.)	0.000	0.052	0.287	0.151	0.076
V-06	r Pearson	0.413**	0.226**	0.252*	-0.084	0.023
	Sig. (unilat.)	0.000	0.005	0.021	0.253	0.321
V-07	r Pearson	0.400**	-0.035	0.079	-0.269*	0.012
	Sig. (unilat.)	0.000	0.346	0.263	0.015	0.400
V-08	r Pearson	0.544**	0.151*			
	Sig. (unilat.)	0.000	.042			
V-09	r Pearson	0.469**	0.048	0.107	0.011	0.083*
	Sig. (unilat.)	0.000	0.291	0.195	0.465	0.043
V-10	r Pearson	0.340**	0.064	0.061	0.012	0.001
	Sig. (unilat.)	0.000	0.234	0.314	0.462	0.492
V-11	r Pearson	0.358**	-0.099	-0.024	-0.048	-0.038
	Sig. (unilat.)	0.000	0.130	0.424	0.351	0.216
V-12	r Pearson	0.347**	-0.027	0.131	0.012	0.104*
	Sig. (unilat.)	0.000	0.380	0.147	0.462	0.015
V-13	r Pearson	0.163	-0.021	-0.076	-0.102	0.058
	Sig. (unilat.)	0.055	0.407	0.273	0.210	0.117
V-14	r Pearson	0.357**	-0.146*	-0.090	0.190	0.016
	Sig. (unilat.)	0.000	0.048	0.235	0.064	0.368
V-15	r Pearson	0.127	0.053	-0.013	-0.100	-0.024
	Sig. (unilat.)	0.108	0.272	0.458	0.215	0.311
V-16	r Pearson	0.290**	-0.025	0.125	0.069	0.064
	Sig. (unilat.)	0.002	0.387	0.158	0.293	0.092
$\frac{dP}{dS}$		$5.00 \cdot 10^{-2}$	0.1079	$4.52 \cdot 10^{-2}$	$8.47 \cdot 10^{-2}$	$1.31 \cdot 10^{-2}$
Error $\frac{dP}{dS}$		$10.65 \cdot 10^{-2}$	0.2049	$8.20 \cdot 10^{-2}$	$24.10 \cdot 10^{-2}$	$3.42 \cdot 10^{-2}$

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).

la densidad de potencia en esos casos es significativa al 95%,  $P < 0.05$ , para el grupo menos expuesto, aunque valor de  $P$  sólo indica que el coeficiente de correlación experimental obtenido es una buena aproximación al real.

Decidimos tratar globalmente todas las encuestas para estudiar el efecto sobre el grado de significación. En el caso de La Ñora el número de encuestas se acercaba al 5% de la población, y el ajuste más fiable era de tipo logarítmico, así que procedemos de la misma manera con todas las encuestas de la Ribera Baixa con el modelo logarítmico. En la tabla 5.8 podemos ver los valores para los síntomas de la encuesta de Santini y en la 5.11, 5.10 el resto de síntomas agregados.

Con el fin de conocer cuales has sido los resultados en toda la Ribera Baixa hemos juntado todos los datos y hemos aplicado el test de correlación de Pearson unilateral obteniendo que, para la encuesta de Santini, los síntomas más significativos han sido: V-02 (irritabilidad, con  $r=0.123$  y  $P < 0.05$ ), V-06 (alteraciones del sueño, con  $r=0.175$  y  $P < 0.01$ ), V-09 (dificultad de concentración, con  $r=0.126$  y  $P < 0.05$ ), V-12 (alteraciones visuales, con  $r=0.154$  y  $P < 0.01$ ), V-13 (alteraciones auditivas, con  $r=0.150$  y  $P < 0.01$ ) y V-15 (problemas de movilidad, con  $r=0.221$  y  $P < 0.01$ )

Respecto al resto de la encuesta utilizada podemos observar el resultado en la tabla 5.12 y 5.13. En esta tabla hemos separado la población expuesta a dos niveles diferentes de densidad de potencia.

Los estadísticos descriptivos muestran el valor medio de la respuesta a cada pregunta, con su desviación típica, en dos grupos de población formados según el nivel de exposición.

- 1 Por debajo de  $0.05 \mu W/cm^2$ , hay 508 individuos (90.7%), con una densidad de potencia media de 0.0088 microWattios por centímetro cuadrado.
- 2 Por encima de  $0.05 \mu W/cm^2$  hay 52 individuos (9.3% restante), con una densidad de potencia media de 0.15 microWattios por centímetro cuadrado.

Tabla 5.8: Encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación, con todas las encuestas de la Ribera Baixa; del grado de severidad del síntoma respecto a la densidad de potencia en dBm.

N=560		Ribera Baixa
		dB re $(8.76 \cdot 10^{-5} \mu W/cm^2)$
V-01	Correlación de Pearson	0.044
	Sig. (unilateral)	0.147
V-02	Correlación de Pearson	0.097*
	Sig. (unilateral)	0.011
V-03	Correlación de Pearson	0.103**
	Sig. (unilateral)	0.008
V-04	Correlación de Pearson	0.064
	Sig. (unilateral)	0.064
V-05	Correlación de Pearson	0.032
	Sig. (unilateral)	0.227
V-06	Correlación de Pearson	0.067*
	Sig. (unilateral)	0.057
V-07	Correlación de Pearson	0.004
	Sig. (unilateral)	0.459
V-08	Correlación de Pearson	
	Sig. (unilateral)	
V-09	Correlación de Pearson	0.073*
	Sig. (unilateral)	0.042
V-10	Correlación de Pearson	0.030
	Sig. (unilateral)	0.240
V-11	Correlación de Pearson	-0.004
	Sig. (unilateral)	0.463
V-12	Correlación de Pearson	0.113**
	Sig. (unilateral)	0.004
V-13	Correlación de Pearson	0.063
	Sig. (unilateral)	0.069
V-14	Correlación de Pearson	0.039
	Sig. (unilateral)	0.180
V-15	Correlación de Pearson	0.193**
	Sig. (unilateral)	0.000
V-16	Correlación de Pearson	0.048
	Sig. (unilateral)	0.126

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).

Tabla 5.9: Ampliación de la encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación, con todas las encuestas de la Ribera Baixa, del grado de severidad del síntoma respecto a la densidad de potencia en dBm (1).

N=560		Ribera Baixa dB re $(8.76 \cdot 10^{-5} \mu W/cm^2)$
FLOJEDAD	Correl. Pearson	0.092*
	Sig. (unilat.)	0.014
ANSIEDAD	Correl. Pearson	0.109**
	Sig. (unilat.)	0.005
DISFUNCIONES OCULARES	Correl. Pearson	0.100**
	Sig. (unilat.)	0.009
OJOS SECOS	Correl. Pearson	0.082*
	Sig. (unilat.)	0.026
NERVIOSISMO	Correl. Pearson	-0.064
	Sig. (unilat.)	0.067
ESTRES	Correl. Pearson	0.085*
	Sig. (unilat.)	0.022
CAMBIOS ESTADO ANIMO	Correl. Pearson	0.071*
	Sig. (unilat.)	0.046
INESTABILIDAD EMOCIONAL	Correl. Pearson	0.158**
	Sig. (unilat.)	0.000
SON.INTENS CORTA DURAC.	Correl. Pearson	0.148**
	Sig. (unilat.)	0.000
SONIDOS PULSANTES	Correl. Pearson	0.114**
	Sig. (unilat.)	0.003
PERDIDAS AUDITIVAS	Correl. Pearson	0.068
	Sig. (unilat.)	0.053
SOMNOLENCIA	Correl. Pearson	0.063
	Sig. (unilat.)	0.068
INSOMNIO	Correl. Pearson	0.053
	Sig. (unilat.)	0.107
PESADILLAS	Correl. Pearson	0.111**
	Sig. (unilat.)	0.004
DESPIERTA POR LA NOCHE	Correl. Pearson	-0.015
	Sig. (unilat.)	0.362
CAMBIOS TEMP./SUDOR.	Correl. Pearson	0.154**
	Sig. (unilat.)	0.000

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).

Tabla 5.10: Ampliación de la encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación, con todas las encuestas de la Ribera Baixa, del grado de severidad del síntoma respecto a la densidad de potencia en dBm (2).

N=560		Ribera Baixa dB re(8.76 · 10 <sup>-5</sup> μW/cm <sup>2</sup> )
PSORIASIS	Correl. Pearson	0.138**
	Sig. (unilat.)	0.001
ECCEMAS	Correl. de Pearson	0.060
	Sig. (unilat.)	0.079
ERITEMA FACIAL	Correl. Pearson	0.104**
	Sig. (unilat.)	0.007
INFLAMACIONES PIEL	Correl. Pearson	0.053
	Sig. (unilat.)	0.145
REACCIONES ALERGICAS	Correl. Pearson	0.029
	Sig. (unilat.)	0.247
GANGLIOS CON PROBLEMAS	Correl. Pearson	0.102**
	Sig. (unilat.)	0.008
ESTOMAGO	Correl. Pearson	0.037
	Sig. (unilat.)	0.189
DIGESTIÓN	Correl. Pearson	0.022
	Sig. (unilat.)	0.304
DIABETES	Correl. Pearson	0.106**
	Sig. (unilat.)	0.006
PESO	Correl. Pearson	0.018
	Sig. (unilat.)	0.331
HIPERTENSIÓN	Correl. Pearson	0.037
	Sig. (unilat.)	0.189
DISM. TENSIÓN ARTERIAL	Correl. Pearson	0.043
	Sig. (unilat.)	0.157
ALTERACIONES TENSIÓN	Correl. Pearson	0.121**
	Sig. (unilat.)	0.002
ARRITMIA	Correl. Pearson	0.038
	Sig. (unilat.)	0.185
ANÁLISIS ANÓMALOS 2 AÑOS	Correl. Pearson	0.018
	Sig. (unilat.)	0.337
ALERGIAS	Correl. Pearson	0.010
	Sig. (unilat.)	0.404
RESFRIADOS	Correl. Pearson	0.029
	Sig. (unilat.)	0.250
CALOR P-C	Correl. Pearson	0.171**
	Sig. (unilat.)	0.000
TUMORACIONES	Correl. Pearson	0.060
	Sig. (unilat.)	0.078

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

Tabla 5.11: Ampliación de la encuesta Santini: Promedio y desviación estándar de la frecuencia de presentación del síntoma.

Promedio ± DesvStd	Ribera Baixa		Ribera Baixa
FLOJEDAD	2.78±2.59	ANSIEDAD	1.85±1.53
DISFUNC.OCULAR.	1.50±1.48	OJOS SECOS	1.48±1.53
NERVIOSISMO	2.63±1.65	ESTRÉS	2.31±1.49
CAMB.ESTAD.ÁNIMO	1.92±1.39	INESTAB.EMOC.	1.68±1.47
S.INTENS.CORTOS	1.37±1.19	S.PULSANTES	1.29±1.22
PERDIDAS AUDITIVAS	1.43±1.31	SOMNOLENCIA	1.50±1.42
INSOMNIO	2.19±1.72	PESADILLAS	1.71±1.57
DESPIERT.NOCHE	2.39±1.78	CAMB.TEMP.	1.76±1.64
PSORIASIS	1.40±1.36	ECCEMAS	1.38±1.36
ERITEMA FACIAL	1.29±1.29	INFLAMAC.PIEL	1.50±1.51
REACC.ALERG.	1.55±1.51	GANGL.PROBL.	1.36±1.39
ESTOMAGO	1.53±1.50	DIGESTIÓN	1.58±1.33
DIABETES	1.45±1.28	PROB.PESO	1.74±1.61
HIPERTENS	1.73±1.49	DISM.TENS.ARTER.	1.69±1.40
ALTERAC.TENSION	1.51±1.21	ARRITMIA	1.49±1.29
ANALISIS ANÓMALO	1.62±1.64	ALERGIAS	1.72±1.59
PROPENS.RESFRIAD.	1.85±1.45	CAL.PECHO/CAB.	2.36±2.73
TUMOR,...	1.57±1.87	POTENCIA	$(2.52 \pm 9.43) \cdot 10^{-2}$



Tabla 5.12: Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar separándolos en dos grupos de exposición (1).

Promedio±DesvStd	$S < 0.05\mu W/cm^2$ N=508	$S \geq 0.05\mu W/cm^2$ N=52
FLOJEDAD	2.75 ± 2.62	3.02 ± 2.33
ANSIEDAD	1.82 ± 1.55	2.12 ± 1.26
ALTERAC.VISUAL	1.79 ± 1.55	2.10 ± 1.81
DISFUNC.OCULAR	1.46 ± 1.44	1.81 ± 1.75
OJOS SECOS	1.46 ± 1.48	1.75 ± 1.96
NERVIOSISMO	2.67 ± 1.66	2.25 ± 1.57
ESTRÉS	2.27 ± 1.50	2.67 ± 1.35
CAMB.ESTAD.ÁNIMO	1.89 ± 1.40	2.19 ± 1.24
INESTAB.EMOCIONAL	1.63 ± 1.48	2.19 ± 1.28
SON.INTENS.CORTOS	1.33 ± 1.16	1.73 ± 1.37
SON.PULSANTES	1.26 ± 1.20	1.56 ± 1.38
PÉRDIDA AUDITIVA	1.41 ± 1.30	1.62 ± 1.42
SOMNOLENC.	1.50 ± 1.44	1.56 ± 1.18
INSOMNIO	2.19 ± 1.72	2.19 ± 1.74
PESADILLAS	1.65 ± 1.53	2.33 ± 1.81
DESPIERTA.NOCHES	2.37 ± 1.78	2.21 ± 1.74
CAMB. TEMP.-SUDORAC.	1.70 ± 1.62	2.37 ± 1.70
PSORIASIS	1.33 ± 1.22	2.10 ± 2.24
ECCEMAS	1.37 ± 1.36	1.46 ± 1.60
ERITEMA FACIAL	1.27 ± 1.25	1.50 ± 1.61
INFLAMACION.PIEL	1.50 ± 1.49	1.50 ± 1.66
REACCION.ALERG.	1.55 ± 1.50	1.50 ± 1.63
GANGLIOS PROBLEMAT.	1.33 ± 1.36	1.58 ± 1.65
ESTOMAGO	1.53 ± 1.50	1.58 ± 1.43
DIGESTIÓN	1.56 ± 1.34	1.75 ± 1.19
DIABETES	1.42 ± 1.26	1.77 ± 1.49
PESO	1.70 ± 1.54	2.13 ± 2.12
HIPERTENSIÓN	1.70 ± 1.39	2.02 ± 2.24
DISM.TENSIÓN ART.	1.69 ± 1.37	1.71 ± 1.73
ALTERAC.TENSIÓN	1.45 ± 1.14	2.02 ± 1.63
ARRITMIA	1.46 ± 1.27	1.81 ± 1.48
ANÁLISIS ANOMAL.	1.60 ± 1.63	1.77 ± 1.74
ALERGIAS	1.72 ± 1.58	1.69 ± 1.75
TEND.RESFRIAD.	1.86 ± 1.46	1.77 ± 1.34
CALOR PECH./CAB.	2.20 ± 2.58	3.92 ± 3.60
TUMORACIONES, ...	1.53 ± 1.83	1.98 ± 2.24
POTENCIA PROM.	$(8.77 \pm 9.69) \cdot 10^{-03}$	$(0.15507 \pm 0.26014)$

Tabla 5.13: Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar en separándolos en dos grupos de exposición (2).

Promedio±DesvStd	$S < 0.05\mu W/cm^2$ N=508	$S \geq 0.05\mu W/cm^2$ N=52
TELF.S.MOVILES?	3.69 ± 6.47	8.98 ± 8.04
CUANTO USA MOV.?	5.30 ± 3.18	2.75 ± 2.66
informac.efect.biolog.	2.46 ± 2.43	3.98 ± 2.59
nuev.tecn.mejora.calid.vida?	3.46 ± 2.07	3.21 ± 1.58
me preocupa mi salud?	4.58 ± 1.19	3.83 ± 1.26

Dado que el segundo grupo es el más expuesto (aunque representa tan sólo el 9.3% de la población estudiada), podemos observar como aumenta, generalmente, la frecuencia de presentación de todos los síntomas del segundo grupo (2) respecto a los primero (1). Exceptuando el nerviosismo, el insomnio, el despertarse por las noches, las inflamaciones de la piel, las reacciones alérgicas (alergias) y los resfriados.

Si consideramos los dos grupos se observa una tendencia de severidad creciente en una mayoría de síntomas relacionados con trastornos hormonales, con problemas de tensión arterial (alteraciones de la tensión arterial), así como con el sueño.

Observamos también una tendencia de mayor uso del teléfono móvil que crece con la frecuencia de presentación de los síntomas y con el nivel de exposición.

La actitud hacia las nuevas tecnologías es positiva, recibiendo una puntuación muy alta con respecto al resto de respuestas (superior a tres). Por otro lado, observamos una notable preocupación por la salud en todos los encuestados, aunque en el grupo más expuesto parece disminuir el interés por la propia salud. En cualquier caso se observar que la desviación típica es bastante pequeña.

Tabla 5.14: Número de horas de exposición por día para toda la población de la Ribera Baixa

	Frecuencia	Porcentaje
Menos de 1 h	3	0.5
De 1 a 4 h	1	0.2
De 4 a 8 h	41	7.3
De 8 a 16 h	235	42.0
De 16 a 24h	253	45.2
NS/NC	27	4.8
Total	560	100.0

Tabla 5.15: Uso del ordenador y el uso del móvil (Sí o No) para toda la población de la Ribera Baixa.

	Ordenador		Tel. Móvil	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Sí	126	22.5	283	50.5
No	434	77.5	277	49.5
Total	560	100.0	560	100.0

El tiempo que se vive en la vivienda donde se efectuaron las medidas es inferior a los dos años en el 20.0% de los casos, y un 23.2% no contesta a esta pregunta.

Las horas de permanencia en la vivienda se presentan en la tabla 5.15, en la que observamos una permanencia superior a 4 horas en un 97% de los casos.

En la tabla 5.16 se muestra el uso del ordenador y el uso del móvil (Sí o No). Se observa que un 77.3% de la población no usa el móvil, y un 22.5% sí lo usa.

La tabla 5.16 resume la cuestión de la procedencia de la información sobre los efectos biológicos de la telefonía móvil.

De los que tienen información, un 48.8% la recibe de la Televisión y Radio, un 14.8% de la prensa diaria, un 2.7% de revistas divulgativas, un 2.9% de revistas especializadas, un 1.1% de Internet, y por último un 23.9% de las conversaciones

Tabla 5.16: Información sobre los efectos biológicos de la telefonía móvil sobre toda la población de la Ribera Baixa.

	Frecuencia	Porcentaje
Sí	313	55.9
No	243	43.4
NS/NC	4	0.7
Total	560	100.0

Tabla 5.17: Resumen del estado civil de los encuestados en los cuestionarios de la Ribera Baixa.

	Frecuencia	Porcentaje
Soltero	111	19.8
Casado	395	70.5
Viudo	44	7.9
Separado	10	1.8
Total	560	100.0

con los amigos.

En la tercera parte de la encuesta (recogida junto con el EuroQol-5D) se les pregunta por su salud hoy con respecto a los últimos 12 meses. Aunque la mayoría se declara igual, 69.3%, un 23.9% se declara peor frente a un 6.3% que se declara mejor. Las tablas 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21 muestran el resumen de la información recogida sobre datos estadísticos de los encuestados.

Aunque las edades están centradas en torno a los 47 años, si que se observa un sesgo en los grupos de sexo, hay una mayoría de mujeres (68%) respecto de varones (32%). Esto es lógico, dado que las encuestas se pasaban al grupo de mujeres, y a este sesgo han contribuido las amas de casa, que es el grupo de actividad más numeroso, y el que permanece más tiempo en casa. Era de preveer este resultado por el horario de recogida de encuestas, que obviamente se enmarcaba

Tabla 5.18: Resumen del nivel de estudios de los encuestados en la Ribera Baixa.

	Frecuencia	Porcentaje
Sin estudios	93	16.6
Educación primaria	286	51.1
Educación secundaria	111	19.8
Universitaria	70	12.5
Total	560	100.0

Tabla 5.19: Resumen de la actividad de los encuestados en la Ribera Baixa.

	Frecuencia	Porcentaje
Empleado	186	33.2
Jubilado	80	14.3
Pensionista	16	2.9
Ama de casa	207	37.0
Estudiante	37	6.6
Parado	9	1.6
Funcionario	24	4.3
Otro	1	0.2
Total	560	100.0

Tabla 5.20: Resumen de los grupos de edad de los encuestados de la Ribera Baixa.

	Frecuencia	Porcentaje válido
De 15 a 25 años	68	12.1
De 26 a 35 años	87	15.5
De 36 a 45 años	84	15.0
De 46 a 55 años	97	17.3
De 56 a 65 años	110	19.6
Más de 65 años	114	20.4
Total	560	100.0

Tabla 5.21: Resumen por sexo de los encuestados de la Ribera Baixa.

	Frecuencia	Porcentaje
Hombre	179	32.0
Mujer	381	68.0
Total	560	100.0

mayoritariamente dentro de la jornada laboral, era lógico que nos aparecieran más amas de casa con el consiguiente sesgo hacia el sexo femenino.

Para estudiar un posible sesgo por edad y la consistencia de los resultados estudiamos la correlación entre la edad y los niveles medidos, entre la edad y el grado de salud global y por último separamos los hombres de las mujeres para analizar el grado de salud por separado.

### **Evaluación global de la salud**

Para evaluar globalmente el estado de salud, hemos definimos un grado de salud a partir de todos los síntomas evaluados en la encuesta tipo como la suma de la frecuencia de presentación de los síntomas reportados normalizada en cada individuo al número de síntomas considerados en la encuesta:

$$GradoSalud = \frac{\sum_i GradoSintoma_i}{nro.Sintomas} \quad (5.4.2)$$

donde  $GradoSintoma_i$  es la frecuencia reportada para el síntoma  $i$  y  $nro.Sintomas$  es el número total de síntomas considerados. De los 53 síntomas considerados, introducimos en esta nueva variable 49 de ellos con el fin de evaluar el estado de salud global.

La codificación para esta nueva variable será:

- Grado 1: Estado de salud muy bueno
- Grado 2: Estado de salud bueno

Tabla 5.22: Resumen del estado de salud de los encuestados en la Ribera Baixa.

ESALUD	Frecuencia	Porcentaje
Muy bueno	219	39.1
Bueno	294	52.5
Regular	34	6.1
Malo	9	1.6
NS/NC	4	0.7

Tabla 5.23: Resumen de la evolución del estado de salud de los encuestados de la Ribera Baixa.

SALUDHOY	Frecuencia	Porcentaje
mejor	35	6.3
igual	388	69.3
peor	134	23.9
ns/nc	3	0.5

- Grado 3: Estado de salud regular
- Grado 4: Estado de salud malo
- Grado 5: Estado de salud muy malo

En la tabla 5.22 observamos el resumen del estado de salud global de los encuestados.

En la tabla 5.23 observamos un resumen de la evolución durante los 12 últimos meses del estado de salud global obtenido a partir del EuroQol-5D de los encuestados. En él podemos observar una evolución negativa del estado de salud de los encuestados, al presentarse un porcentaje bastante elevado (23.9%) que se encuentra peor de salud o que se mantiene igual (69.3%).

La tabla 5.24 presenta un resumen de los estadísticos del estado de salud y de la evolución de la salud.

En la figura 5.25 presentamos un cuadro con las correlaciones obtenidas a

Tabla 5.24: Resumen de los estadísticos del estado de salud y de evolución del estado de salud de los encuestados en la Ribera Baixa.

	Media	Desviación típica	N
ESALUD	1.75	0.90	560
SALUDHOY	2.21	0.72	560
DB	17.5739	8.3617	560

partir de la potencia (lineal y en dB), el estado de salud y de evolución del estado de salud de los encuestados. Observamos que el estado de salud, normalizado a una escala de 5 ,presenta una significación  $P < 0.05$  cuando se correlaciona con la potencia ( $P < 0.01$  cuando lo hace con la unidad logarítmica -dB-), lo cual nos dice que no podemos rechazar la hipótesis nula de la relación entre las dos variables y nos puede hacer pensar que exista una cierta relación causal entre los valores de potencia y el estado de salud (aunque no podemos asegurarlo ya que pueden existir otras variables que influyan y que no hemos considerado en nuestro cuestionario).

Por otro lado, también se observa correlación significativa ( $P < 0.01$ ) entre la evolución del estado de salud medida en la encuesta EuroQol-5D y el grado de salud normalizado de la nuestra encuesta, indicando cierta consistencia en los resultados.

## 5.5 Estudio de Algemés (Ribera Alta)

Este estudio tiene las mismas características técnicas que el de la Ribera Baixa (Favara, Corbera y Sueca). La distribución de las encuestas se hizo esta vez de manera aleatoria (distribuido aleatoriamente sobre la superficie del municipio), sin equipo de encuestadores. Esto ha hecho un poco más difícil la recogida de cuestionarios, pero se intentará alcanzar el mismo número de cuestionarios que en



Tabla 5.25: Correlaciones de Pearson unilaterales entre la potencia (lineal y en dBm) y el estado de salud y de evolución del estado de salud de los encuestados en la Ribera Baixa.

		ESALUD	SALUDHOY	POTENCIA	DB
ESALUD	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	1.000 ,	0.129** 0.000	0.080* 0.029	0.135** 0.001
SALUDHOY	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.193** 0.000	1.000 ,	0.018 0.334	0.066 0.058
POTENCIA	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.080* 0.029	0.018 0.334	1.000 ,	0.439** 0.000
DB	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.135** 0.001	0.066 0.058	0.439** 0.000	1.000 ,

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral). \* La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).

Sueca, dado que su población es del orden de la de Algemesí (25000 habitantes)<sup>5</sup>.

La encuesta se introduce, como en el caso anterior, como parte de un estudio dedicado a evaluar el impacto en las zonas de acción de las estaciones base de telefonía móvil.

En general, al contrario que en el caso de la Ribera Baixa, la población ha cooperado en una medida notable. El ratio de respuesta ha sido cercano al 80%, posiblemente debido a las campañas de concienciación.

En este estudio, como en el anterior, se ha realizado la medida de la densidad de potencia dentro de las casas, lo cual ha supuesto el regreso a la vivienda donde se había recogido la encuesta para hacer las medidas en una determinada franja horaria (entre las 9-22 horas). El hecho de anotar la dirección de la persona encuestada y su edad impedía el anonimato, aunque esto no ha supuesto, en este caso, una disminución del número de personas dispuestas a colaborar.

La imposibilidad de contar con un equipo que realizase la encuesta nos han

<sup>5</sup>En el momento de realizar esta memoria aun no ha acabado el estudio.

alejado del objetivo inicial de recogida de encuestas, que si fuese el 5%, en Algemés sería de 1100. Esta cantidad de encuestas, a la vista de la situación, nos parece casi inalcanzable en el plazo de un año, por lo que hemos optado por recoger un número parecido al recogido en Sueca (429)<sup>6</sup>.

Otra situación que se observa, como en Sueca, es la predisposición a colaborar de los vecinos más cercanos a las estaciones base (BS) y, sorprendentemente, la disposición de los vecinos que tienen la BS en su propio edificio, aunque pareció ser una colaboración muy abierta.

Al contrario que en Sueca, hemos podido medir en bastantes edificios altos (a una altura aproximadamente igual a la de las antenas) y hemos observado que en los pisos que están a esta altura tienen una exposición considerablemente elevada (en ocasiones superior a  $6 \mu W/cm^2$ ), e incluso independientemente de la distancia a la antena debido a la directividad de la antena (en uno edificio a unos 220 metros de una antena se registran valores del orden de los  $5 \mu W/cm^2$  (en el parque Salvador Castell).

Hemos observado también que en las plantas bajas y pisos bajos, que están expuestos a niveles más bajos de radiación, por el llamado “efecto paraguas”. Las antenas de las BS son muy directivas, y concentran la densidad de potencia en la dirección perpendicular a su panel (las antenas de las BS tienen aspecto de panel de altavoz). Por esta razón un porcentaje alto de las encuestas corresponde a personas expuestas a bajos niveles de radiación.

## **Procedimiento**

Las medidas se efectuaban en las zonas de las viviendas donde se permanecía un tiempo mayor o igual a seis horas, dormitorios y salas de estar. El campo

---

<sup>6</sup>Aunque para esta memoria presentamos poco menos de la mitad, dado que el estudio no ha acabado en el momento de redacción de esta memoria

eléctrico presenta estructura de estacionarias, por la reflexión en las paredes muebles y estructuras metálicas de la habitación [97], [6].

El medidor EFM se mantenía aproximadamente a 1 metro de las paredes y 1.2 metros sobre el suelo, asimismo lo movíamos sobre un círculo de 25 cm de radio orientando la antena para conseguir la máxima lectura. La medida se anotó a la hoja de la respectiva encuesta.

### 5.5.1 Medidas en Algemésí

Las medidas se han realizado en el dormitorio y en la zona de la casa donde el encuestado pasa más tiempo a lo largo del día (suele ser el salón comedor o la salita de estar). A través de estas medidas, como en los estudios anteriores, se han establecido unos valores medios de la densidad de potencia con su desviación en Algemésí. Estas medidas presentan una gran variabilidad (desviación típica), pero son una primera aproximación a los niveles promedios a los que esta expuesta cada población.

Medidas en Algemésí:

- Medidas en 175 zonas
- Densidad de potencia media en salón  $0.2039 \pm 0.6729 \frac{\mu W}{cm^2}$
- Densidad de potencia media en habitación  $0.0953 \pm 0.3113 \frac{\mu W}{cm^2}$

### 5.5.2 Tratamiento estadístico de las encuestas

#### Resultados de Algemésí

Como en el caso anterior, hemos informatizado y procesado los datos de las encuestas con el paquete estadístico SPSS [98], [99].

Los resultados que se muestran a continuación corresponden a la primera encuesta, adaptación de la encuesta del Dr. Roger Santini del Inserm-CNRS de

Lyon. La encuesta contenía los 15 ítems de salud estudiados anteriormente, entre ellos la medida y la frecuencia de una serie de síntomas relacionados con el síndrome de microondas (ver 5.4.2).

La respuesta en cada uno de ellos era la frecuencia con la que se le presenta al encuestado un determinado síntoma, en una gradación 1-5. El cuestionario también recaba información sobre la proximidad de líneas de alta tensión, uso del ordenador personal, y uso del teléfono móvil celular.

Las encuestas se completan con medidas dentro de las viviendas, en las zonas donde se permanecía un tiempo mayor o igual a seis horas, dormitorios y salas de estar. La medida se anotó a la hoja de la respectiva encuesta.

Los cuestionarios rellenos por personas con un historial de trastornos crónicos o psicológicos se excluyeron del tratamiento estadístico.

Algemés es una ciudad con unos 25000 habitantes y la podríamos calificar como población semirural con un fuerte auge en el sector servicios. En ella, se recogieron 175 encuestas. Los encuestados eran hombres un 51.4% y mujeres un 48.6%, con edades distribuidas entre 15 y más de 65 años: 15-25 años (20.6%), 26-35 años (26.3%), 36-45 años (25.7%), 46-55 años (17.7%), 56-65 años (4.6%), más de 65 años (5.1%).

En la tabla 5.26 observamos que fatiga (V-01), irritabilidad (V-02), cefaléa (V-03), insomnio (V-06) y pérdida de memoria (V-10) son los síntomas que en término medio más se valoran en Algemesí, estos coinciden con los más valorados en la Ribera Baixa, y además dificultad de concentración (V-09).

Además siguiendo el mismo criterio que en el caso anterior, hemos estudiado la posible asociación existente entre la potencia y la frecuencia sintomatológica. Para ello hemos utilizado la correlación de Pearson unilateral entre el nivel de densidad de potencia (en  $dBr_c(8.76 \cdot 10^{-5})$ ) y la frecuencia con la que se presenta molestia o severidad del síntoma. Para ello efectuamos la hipótesis de modelo logarítmico

Tabla 5.26: Promedio sintomático y desviación estándar en Algemesí.

Algemesí	Media $\pm$ DesvStd
N	175
V-01	2.51 $\pm$ 1.04
V-02	2.57 $\pm$ 1.25
V-03	2.55 $\pm$ 1.14
V-04	1.33 $\pm$ 0.63
V-05	1.46 $\pm$ 0.75
V-06	2.46 $\pm$ 1.18
V-07	1.87 $\pm$ 0.99
V-08	1.83 $\pm$ 0.89
V-09	2.34 $\pm$ 1.08
V-10	2.13 $\pm$ 1.09
V-11	1.83 $\pm$ 1.16
V-12	1.67 $\pm$ 0.94
V-13	1.59 $\pm$ 0.91
V-14	1.39 $\pm$ 0.80
V-15	1.27 $\pm$ 0.78
V-16	1.35 $\pm$ 0.83
Potencia media hab.	0.0953 $\pm$ 0.3113
Potencia media salón	0.2039 $\pm$ 0.6729
Distancia	4.05 $\pm$ 1.47

con la densidad de potencia o término cuadrático con el campo eléctrico. En la tabla 5.27 observamos los valores obtenidos comparando con los resultados de los anteriores estudios.

La comparación entre los parámetros estadísticos arroja resultados dispares. La bondad del ajuste se desvanece para los distintos grupos de la Ribera (tanto la *Alta* -Carcaixent y Algemés- como la *Baixa* -Favara, Corbera y Sueca-), en contraste con la Ñora[3]. En total hay seis poblaciones, en estas se obtienen parámetros significativos para el síntoma V-06 (alteraciones del sueño), que es significativo en cuatro poblaciones de las seis<sup>7</sup>.

### 5.5.3 Discusión de los resultados en el estudio de Algemés

Como anteriormente hemos mencionado, el que el coeficiente de correlación sea bajo puede implicar una asociación no lineal del síntoma con la potencia, o bien un procedimiento de medida no adecuado, o que no exista relación causal entre el nivel de densidad de potencia RF (lo cual implicaría un nivel de significación  $P > 0.05$ ), al menos en este caso.

Como en el caso de La Ñora[3] el número de encuestas se acercaba al 5% de la población, y el ajuste más fiable era de tipo logarítmico, hemos probado de la misma manera con todas las encuestas recogidas en Algemés con el modelo logarítmico con medidas en las habitaciones y medidas en la salita de los encuestados. En la tabla 5.28 podemos ver los valores para los síntomas de la encuesta de Santini y en la 5.31, 5.30 el resto de síntomas agregados.

Con el fin de conocer cuales has sido los resultados en Algemés hemos aplicado el test de correlación de Pearson unilateral obteniendo que, para la encuesta de Santini, los síntomas más significativos en la relación con los niveles medidos en las habitaciones han sido: V-01 (fatiga, con  $r=0.135$  y  $P < 0.05$ ) y V-02 (irritabilidad,

<sup>7</sup>Este resultado coincide con las conclusiones del estudio de Altpeter et al. [12], aunque como en aquel trabajo, nosotros no conocemos el origen de esta significación.

Tabla 5.27: Correlación de Pearson y niveles de significación de la severidad de los síntomas de la encuesta de Santini con respecto al logaritmo de la densidad de potencia de campo electromagnético. La Ñora, Carcaixent, Corbera, Favara, Sueca y Algemesi.

		La Nora[3]	Carcaixent[3]	Corbera	Favara	Sueca	Algemesi
N		101	133	66	65	429	175
		dB $S_0$	dB $S_0$	dB $S_0$	dB $S_0$	dB $S_0$	dB $S_0$
V-01	r Pearson	0.438**	0.204**	0.027	-0.036	0.024	0.135*
	Sig.(unilat.)	0.000	0.010	0.413	0.388	0.312	0.037
V-02	r Pearson	0.515**	0.196**	0.120	-0.032	0.097*	0.141*
	Sig.(unilat.)	0.000	0.012	0.168	0.400	0.023	0.031
V-03	r Pearson	0.413	0.143	0.220*	0.015	0.063	0.022
	Sig.(unilat.)	0.000	0.050	0.038	0.454	0.095	0.384
V-04	r Pearson	0.354**	0.041	0.207	0.156	-0.010	0.066
	Sig.(unilat.)	0.000	0.451	0.048	0.108	0.418	0.191
V-05	r Pearson	0.485**	0.142	-0.070	-0.130	0.069	-0.040
	Sig.(unilat.)	0.000	0.052	0.287	0.151	0.076	0.299
V-06	r Pearson	0.413	0.226**	0.252	-0.084	0.023	0.091
	Sig.(unilat.)	0.000	0.005	0.021	0.253	0.321	0.116
V-07	r Pearson	0.400**	-0.035	0.079	-0.269*	0.012	-0.046
	Sig.(unilat.)	0.000	0.346	0.263	0.015	0.400	0.275
V-08	r Pearson	0.544**	0.151*				-0.002
	Sig.(unilat.)	0.000	.012				0.489
V-09	r Pearson	0.469**	0.048	0.107	0.011	0.083*	0.037
	Sig.(unilat.)	0.000	0.291	0.195	0.465	0.043	0.312
V-10	r Pearson	0.340**	0.064	0.061	0.012	0.001	0.027
	Sig.(unilat.)	0.000	0.231	0.314	0.462	0.492	0.362
V-11	r Pearson	0.358**	-0.099	-0.024	-0.048	-0.038	0.031
	Sig.(unilat.)	0.000	0.130	0.424	0.351	0.216	0.341
V-12	r Pearson	0.347**	-0.027	0.131	0.012	0.104*	0.058
	Sig.(unilat.)	0.000	0.380	0.147	0.462	0.015	0.225
V-13	r Pearson	0.163	-0.021	-0.076	-0.102	0.058	0.106
	Sig.(unilat.)	0.055	0.407	0.273	0.210	0.117	0.081
V-14	r Pearson	0.357**	-0.146*	-0.090	0.190	0.016	0.005
	Sig.(unilat.)	0.000	0.048	0.235	0.064	0.368	0.476
V-15	r Pearson	0.127	0.053	-0.013	-0.100	-0.024	0.098
	Sig.(unilat.)	0.108	0.272	0.458	0.215	0.311	0.098
V-16	r Pearson	0.290**	-0.025	0.125	0.069	0.064	0.008
	Sig.(unilat.)	0.002	0.387	0.158	0.293	0.092	0.457
$\frac{dP}{dS}$		$5.00 \cdot 10^{-2}$	0.1079	$4.52 \cdot 10^{-2}$	$8.47 \cdot 10^{-2}$	$1.31 \cdot 10^{-2}$	0.0953
$Er(\frac{dP}{dS})$		$10.65 \cdot 10^{-2}$	0.2049	$8.20 \cdot 10^{-2}$	$24.10 \cdot 10^{-2}$	$3.42 \cdot 10^{-2}$	0.3113

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).

Tabla 5.28: Encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación del grado de severidad del síntoma respecto al logaritmo de la densidad de potencia en Algesesí.

N=175		Algesesí	
		Habitación	Salón
		dB re (8.76 · 10 <sup>-5</sup> μW/cm <sup>2</sup> )	dB re (8.76 · 10 <sup>-5</sup> μW/cm <sup>2</sup> )
V-01	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.135* 0.037	0.252** 0.000
V-02	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.141* 0.031	0.100 0.094
V-03	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.022 0.384	0.101 0.093
V-04	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.066 0.191	0.050 0.257
V-05	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	-0.040 0.299	0.079 0.148
V-06	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.091 0.116	0.099 0.097
V-07	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	-0.046 0.275	0.027 0.362
V-08	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	-0.002 0.489	0.036 0.320
V-09	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.037 0.312	0.177** 0.010
V-10	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.027 0.362	0.166* 0.014
V-11	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.031 0.341	0.140* 0.033
V-12	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.058 0.225	0.091 0.116
V-13	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.106 0.081	0.144* 0.029
V-14	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.005 0.476	0.082 0.140
V-15	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.098 0.098	0.129* 0.044
V-16	Correl. Pearson Sig. (unilat.)	0.008 0.457	0.142* 0.030

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (unilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).



Tabla 5.29: Ampliación de la encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación del grado de severidad del síntoma respecto al logaritmo de la densidad de potencia en Algesesí (1).

N=175		Algesesí	
		dB re $(8.76 \cdot 10^{-5} \mu W/cm^2)$	dB re $(8.76 \cdot 10^{-5} \mu W/cm^2)$
FLOJEDAD	Correl. Pearson	0.063	0.179**
	Sig. (unilat.)	0.205	0.009
ANSIEDAD	Correl. Pearson	0.049	0.129*
	Sig. (unilat.)	0.261	0.044
DISFUNCIONES OCULARES	Correl. Pearson	0.035	0.050
	Sig. (unilat.)	0.325	0.256
OJOS SECOS	Correl. Pearson	0.103	0.251**
	Sig. (unilat.)	0.087	0.000
NERVIOSISMO	Correl. Pearson	0.059	0.143*
	Sig. (unilat.)	0.220	0.030
ESTRES	Correl. Pearson	0.014	0.107
	Sig. (unilat.)	0.428	0.080
CAMBIOS ESTADO ANIMO	Correl. Pearson	0.011	0.104
	Sig. (unilat.)	0.441	0.086
INESTABILIDAD EMOCIONAL	Correl. Pearson	0.076	0.102
	Sig. (unilat.)	0.158	0.090
SON.INTENS CORTA DURAC.	Correl. Pearson	0.074	0.079
	Sig. (unilat.)	0.166	0.149
SONIDOS PULSANTES	Correl. Pearson	0.110	0.082
	Sig. (unilat.)	0.075	0.139
PERDIDAS AUDITIVAS	Correl. Pearson	0.029	0.112
	Sig. (unilat.)	0.354	0.070
SOMNOLENCIA	Correl. Pearson	-0.010	0.112
	Sig. (unilat.)	0.446	0.070
INSOMNIO	Correl. Pearson	0.059	0.116
	Sig. (unilat.)	0.218	0.063
PESADILLAS	Correl. Pearson	-0.068	0.047
	Sig. (unilat.)	0.187	0.269
DESPIERTA POR LA NOCHE	Correl. Pearson	0.008	0.074
	Sig. (unilat.)	0.458	0.165
CAMBIOS TEMP./SUDOR.	Correl. Pearson	0.168*	0.255**
	Sig. (unilat.)	0.013	0.000

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).

Tabla 5.30: Ampliación de la encuesta Santini: Coeficiente de Correlación de Pearson y nivel de significación del grado de severidad del síntoma respecto al logaritmo de la densidad de potencia en Algemésí (2).

N=175		Algemésí	
		Habitación dB re(8.76 · 10 <sup>-5</sup> μW/cm <sup>2</sup> )	Salón dB re(8.76 · 10 <sup>-5</sup> μW/cm <sup>2</sup> )
PSORIASIS	Correl. Pearson	-0.091	0.033
	Sig. (unilat.)	0.117	0.333
ECCEMAS	Correl. Pearson	-0.020	0.111
	Sig. (unilat.)	0.397	0.072
ERITEMA FACIAL	Correl. Pearson	0.101	0.191**
	Sig. (unilat.)	0.092	0.006
INFLAMACIONES PIEL	Correl. Pearson	0.090	0.154*
	Sig. (unilat.)	0.119	0.021
REACCIONES ALERGICAS	Correl. Pearson	0.171*	0.242**
	Sig. (unilat.)	0.012	0.001
GANGLIOS CON PROBLEMAS	Correl. Pearson	0.000	0.034
	Sig. (unilat.)	0.499	0.328
ESTOMAGO	Correl. Pearson	0.042	0.121
	Sig. (unilat.)	0.291	0.055
DIGESTIÓN	Correl. Pearson	0.121	0.264**
	Sig. (unilat.)	0.055	0.000
DIABETES	Correl. Pearson	0.014	0.066
	Sig. (unilat.)	0.426	0.191
PESO	Correl. Pearson	0.007	-0.001
	Sig. (unilat.)	0.465	0.493
HIPERTENSION	Correl. Pearson	-0.042	0.024
	Sig. (unilat.)	0.292	0.378
DISM. TENSIÓN ARTERIAL	Correl. Pearson	0.112	0.193**
	Sig. (unilat.)	0.070	0.005
ALTERACIONES TENSIÓN	Correl. Pearson	0.057	0.160*
	Sig. (unilat.)	0.227	0.017
ARRITMIA	Correl. Pearson	0.092	0.211**
	Sig. (unilat.)	0.113	0.003
ANÁLISIS ANÓMALOS 2 AÑOS	Correl. Pearson	-0.008	0.111
	Sig. (unilat.)	0.457	0.073
ALERGIAS	Correl. Pearson	0.126*	0.245**
	Sig. (unilat.)	0.048	0.001
RESFRIADOS	Correl. Pearson	0.011	0.257**
	Sig. (unilat.)	0.443	0.000
CALOR P-C	Correl. Pearson	0.065	0.051
	Sig. (unilat.)	0.195	0.253
TUMORACIONES	Correl. Pearson	-0.002	-0.056
	Sig. (unilat.)	0.487	0.231

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).

Tabla 5.31: Ampliación de la encuesta Santini: Promedio y desviación estándar de la frecuencia de presentación del síntoma en Algemésí.

Promedio ± DesvStd	Algemésí		Algemésí
FLOJEDAD	1.85±1.01	ANSIEDAD	2.18±1.23
DISFUNC.OCULAR.	1.61±1.02	OJOS SECOS	1.57±0.97
NERVIOSISMO	2.48±1.12	ESTRÉS	2.50±1.14
CAMB.ESTAD.ÁNIMO	2.27±1.20	INESTAB.EMOC.	1.99±1.23
S.INTENS.CORTOS	1.45±0.87	S.PULSANTES	1.27±0.64
PERDIDAS AUDITIVAS	1.39±0.88	SOMNOLENCIA	2.19±1.17
INSOMNIO	2.08±1.21	PESADILLAS	1.74±1.08
DESPIERT.NOCHE	2.45±1.48	CAMB.TEMP.	1.70±1.03
PSORIASIS	1.21±0.73	ECCEMAS	1.57±1.06
ERITEMA FACIAL	1.51±1.18	INFLAMAC.PIEL	1.41±0.89
REACC.ALERG.	1.51±0.98	GANGL.PROBL.	1.39±1.31
ESTOMAGO	1.53±0.90	DIGESTIÓN	1.82±0.96
DIABETES	2.10±2.73	PROB.PESO	1.94±1.44
HIPERTENS	1.58±1.10	DISM.TENS.ARTER.	1.42±0.87
ALTERAC.TENSION	1.31±0.71	ARRITMIA	1.37±0.78
ANALISIS ANÓMALO	1.37±0.84	ALERGIAS	1.54±1.10
PROPENS.RESFRIAD.	1.94±1.10	CAL.PECHO/CAB.	1.54±1.45
TUMOR....	1.32±1.35	POTENCIA media HAB.	0.0953 ± 0.3113

con  $r=0.141$  y  $P<0.05$ ), curiosamente no ha correlacionado el ítem *alteraciones del sueño* como podríamos haber esperado. En el test de correlación con los niveles registrados en el salón o la salita, el número de síntomas ha aumentado en cierto grado, los más significativos han sido: V-01 (fatiga, con  $r=0.252$  y  $P<0.01$ ), V-09 (dificultad de concentración, con  $r=0.177$  y  $P<0.01$ ), V-10 (pérdida de memoria, con  $r=0.166$  y  $P<0.05$ ), V-11 (alteraciones de la piel, con  $r=0.140$  y  $P<0.05$ ), V-13 (alteraciones auditivas, con  $r=0.144$  y  $P<0.05$ ), V-15 (dificultades al andar, con  $r=0.129$  y  $P<0.05$ ) y V-16 (problemas cardio-vasculares, con  $r=0.142$  y  $P<0.05$ ).

Respecto al resto de la encuesta utilizada podemos observar el resultado en la tabla 5.32 y 5.34. En esta tabla hemos separado la población expuesta a dos niveles diferentes de densidad de potencia.

Los estadísticos descriptivos muestran el valor medio de la respuesta a cada pregunta, con su desviación típica, en dos grupos de población formados según el nivel de exposición.

- 1 Por debajo de  $0.05 \mu W/cm^2$  medido en la habitación, hay 141 individuos (80.6%), con una densidad de potencia media de 0.0084 microWattios por centímetro cuadrado.
- 2 Por encima de  $0.05 \mu W/cm^2$  medido en la habitación, hay 34 individuos (19.4% restante), con una densidad de potencia media de 0.46 microWattios por centímetro cuadrado.
- 3 Por debajo de  $0.05 \mu W/cm^2$  medido en el salón, hay 128 individuos (73.1%), con una densidad de potencia media de  $0.0104 \mu W/cm^2$ .
- 4 Por encima de  $0.05 \mu W/cm^2$  medido en el salón, hay 47 individuos (26.9% restante), con una densidad de potencia media de  $0.73 \mu W/cm^2$ .

Dado que el segundo grupo es el más expuesto en ambos casos (aunque representa un porcentaje menor de la población estudiada), podemos observar como

Tabla 5.32: Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar en dos grupos de exposición con medidas en las habitaciones (1). Población de Algemésí.

Promedio±DesvStd	$S < 0.05\mu W/cm^2$ N=141	$S \geq 0.05\mu W/cm^2$ N=34
FLOJEDAD	1.75 ± 0.96	2.24 ± 1.10
ANSIEDAD	2.11 ± 1.11	2.47 ± 1.62
DISFUNC.OCULAR	1.57 ± 1.02	1.74 ± 0.99
OJOS SECOS	1.52 ± 0.91	1.76 ± 1.18
NERVIOSISMO	2.40 ± 1.10	2.79 ± 1.20
ESTRÉS	2.45 ± 1.14	2.68 ± 1.15
CAMB.ESTAD.ÁNIMO	2.23 ± 1.17	2.47 ± 1.31
INESTAB.EMOCIONAL	1.90 ± 1.23	2.35 ± 1.18
SON.INTENS.CORTOS	1.40 ± 0.80	1.65 ± 1.10
SON.PULSANTES	1.22 ± 0.57	1.47 ± 0.83
PÉRDIDA AUDITIVA	1.34 ± 0.76	1.59 ± 1.26
SOMNOLENC.	2.17 ± 1.20	2.29 ± 1.03
INSOMNIO	2.02 ± 1.20	2.32 ± 1.20
PESADILLAS	1.78 ± 1.14	1.59 ± 0.78
DESPIERTA.NOCHE	2.39 ± 1.52	2.68 ± 1.30
CAMB. TEMP.-SUDORAC.	1.60 ± 0.92	2.09 ± 1.33
PSORIASIS	1.21 ± 0.76	1.18 ± 0.58
ECCEMAS	1.57 ± 1.04	1.56 ± 1.13
ERITEMA FACIAL	1.43 ± 0.97	1.85 ± 1.78
INFLAMACION.PIEL	1.35 ± 0.81	1.65 ± 1.15
REACCION.ALERG.	1.38 ± 0.83	2.03 ± 1.34
GANGLIOS PROBLEMAT.	1.34 ± 1.25	1.59 ± 1.56
ESTOMAGO	1.50 ± 0.87	1.65 ± 1.01
DIGESTIÓN	1.76 ± 0.91	2.09 ± 1.11
DIABETES	1.96 ± 2.57	2.65 ± 3.28
PESO	1.93 ± 1.41	1.97 ± 1.60
HIPERTENSIÓN	1.55 ± 1.09	1.71 ± 1.17
DISM.TENSIÓN ART.	1.40 ± 0.83	1.50 ± 1.05
ALTERAC.TENSIÓN	1.28 ± 0.69	1.41 ± 0.78
ARRITMIA	1.31 ± 0.70	1.59 ± 1.02
ANÁLISIS ANOMAL.	1.34 ± 0.78	1.50 ± 1.05
ALERGIAS	1.49 ± 1.07	1.76 ± 1.21
TEND.RESFRIAD.	1.92 ± 1.12	2.03 ± 1.06
CALOR PECH./CAB.	1.43 ± 1.32	2.03 ± 1.85
TUMORACIONES, ...	1.30 ± 1.31	1.38 ± 1.52
POTENCIA PROM. HAB	$(8.43 \pm 10.34) \cdot 10^{-03}$	$(0.4556 \pm 0.5869)$

Tabla 5.33: Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar en dos grupos de exposición con medidas en las habitaciones (2). Población de Algelesí.

Promedio±DesvStd	$S < 0.05\mu W/cm^2$ N = 141	$S \geq 0.05\mu W/cm^2$ N = 34
TELF.S.MOVILES?	1.13 ± 0.91	0.94 ± 0.65
CUANTO USA MOV.?	5.24 ± 2.00	5.38 ± 2.09
informac.efect.biolog.	1.48 ± 0.81	1.29 ± 0.46
nuev.tecn.mejora.calid.vida?	3.42 ± 1.20	3.41 ± 0.89
me preocupa mi salud?	4.30 ± 1.00	4.41 ± 0.70

aumenta, generalmente, la frecuencia de presentación de todos los síntomas del segundo grupo (2) respecto a los primero (1). Exceptuando en algunos síntomas como las pesadillas y alteraciones cutáneas (psoriasis y eccemas) en las mediciones en las habitaciones y la psoriasis, la hipertensión o la existencia de tumoraciones, ... en el caso de las mediciones en el salón, la tendencia es que en el primer grupo los valores del síntoma sean menores.

Si consideramos los dos grupos se observa una tendencia de severidad creciente en una mayoría de síntomas relacionados con trastornos hormonales, con problemas de tensión arterial (alteraciones de la tensión arterial), así como con el sueño.

Observamos, en este caso, una tendencia de mayor uso del teléfono móvil que decrece con la frecuencia de presentación de los síntomas y con el nivel de exposición.

Por otro lado, la actitud hacia las nuevas tecnologías es positiva, recibiendo una puntuación muy alta con respecto al resto de respuestas (superior a tres). Por otro lado, observamos una notable preocupación por la salud en todos los encuestados, aunque en el grupo más expuesto parece disminuir el interés por la propia salud. En cualquier caso se observar que la desviación típica es bastante

Tabla 5.34: Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar en dos grupos de exposición con medidas en el salón (1). Población de Algeciras.

Promedio±DesvStd	$S < 0.05\mu W/cm^2$ N=128	$S \geq 0.05\mu W/cm^2$ N=47
FLOJEDAD	1.77 ± 0.98	2.06 ± 1.07
ANSIEDAD	2.13 ± 1.24	2.32 ± 1.20
DISFUNC.OCULAR	1.59 ± 1.07	1.66 ± 0.87
OJOS SECOS	1.41 ± 0.82	2.00 ± 1.20
NERVIOSISMO	2.45 ± 1.14	2.55 ± 1.10
ESTRÉS	2.45 ± 1.14	2.62 ± 1.13
CAMB.ESTAD.ÁNIMO	2.25 ± 1.18	2.34 ± 1.24
INESTAB.EMOCIONAL	1.96 ± 1.30	2.06 ± 1.03
SON.INTENS.CORTOS	1.41 ± 0.86	1.53 ± 0.91
SON.PULSANTES	1.25 ± 0.63	1.32 ± 0.66
PÉRDIDA AUDITIVA	1.37 ± 0.79	1.45 ± 1.10
SOMNOLENC.	2.17 ± 1.20	2.26 ± 1.07
INSOMNIO	2.02 ± 1.21	2.23 ± 1.20
PESADILLAS	1.73 ± 1.14	1.77 ± 0.91
DESPIERTA.NOCHES	2.38 ± 1.50	2.64 ± 1.42
CAMB. TEMP.-SUDORAC.	1.53 ± 0.90	2.15 ± 1.23
PSORIASIS	1.23 ± 0.80	1.13 ± 0.49
ECCEMAS	1.52 ± 1.01	1.70 ± 1.18
ERITEMA FACIAL	1.41 ± 0.98	1.81 ± 1.57
INFLAMACION.PIEL	1.35 ± 0.83	1.57 ± 1.04
REACCION.ALERG.	1.38 ± 0.87	1.85 ± 1.18
GANGLIOS PROBLEMAT.	1.35 ± 1.30	1.49 ± 1.37
ESTOMAGO	1.48 ± 0.90	1.64 ± 0.90
DIGESTIÓN	1.68 ± 0.86	2.21 ± 1.10
DIABETES	2.00 ± 2.61	2.36 ± 3.04
PESO	1.92 ± 1.41	1.98 ± 1.54
HIPERTENSIÓN	1.59 ± 1.11	1.55 ± 1.08
DISM.TENSIÓN ART.	1.34 ± 0.80	1.62 ± 1.03
ALTERAC.TENSIÓN	1.27 ± 0.67	1.40 ± 0.80
ARRITMIA	1.31 ± 0.68	1.51 ± 0.98
ANÁLISIS ANOMAL.	1.31 ± 0.76	1.53 ± 1.02
ALERGIAS	1.40 ± 0.97	1.94 ± 1.34
TEND.RESFRIAD.	1.77 ± 1.03	2.40 ± 1.17
CALOR PECH./CAB.	1.48 ± 1.50	1.70 ± 1.32
TUMORACIONES, ...	1.37 ± 1.50	1.19 ± 0.82
POTENCIA PROM. SALÓN	0.01036 ± 0.01247	(0.7309 ± 1.1508)

Tabla 5.35: Ampliación de la encuesta Santini: promedio y desviación estándar en dos grupos de exposición con medidas en el salón (2). Población de Algemésí.

Promedio±DesvStd	$S < 0.05\mu W/cm^2$ N = 128	$S \geq 0.05\mu W/cm^2$ N = 47
TELF.S.MOVILES?	1.12 ± 0.88	1.02 ± 0.82
CUANTO USA MOV.?	5.33 ± 1.96	5.11 ± 2.17
informac.efect.biolog.	1.48 ± 0.83	1.34 ± 0.48
nuev.tecn.mejora.calid.vida?	3.46 ± 1.22	3.30 ± 0.91
me preocupa mi salud?	4.24 ± 1.00	4.55 ± 0.75

Tabla 5.36: Número de horas de exposición por día para la muestra de Algemésí.

	Frecuencia	Porcentaje
Menos de 1 h	1	0.6
De 1 a 4 h	1	0.6
De 4 a 8 h	3	1.7
De 8 a 16 h	131	74.9
De 16 a 24h	39	22.3
Total	175	100.0

pequeña (meor que 1 en los grupos más expuestos).

El tiempo que se vive en la vivienda donde se efectuaron las medidas es inferior a los dos años en el 9.7% de los casos, entre dos y cinco años en el 33.1% de los casos y mayor de 5 años en el 57.1%, por lo que deducimos que la vida en la vivienda suele ser anterior a la instalación de la mayoría de las antenas y en muchos casos no están acondicionadas ni térmica, ni acústicamente.

Las horas de permanencia en la vivienda se presentan en la tabla 5.37, en la que observamos una permanencia superior a 8 horas en un 97.2% de los casos.

En la tabla 5.37 se muestra el uso del ordenador y el uso del móvil (Sí o No). Se observa que un 77.3% de la población no usa el móvil, y un 22.5% sí lo usa.

La tabla 5.38 resume la cuestión sobre la posesión de la información sobre los



Tabla 5.37: Uso del ordenador y del móvil (Sí o No) en la muestra de Algemésí.

	Ordenador		Tel. Móvil	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Sí	127	72.6	108	61.7
No	48	27.4	67	38.3
Total	175	100.0	175	100.0

Tabla 5.38: ¿Tiene Ud. información sobre los efectos biológicos de la telefonía móvil?. Muestra de Algemésí

	Frecuencia	Porcentaje
Sí	105	60.0
No	69	39.4
NS/NC	1	0.6
Total	175	100.0

efectos biológicos de la telefonía móvil.

La siguiente cuestión tiene respuesta múltiple y de los que tienen información, un 40.0% la recibe de la Televisión y Radio, un 22.3% de la prensa diaria, un 6.9% de revistas divulgativas, un 6.9% de revistas especializadas, un 7.4% de Internet, y por último un 30.3% de las conversaciones con los amigos.

En la tercera parte de la encuesta (recogida junto con el EuroQol-5D) se les pregunta por su salud hoy con respecto a los últimos 12 meses. Aunque la mayoría se declara igual, 71.4%, un 16.6% se declara peor frente a un 9.7% que se declara mejor. Las tablas 5.39, 5.40, 5.41, 5.42, 5.43 muestran el resumen de la información recogida sobre datos estadísticos de los encuestados.

Las edades están centradas en torno a los 38 años de manera casi simétrica. Para estudiar un posible sesgo por edad y la consistencia de los resultados estudiamos la correlación entre la edad y los niveles medidos, entre la edad y el grado

Tabla 5.39: Resumen del estado civil de los encuestados. Muestra de Algemesí.

	Frecuencia	Porcentaje
Soltero	68	38.9
Casado	101	57.7
Viudo	5	2.9
Separado	1	0.6
Total	175	100.0

Tabla 5.40: Resumen del nivel de estudios de los encuestados. Muestra de Algemesí.

	Frecuencia	Porcentaje
Sin estudios	5	2.9
Educación primaria	27	15.4
Educación secundaria	52	29.7
Universitaria	91	52.0
Total	175	100.0

Tabla 5.41: Resumen de la actividad de los encuestados. Muestra de Algemesí.

	Frecuencia	Porcentaje
Empleado	80	45.7
Jubilado	6	3.4
Pensionista	5	2.9
Ama de casa	10	5.7
Estudiante	29	16.6
Parado	10	5.7
Funcionario	35	20.0
Total	175	100.0

Tabla 5.42: Resumen de los grupos de edad de los encuestados. Muestra de Algemesí

	Frecuencia	Porcentaje válido
De 15 a 25 años	36	20.6
De 26 a 35 años	47	26.9
De 36 a 45 años	44	25.1
De 46 a 55 años	31	17.7
De 56 a 65 años	8	4.6
Más de 65 años	9	5.1
Total	175	100.0

Tabla 5.43: Resumen por sexo de los encuestados. Muestra de Algemesí.

	Frecuencia	Porcentaje
Hombre	90	51.4
Mujer	85	48.6
Total	175	100.0

Tabla 5.44: Estadísticos descriptivos de las variables consideradas en la muestra de Algemesí.

	Media	Desviación típica	N
ESALUT	1.75	0.60	175
EDAD	37.94	14.46	175
G-EDAT	2.75	1.36	175
POTENCIA-SL	0.2039	0.6729	175
DB-SL	22.2850	10.3549	175
TERMOMET	75.10	14.71	168

de salud global y por último separamos los hombres de las mujeres para analizar el grado de salud por separado.

Para simplificar, se define, como en la sección anterior, un grado de salud a partir de las encuestas Santini y la CMI-Ribera, como la suma de la frecuencia de presentación de los síntomas reportados normalizada en cada individuo al número de síntomas de ambas encuestas

De las 5.44, 5.45 se observa correlación significativa al 95% ( $P < 0.05$ ), entre el grado de salud normalizado a 5 (de Santini-CMI-Ribera) (ESALUD en las Tablas) y campo eléctrico al cuadrado (potencia) y al 99% ( $P < 0.01$ ) con el logaritmo de la potencia (dB). Por otro lado, también se observa correlación significativa al 99% entre la autovaloración de la salud medido en el termómetro de la encuesta EuroQol-5D y el grado de salud normalizado de la encuesta Santini-CMI-Ribera, indicando cierta consistencia en los resultados. La correlación es significativa al 99% entre el termómetro de salud y la edad, es lógico en cierta medida una degradación de este parámetro con la edad, sin embargo el estado de salud (ESALUT tal y como lo definimos en la sección anterior) no correla con la edad, al menos en primera aproximación lineal.

Tabla 5.45: Correlaciones entre grado de salud ESALUD, TERMOMETRO de SALUD, las medidas y la edad. Muestra de Algemésí

		ESALUT	EDAD	G-EDAT	POT-ESL	DB-SL	TERMO.
ESALUT	r Pearson	1,000	0,112	0,114	0,156*	0,227**	-0,423**
	Sig.(unilat.)	,	0,071	0,067	0,019	0,001	0,000
EDAD	r Pearson	0,112	1,000	0,966**	0,039	0,020	-0,208**
	Sig.(unilat.)	0,071	,	0,000	0,304	0,399	0,003
G-EDAT	r Pearson	0,114	0,966**	1,000	0,032	0,006	-0,237**
	Sig.(unilat.)	0,067	0,000	,	0,338	0,468	0,001
POT-ESL	r Pearson	0,156*	0,039	0,032	1,000	0,569**	-0,123
	Sig.(unilat.)	0,019	0,304	0,338	,	0,000	0,056
DB-SL	r Pearson	0,227**	0,020	0,006	0,569**	1,000	-0,197**
	Sig.(unilat.)	0,001	0,399	0,468	0,000	,	0,005
TERMO.	r Pearson	-0,423**	-0,208**	-0,237**	-0,123	-0,197**	1,000
	Sig.(unilat.)	,000	,003	,001	,056	,005	,

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).

\*\* La correlación es significante al nivel 0,01 (unilateral).

## 5.6 Análisis factorial

En esta sección hemos tratado de determinar los factores principales de influencia subjetiva sobre el ser humano de la exposición de microondas mediante el cuestionario desarrollado por el profesor Roger Santini, traducido por el Dr. Claudio Gómez-Perretta y ampliado por nuestro equipo. Para ello hemos utilizado el análisis factorial, una técnica estadística multivariante que nos permite identificar un número relativamente pequeño de factores que pueden ser utilizados para representar la relación existente entre un conjunto de variables intercorrelacionadas [102].

Nuestro proposito es: 1) determinar si el análisis factorial identifica un único "síndrome de microondas" entre la gente potencialmente expuesta a la radiación de microondas producida por las Estaciones Base (BS) de telefonía móvil y 2) observar el comportamiento del análisis factorial cuando es aplicado a los diferentes

cuestionarios de la encuesta.

Originalmente, el análisis factorial fue desarrollado por los psicólogos, teniendo como precedente los conceptos de factor latente de Galton y eje principal de K. Pearson. En 1904, Ch. Spearman desarrolló toda una teoría de la inteligencia apoyada sobre un sólo factor general, que llamó factor “g”, proponiendo el modelo de dos factores (un factor común y un factor único). Pero lo que se entiende actualmente por Análisis Factorial tiene su punto de partida en un trabajo publicado por Thurstone en 1931 y sobre todo después de su obra “*Multiple factor analysis*”(1947). Thurstone estableció la relación entre las correlaciones de las variables y los coeficientes de la matriz factorial, introdujo el concepto de “estructura simple” y las primeras rotaciones en el espacio de los factores comunes.

Los modelos y métodos de Spearman, Thurstone, así como ciertas extensiones de Holzinger, Burt, Harman y Horst, se consideran exclusivamente de simple interés histórico. Actualmente, el problema de obtener la matriz factorial se resuelve por alguno de estos métodos: factor principal, análisis factorial canónico (Rao, 1955), método alfa (Kaiser y Caffrey, 1965) y método de la máxima verosimilitud.

Hasta los años 60, el análisis factorial se entendió en sentido exploratorio, como una herramienta que permitiera explorar la dimensionalidad desconocida de las variables. Posteriormente, el análisis se ha entendido también en sentido confirmatorio, lo que significa establecer una estructura para los factores y seguidamente, mediante una estimación y contraste de hipótesis, confirmarla con las variables observadas.

### 5.6.1 Población

En este estudio hemos utilizado una población de 735 personas de la cuatro ciudades consideradas en las comarcas de la Ribera de Xúquer. El promedio de

edad son 46'28 años ( $dt = 17'62$ ). En esta muestra tenemos 269 hombres (36'6%) y 466 mujeres (63'4%), el estado civil de los cuales se reparte en 24'4% solteros, 67'5% casados, 6'7% viudos y 1'5% separados. La actividad laboral que ocupa a los encuestados es 36'3% empleados, 14'6% pensionistas o jubilados, 29'5% amas de casa, 9% estudiantes, 2'6% desempleados y 8% funcionarios. Según la educación recibida hasta el momento hemos obtenido que un 13'3% de encuestados no tiene estudios, un 42'6% tiene educación primaria, un 22'2% tiene educación secundaria y 21'9% tiene educación universitaria.

### 5.6.2 Instrumento

El instrumento utilizado para evaluar la respuesta subjetiva de la radiación de microondas producida por las BS de telefonía móvil de GSM900 y DCS1800 es la encuesta utilizada en los diferentes estudios realizados en el ámbito de la comarca de la Ribera (Favara, Corbera, Sueca y Algemesí), compuesta por tres cuestionarios:

- Primero, el cuestionario desarrollado por el prof. Roger Santini del CNSR de Lyon y traducido al español por el Dr. Claudio Gómez-Perretta. Este cuestionario tiene 29 ítems de los cuales 16 están relacionados con síntomas que conforman el que se ha dado en llamar “síndrome de microondas”, 5 ítems están relacionados con las características de la exposición (horas de exposición, distancia a las antenas, número de antenas, orientación de las antenas, medida de la intensidad del campo electromagnético) y los demás ítems corresponden a información sobre otras fuentes de campos electromagnéticos usadas por los encuestados.
- El segundo es un cuestionario ampliado por nuestro grupo a partir de la bibliografía y basado en el cuestionario CMI [94]. Está compuesto por 38

ítems de salud relacionados con el “síndrome de microondas” y 8 ítems relacionados con hábitos y uso de las nuevas tecnología.

- El tercer cuestionario es el EUROQol-5D, el cual ha sido extensamente utilizado en estudios de salud pública como medida de salud y de la calidad de salud. Este cuestionario tiene 3 secciones, 7 ítems sobre salud y calidad de vida y 6 ítems sobre información demográfica.

### 5.6.3 Procedimiento

Utilizando las encuestas que fueron cumplimentadas de forma voluntaria en los municipios de Corbera (3029 hab.), Favara (1777 hab.) , Sueca (25371 hab.) y Algemés (24563 hab.), en total se han recogido 735 encuestas.

Con las respuestas a los cuestionarios se calcularon diversos estadísticos descriptivos, que ya hemos expuesto en secciones anteriores, para cada ítem del cuestionario así como la correlación que cada uno de ellos mantenía con el total de los ítems con la intención de obtener índices de discriminación para cada uno de ellos. Además, también se han calculado las matrices de correlaciones inter-ítems, con el objeto de comprobar la cuantía de las relaciones entre los diferentes elementos. Estos análisis permiten un primer conocimiento del comportamiento de cada uno de los ítems que componen el instrumento. En segundo lugar, para estudiar las dimensiones del constructo, se realizó un análisis factorial exploratorio clásico. Pero antes, como requisito previo, se ha utilizado el test de esfericidad de Barlett y el índice KMO de Kaiser-Meyer-Olkin [103]. El primero se emplea para contrastar la hipótesis de que la matriz de correlaciones obtenida no es una matriz de identidad, es decir, que hay intercorrelaciones significativas entre las variables que justifican el análisis factorial. En cuanto al índice KMO se trata de una medida de adecuación de la muestra, sabiendo que los valores bajos en dicho índice ( $KMO < 0.5$ ) desaconsejan la aplicación de este análisis. El análisis



Tabla 5.46: Test de esfericidad de Barlett para comprobar la viabilidad del análisis factorial con todas las variables consideradas de la Ribera Baixa y Alghesí.

Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	20697.286
	gl	1770
	Sig. (p)	,000

factorial clásico o exploratorio se ha realizado con el método de factorización de componentes principales [104], incluido en el paquete de programas estadísticos SPSS. Se han aplicado, además, rotación ortogonal factorial Varimax [105].

#### 5.6.4 Análisis factorial exploratorio de la prueba

Antes de aplicar el análisis factorial hemos de comprobar, mediante el test de esfericidad de Barlett, que la matriz de correlaciones no es una matriz identidad. Este test es un requisito previo a la aplicación del análisis factorial, y nos mostró, para las variables consideradas la tabla 5.46

Lo cual evidencia que la matriz de correlaciones no es la identidad y que existen intercorrelaciones altas o aceptables entre las 60 variables consideradas, lo cual indica que la matriz de datos es apta para el análisis factorial. También, el cálculo del índice KMO nos resulta 0'865, confirmando la adecuación de los datos al análisis factorial.

Para el estudio de las dimensiones de las variables del cuestionario de Santini junto con las del cuestionario ampliado (basado en CMI), hemos utilizado el análisis factorial clásico o exploratorio. Realizando el análisis factorial por componentes principales, comprobamos que la razón de varianza explicada, considerando los factores con un peso superior a la unidad, es de un 66'51%.

Para el estudio de las dimensiones del cuestionario de Santini hemos utilizado el análisis factorial clásico o exploratorio. Realizando el análisis factorial por componentes principales, comprobamos que la razón de varianza explicada, considerando los factores con un peso superior a la unidad, es de un 65'80%. Para explicar la razón de varianza explicada hemos utilizado 17 factores.

De esta manera podemos ver en la tabla 5.47 el porcentaje de varianza explicada por cada factor. Cada variable está ligada a un factor y estas engloban a cada factor mediante el porcentaje de la varianza explicada.

A continuación presentamos una descripción de los factores seleccionados en relación con las variables clasificadas mediante la matriz de componentes rotados (en las tablas 5.48, 5.49, 5.50 y 5.51 podemos ver la matriz de componentes rotados):

- En el primer factor vemos que los síntomas que más pesan son problemas cutáneos (eccemas, eritema facial, psoriasis, inflamaciones de la piel, reacciones alérgicas), ganglios con problemas, problemas auditivos (sonidos intensos y de corta duración, pulsantes, pérdidas auditivas), problemas de sueño (pesadillas, somnolencia).
- En el segundo factor se agrupan ansiedad/depresión (de EUROQol-5D), cambios bruscos of estado de ánimo, nerviosismo, V-07 (depresión), V-02 (irritabilidad) y flojedad.
- En el tercer factor se agrupan los problemas para realizar tareas cotidianas (de EUROQol-5D), dificultades para caminar (de EUROQol-5D), problemas con el cuidado personal (de EUROQol-5D) y dolor/malestar (de EUROQol-5D).
- El cuarto factor agrupa todas las variables relativas a las mediciones realizadas (campo, potencia y db).

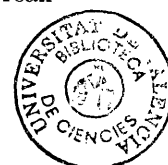


Tabla 5.47: Tabla de porcentaje de varianza explicada con todas las variables consideradas de la Ribera Baixa y Algemésí.

FACTOR	Total	% Varianza Explicada	% Varianza Acumulada	Variables	Comunalidades
1	11,523	19,205	19,205	ECCEMAS, Eritema Facial, PSORIASIS, Probl.ganglios, Inflamación piel, Reacciones alérgicas, SOMNOLENCIA.Pesadillas, Cambios temp./sudor	0'786, 0'781, 0'708, 0'685, 0'761, 0'767, 0'616, 0'617, 0'601
2	4,735	7,892	27,097	ESTRÉS,ansiedad/depresión, Cambios estado ánimo Nerviosismo,V-07.ANSIEDAD, Inestab.emocional,V-02, FLOJEDAD	0'680, 0'646, 0'608, 0'592, 0'508 ,0'601, 0'507, 0'521, 0'561
3	2,596	4,326	31,423	Activ.cotidianas, Movilidad, Cuid.Personal,Dolor/malestar	0'746, 0'731 0'653, 0'604
4	2,448	4,080	35,503	CAMP-E.POTENCIA.DB	0'963, 0'808, 0'676
5	2,148	3,580	39,083	V-06.INSOMNIO, Despierta p noche	0'775, 0'798, 0'774
6	1,902	3,170	42,253	Pérd.auditiv.,Son.intens. y cortos,V-13.Son.pulsantes	0'819, 0'768, 0'685 ,0'784
7	1,703	2,838	45,091	Alteración Tensión HIPERTENS..ARRITMIA. HIPOTENS.Análisi sug	0'741, 0'670, 0'505, 0'595,0'487
8	1,616	2,694	47,785	V-05,V-04,V-09, V-10,V-01,V-14	0'543, 0'540, 0'599, 0'535, 0'528, 0'486
9	1,467	2,446	50,231	Disf.Oculares,Ojos secos, V-12	0'788, 0'730 0'636
10	1,391	2,319	52,550	Dolor estómago, Prob.Digestivos	0'775, 0'780
11	1,317	2,194	54,744	TUMOR.LEUCEMIA.... Calor pecho/cabeza	0'847, 0'833
12	1,187	1,978	56,723	V-11	0'698
13	1,157	1,920	58,652	Propensión a resfriados, Alergias.SALUDHOY	0'608, 0'644,0'298
14	1,151	1,918	60,570	V-03,V-16	0'583, 0'451
15	1,079	1,798	62,368	Peso.DIABETES	0'574, 0'540
16	1,035	1,725	64,093	Nv.Tecn.mejoran c.vida?	0'584
17	1,021	1,702	65,795	Le preocupa su salud?	0'751

Método de extracción: Análisis de Componentes Principales

- En el quinto factor se agrupan variables relativas a la calidad del sueño (insomnio, V-06, se despierta por las noches).
- El sexto factor atiende a las pérdidas auditivas, sonidos intensos y de corta duración, alteraciones auditivas (V-13) y sonidos pulsantes.
- El séptimo factor contempla los síntomas cardíacos (alteraciones de la tensión, hipertensión, hipotensión, anomalías en algún análisis de sangre en los últimos 2 años).
- El octavo factor agrupa los síntomas de la encuesta de Santini V-05 (pérdida de apetito), V-04 (nauseas), V-09 (dificultad de concentración), V-10 (pérdida de memoria), V-01 (fatiga) y V-14 (vértigos).
- El noveno factor resume algunos de los síntomas relacionados con la vista (disfunciones oculares, ojos secos, alteraciones visuales (V-12)).
- El décimo factor atañe a problemas gástricos (problemas de estomago, digestiones pesadas).
- El undécimo factor atiende a síntomas tumorales (leucemias, tumoraciones) y calor en el pecho o la cabeza
- V-11 (problemas de piel) está relacionado con el duodécimo factor y el resto de síntomas se reparte entre los factores restantes (5).

### **5.6.5 Análisis de las diferentes encuestas**

La dificultad de interpretación de los factores anteriores nos ha hecho que intentemos aplicar el análisis factorial a cada una de las encuestas por separado (a la ampliación de la encuesta de Santini y a la propia encuesta Santini).

### **Análisis de la encuesta Santini**

El análisis exploratorio realizado a los datos referidos para averiguar la conveniencia de la aplicación del análisis factorial a los síntomas registrados en la encuesta de Santini ha dado resultados aceptables. El valor del índice KMO ha sido 0'708, calificado como aceptable según el criterio de Kaiser [105].

En la tabla 5.52 presentamos los resultados de las pruebas de viabilidad para la realización del análisis factorial para los síntomas de la encuesta Santini <sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup>V-01 fatiga, V-02 irritabilidad, V-03 cefaléa, V-04 náuseas, V-05 pérdida de apetito, V-06 insomnio, V-07 depresión, V-08 estado incómodo, V-09 dificultad de concentración, V-10 pérdida de memoria, V-11 alteraciones de la piel, V-12 alteraciones visuales, V-13 alteraciones auditivas, V-14 vértigos, V-15 dificultades al andar, V-16 problemas cardiovasculares.

Aquí hemos obtenido 4 factores, que explican el 50'91% de la varianza total. En la tabla 5.53 podemos ver el porcentaje de varianza explicada por cada factor.

En la tabla 5.54 observamos la matriz de componentes rotados.

De esta manera hemos conseguido que 4 factores resuman la acción de 17 variables (hemos eliminado la variable V-08 y V-15 porque no fue incluida en el cuestionario de Santini en el estudio de la Ribera Baixa). A continuación presentamos una descripción de los factores asociados a las variables estudiadas en este caso:

- En el primer factor se engloban las variables V-06 (insomnio), V-07 (depresión), V-09 (dificultad de concentración), V-02 (irritabilidad), V-03(cefalea) y V-01 (fatiga).
- En el segundo factor se valoran las variables relacionadas con las mediciones realizadas (intensidad de campo electromagnético, densidad de potencia y unidades logarítmicas(dB)).
- El tercer factor pesan las variables V-13 (alteraciones auditivas), V-12 (alteraciones visuales), V-11 (alteraciones de la piel) y V-10 (pérdida de memoria).
- En el cuarto V-04 (nauseas), V-05 (pérdida de apetito), V-14 (vértigos) y V-16 (problemas cardiovasculares).

Esta separación de los síntomas hace difícil su interpretación. Pese a todo, podemos interpretar el primer factor como problemas neurológicos (relacionados con el síndrome asténico y diencefálico), el tercero como alteraciones sensoriales relacionadas con el síndrome diencefálico y el cuarto como problemas asociados con el síndrome distónico y asténico (V-04 y V-05).

Las relaciones entre estos factores se comprueban mediante la matriz factorial de correlaciones entre factores que se expone en la tabla 5.60.

Tabla 5.48: Matriz de componentes rotados con todas las variables consideradas de la Ribera Baja y Algesí (1).

Componente	1	2	3	4	5
ECCEMAS	.857	.101	-5,940E-05	1,269E-02	2,876E-02
Eritema Facial	.838	.114	3,995E-03	.127	3,546E-02
PSORIASIS	.813	-1,447E-02	-1,850E-02	-2,881E-02	5,469E-02
Ganglios con problemas	.812	5,577E-02	-2,094E-02	4,211E-02	7,467E-03
Inflamaciones de la Piel	.804	5,655E-02	5,718E-02	-1,145E-02	7,336E-02
Reacciones alérgicas	.769	.134	6,488E-03	2,998E-02	5,314E-02
SOMNOLENC	.587	.121	3,721E-02	6,604E-02	.179
Pesadillas	.549	.136	1,785E-02	-3,717E-02	.494
Camb Temp y sudor	.538	.100	4,839E-02	3,835E-02	.341
ESTRÉS	.161	.747	-2,258E-02	8,606E-03	4,926E-02
ansiedad/depresión	-1,090E-02	.727	.207	1,375E-02	.170
Camb estado ánimo	.165	.686	-3,152E-03	7,262E-03	3,995E-02
Nerviosismo	3,633E-02	.665	-1,930E-02	-1,630E-02	7,617E-02
V-07	5,731E-04	.615	2,975E-02	-2,154E-02	.175
ANSIEDAD	.357	.610	6,137E-02	8,197E-02	.147
Inestab emocional	.281	.511	-1,085E-03	.101	1,398E-02
V-02	2,561E-02	.486	2,129E-02	4,746E-02	.161
Flojedad	9,042E-02	.351	.347	8,444E-02	5,274E-03
Actividad cotidiana-	3,625E-02	3,171E-02	.842	-1,342E-02	5,548E-02
Movilidad	-9,321E-03	4,062E-02	.827	-3,929E-02	8,118E-02
Prob cuidado personal	2,287E-02	-2,810E-02	.785	-1,004E-04	-5,581E-02
Dolor/malestar	-1,563E-02	.291	.570	2,246E-02	.150
CAMPO-E	5,532E-02	2,909E-02	-6,174E-03	.975	2,033E-02
POTENCIA	4,697E-02	7,587E-03	1,092E-02	.883	1,132E-02
DB	5,494E-02	5,961E-02	-3,182E-02	.775	2,169E-02
V-06	-8,689E-02	.262	9,494E-02	4,521E-02	.786
INSOMNIO	.358	.183	1,288E-02	6,461E-03	.770
Se desp. por la noche	.390	.179	8,359E-02	2,045E-02	.740
Pérdidas Auditivas	.406	4,546E-02	5,743E-02	-3,194E-03	8,117E-02
Son. intens y corta durac.	.437	.197	-6,303E-04	-8,806E-04	-2,824E-02
V-13	6,270E-02	-1,559E-02	.132	5,337E-02	.119
Son. pulsantes	.513	.136	-3,242E-02	4,448E-03	-4,019E-03
Alteración Tensión	7,696E-02	6,137E-02	-8,636E-03	1,602E-02	7,379E-02
HIPERTENS	-4,775E-03	9,124E-02	3,871E-02	1,377E-02	.158
ARRITMIA	4,063E-02	.190	.172	.123	2,378E-02
HIPOTENS	.116	4,485E-02	-3,807E-02	-6,749E-03	-9,273E-02
Análisis sangre anómalo	5,128E-02	1,120E-02	7,048E-02	-8,425E-03	-2,028E-02
V-05	6,860E-02	.150	3,422E-02	3,931E-03	8,544E-02
V-04	9,723E-02	.170	1,017E-02	1,732E-02	4,128E-03
V-09	-2,673E-03	.323	8,555E-02	4,381E-02	.228
V-10	8,476E-03	.273	.121	-2,077E-02	.171
V-01	7,686E-02	.259	.267	7,155E-02	8,038E-02
V-14	3,474E-02	.148	.141	-3,789E-02	8,201E-02
Disfunciones Oculares	.466	7,028E-02	8,073E-02	2,117E-02	2,709E-02
Ojos secos	.466	9,861E-02	9,561E-02	6,404E-02	1,966E-02
V-12	7,621E-02	.138	6,936E-02	5,045E-02	.128
Prob. estomacal	.155	.160	7,207E-02	5,296E-04	4,062E-02
Prob DIGESTIVOS	.155	.175	8,982E-03	8,792E-02	5,937E-02
TUMOR. LEUC. ...	7,648E-02	3,129E-02	2,933E-02	-3,802E-02	4,627E-02
Calor pecho/calieza	.118	7,198E-02	7,199E-02	5,995E-02	2,320E-02
V-11	.254	.171	8,881E-02	3,483E-02	-5,292E-02
Propensión a resfriados	.195	6,161E-02	-2,011E-02	1,022E-02	6,116E-02
ALERGIAS	.167	.153	8,458E-03	5,588E-02	-1,966E-02
SALUDHOY	-4,544E-02	7,686E-02	.295	3,264E-02	.197
V-03	4,791E-03	.229	3,881E-02	9,071E-02	.195
V-16	.151	.263	.178	9,049E-02	-5,427E-02
PESO	5,152E-02	6,545E-02	.131	4,639E-02	8,998E-02
DIABETES	4,556E-02	1,817E-03	1,331E-02	5,002E-02	-9,823E-02
n.tecn. mejoran niv.vida?	6,665E-03	-4,782E-02	1,715E-02	-6,729E-02	7,338E-02
Preocupa Salud?	4,251E-02	-5,082E-02	4,739E-02	-2,388E-02	6,280E-02

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. a La rotación ha convergido en 11 iteraciones.

Tabla 5.49: Matriz de componentes rotados con todas las variables consideradas de la Ribera Baixa y Algemés (2).

Componente	6	7	8	9	10
ECZEMAS	9,430E-02	-2,269E-02	5,252E-02	3,757E-02	7,058E-02
Eritema Facial	.127	3,978E-02	3,909E-02	7,932E-02	4,249E-02
PSORIASIS	8,957E-02	8,041E-02	.108	.107	9,982E-04
Ganglios problem.	6,911E-02	1,072E-02	7,955E-02	6,358E-02	1,757E-02
Inflamaciones piel	.110	2,902E-02	4,346E-02	7,832E-02	4,637E-02
Itence. Alérgica	5,889E-02	7,470E-02	-9,963E-02	2,174E-02	3,619E-02
SOMNOLENC	.102	-1,380E-02	.101	8,196E-02	.125
Peñadillas	4,862E-02	9,497E-02	4,548E-02	.144	.111
Camb.Estado/sudor	-5,120E-02	-.130	.134	.130	4,644E-02
ESTRÉS	2,965E-02	1,921E-02	.122	7,521E-02	.190
ansiedad/depresión	3,362E-02	.104	-2,151E-02	1,229E-02	-7,615E-02
Camb.estado ánimo	7,630E-02	4,946E-02	3,829E-02	.112	.230
Nerviosismo	-5,796E-03	6,799E-02	.185	-.105	.170
V-07	-7,341E-02	4,956E-02	.192	2,846E-02	-8,636E-02
ANSIEDAD	.148	3,578E-02	4,054E-02	9,487E-02	6,055E-02
Inestab.Emocional	.192	2,256E-02	-1,082E-02	.260	.138
V-02	.105	3,556E-02	.309	3,690E-03	-8,043E-02
FLOJEDAD	.207	.105	.260	2,365E-02	2,659E-02
Activ.Cotidianas	3,616E-02	-9,288E-03	5,241E-02	3,043E-02	3,272E-02
Movilidad	4,689E-02	4,434E-02	3,151E-02	6,985E-03	1,518E-02
Cuidado Personal	-2,069E-02	3,427E-02	4,841E-02	6,590E-02	1,453E-02
Dolor/Malestar	6,103E-02	9,248E-02	1,832E-02	.109	2,753E-02
CAMP-E	7,519E-03	2,958E-02	1,463E-02	2,543E-02	4,483E-02
POTENCIA	-4,429E-03	7,793E-02	-1,242E-02	-2,522E-02	4,916E-02
DB	3,038E-02	-2,709E-02	4,015E-02	9,471E-02	-1,401E-02
V-06	1,330E-02	7,810E-02	.193	-1,993E-02	2,303E-02
INSOMNIO	5,055E-02	8,485E-02	6,957E-02	.114	1,125E-02
Se despierta p noche	7,412E-02	8,096E-02	1,259E-03	4,210E-02	6,488E-02
Pérd.Auditivas	.780	6,210E-02	3,246E-02	.131	7,973E-02
Son.intens. y confor.	.675	6,620E-02	-2,401E-02	.144	.192
V-13	.667	2,854E-02	.169	.127	-2,648E-02
Son.Pulsantes	.648	5,249E-02	-4,801E-02	.126	.117
Alterac.Tensión	1,825E-02	.796	2,755E-02	5,607E-02	9,406E-02
HIPERTENS	.110	.768	1,478E-02	2,695E-02	-4,120E-02
ARRITMIA	5,786E-02	.507	.242	1,458E-02	9,266E-03
HIPO TENS	-6,344E-02	.491	.211	9,348E-02	4,097E-02
Análisis s anóvalo	-1,778E-02	.476	5,879E-02	-5,613E-04	.149
V-05	-5,873E-02	9,737E-02	.668	-4,259E-02	9,592E-02
V-04	6,715E-02	7,190E-02	.598	7,473E-02	.208
V-09	3,583E-02	-3,851E-02	.423	.176	3,016E-02
V-10	.171	.117	.407	.208	1,185E-02
V-01	.248	7,675E-02	.392	-1,777E-02	-.131
V-14	7,332E-02	.134	.392	.145	.142
Disf.Oculares	.133	-4,125E-04	-1,523E-02	.728	5,131E-02
Ojos secos	.124	-2,991E-02	-3,925E-02	.670	6,457E-02
V-12	.181	.173	.186	.670	5,592E-03
Dolor estómago	.102	6,863E-02	.135	2,350E-02	.823
Prob.Digestión	7,855E-02	5,424E-02	.112	5,651E-02	.818
TUMORES LEUCEM....	7,812E-02	7,163E-02	4,210E-02	-4,428E-04	6,186E-02
Calor pecho/cabeza	5,648E-02	.105	6,186E-02	1,242E-02	4,573E-02
V-11	2,806E-02	1,837E-02	9,016E-02	8,033E-02	8,530E-02
Propensión a resfriados	2,443E-02	3,858E-02	9,119E-02	6,101E-02	6,841E-02
ALERGIAS	8,107E-03	.154	-9,091E-02	-5,657E-02	2,310E-02
SALUDHOY	6,576E-02	-4,136E-03	4,468E-04	7,412E-02	9,521E-02
V-03	3,501E-02	4,426E-02	.179	-1,713E-03	8,718E-02
V-16	.171	.221	.226	-5,001E-03	.121
Peso	.107	4,647E-02	-2,052E-02	-4,516E-02	.121
DIABETES	-3,935E-02	2,804E-03	.169	.120	-7,296E-02
Nv.Tecn.mejoran c.vida?	2,207E-03	-3,232E-02	7,610E-02	.121	9,422E-03
Le preocupa su salud?	-2,240E-02	-8,483E-03	1,896E-02	1,735E-02	-1,610E-02

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 11 iteraciones.



Tabla 5.50: Matriz de componentes rotados con todas las variables consideradas de la Ribera Baixa y Algemés (3).

Componente	11	12	13	14	15
ECCEMAS	3,184E-02	,132	-4,209E-03	-3,010E-02	-3,975E-02
Eritema Facial	6,970E-02	7,081E-02	-1,387E-02	-9,454E-02	2,585E-03
PSORIASIS	2,034E-02	-2,405E-02	9,483E-03	-3,496E-02	2,762E-02
Ganglios Probl.	3,942E-02	2,396E-02	1,104E-02	-3,338E-02	2,088E-02
Inflamación piel	2,816E-02	,249	4,152E-02	-2,716E-03	-8,176E-03
Reacciones Alérgicas	3,439E-02	,294	,179	4,822E-02	-2,958E-02
SOMNOLENC	5,705E-02	-,249	9,584E-02	,157	,142
Pesadillas	-4,105E-02	-,214	5,848E-02	6,230E-02	,155
Camb. Temp/sudor	4,644E-02	-,212	,114	,187	8,768E-02
ESTRÉS	5,842E-02	-6,464E-02	,103	9,471E-02	1,991E-02
ansiedad/depresión	-5,857E-02	,124	-5,193E-02	-1,663E-02	-1,887E-02
Camb.estad.o ánimo	8,388E-02	-2,650E-03	8,992E-02	4,494E-02	2,010E-02
Nerviosismo	9,831E-03	,133	4,090E-02	2,711E-02	8,379E-03
V-07	-6,355E-02	,167	-3,022E-02	6,478E-02	1,077E-02
ANSIEDAD	3,567E-02	-,122	9,135E-02	4,126E-02	1,835E-02
Inestab.Emocional	9,303E-02	-,101	1,317E-02	-9,922E-02	,131
V-02	8,431E-02	,173	5,958E-02	,238	-2,135E-02
WEAKNESS	,131	-,148	,250	,251	-8,612E-03
Activ. Diarias	-2,080E-05	3,702E-02	2,117E-02	-2,914E-02	,117
Movilidad	5,484E-02	2,821E-02	-4,551E-02	-1,988E-02	,126
Cuidado Personal	1,539E-02	-3,476E-02	3,973E-02	-6,090E-02	-6,763E-02
Dolor/malestar	3,646E-02	,222	2,617E-03	,290	-5,134E-02
CAMP-E	2,706E-03	2,927E-02	1,766E-02	2,863E-02	4,148E-02
POTENCIA	3,998E-05	6,178E-02	-5,363E-02	-5,335E-02	-1,790E-02
DB	5,906E-03	-5,657E-02	9,953E-02	,100	7,653E-02
V-06	6,696E-02	,124	3,226E-02	3,782E-02	-4,195E-02
INSOMNIO	2,704E-02	-5,312E-02	7,269E-02	1,246E-03	-6,483E-02
Se despierta p. noche	2,956E-02	-6,829E-02	-6,648E-03	8,397E-02	4,220E-02
Pérd. Auditivas	5,914E-02	-8,865E-03	2,848E-02	1,640E-02	-1,327E-02
Son.intens. y cortos	1,927E-02	-7,164E-02	-3,675E-02	2,220E-02	8,653E-02
V-13	9,732E-02	,290	,118	-5,801E-02	2,032E-02
Son. Pulsantes	4,793E-02	-,157	-3,267E-02	6,539E-02	4,059E-02
Alterac. Tensión	7,466E-02	4,688E-02	1,926E-02	,200	8,629E-02
HIPERTENS	1,789E-02	7,414E-02	-4,877E-02	-9,705E-02	,111
ARRITMIA	3,864E-02	-2,281E-02	,124	-3,266E-02	-,182
HIPOTENS	1,579E-02	8,828E-03	6,020E-02	,378	2,597E-02
Análisis s. anómalo	,197	-8,262E-02	,221	-,215	-,168
V-05	,114	-,114	4,687E-02	1,614E-02	2,504E-02
V-04	-7,629E-02	,110	-7,077E-02	,150	,182
V-09	2,933E-02	,160	,192	-5,854E-02	3,739E-03
V-10	5,846E-02	,207	9,929E-02	-,164	-2,298E-03
V-01	9,745E-02	5,134E-02	,248	,230	-4,727E-02
V-14	1,738E-02	,312	-,114	,187	,126
Disf. Oculares	1,128E-02	-4,938E-02	1,921E-02	1,333E-02	4,961E-02
Ojos secos	4,345E-02	-2,399E-02	2,187E-02	8,503E-02	2,507E-02
V-12	-3,754E-02	,183	4,553E-02	-2,813E-02	3,971E-02
Dolor estómago	3,813E-02	2,895E-02	5,849E-02	8,324E-03	-6,589E-03
Prob. Digestivos	8,116E-02	6,013E-02	6,335E-02	4,834E-02	4,099E-02
TUMORES,LEUCEM,...	,903	-4,920E-03	1,673E-02	-3,352E-02	1,550E-02
Calor pecho/cabeza	,865	6,142E-02	,106	3,181E-02	,129
V-11	3,102E-02	,742	5,588E-02	7,250E-02	3,572E-02
Propensión a resfriados	5,556E-02	-4,574E-02	,740	-4,206E-03	,121
ALERGIA	9,860E-02	,416	,581	9,006E-02	8,643E-02
SALUDHOY	-4,551E-03	-2,599E-03	,295	,108	-,172
V-03	-2,398E-02	7,802E-02	9,251E-02	,659	-4,412E-02
V-16	3,628E-03	-1,328E-02	,171	-,339	,156
Peso	4,463E-02	5,344E-02	,164	-9,136E-02	,684
DIABETES	8,604E-02	-6,750E-03	-1,582E-02	3,113E-02	,678
Nv. Tecn. mejoran c. vida?	2,685E-02	-2,236E-02	7,393E-02	3,250E-02	2,105E-02
Le preocupa su salud?	1,585E-02	-1,947E-02	6,251E-02	-9,299E-02	-,105

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 11 iteraciones.

Tabla 5.51: Matriz de componentes rotados con todas las variables consideradas de la Ribera Baixa y Alghemesí (4).

Componente	16	17
ECCEMAS	3,587E-02	1,215E-02
Eritema Facial	-3,221E-02	-5,366E-03
PSORIASIS	-2,604E-02	4,377E-02
Ganglios Problem.	-1,640E-02	1,703E-02
Inflamación piel	5,532E-02	6,735E-02
Reacciones Alérgicas	-9,330E-02	3,369E-02
SOMNOLENC	,130	-,199
Peandillas	3,421E-02	-7,271E-02
Camb. Temp./sudor	-3,431E-03	-9,102E-02
ESTRÉS	8,731E-02	4,173E-03
ansiedad/depresión	-7,176E-02	8,834E-03
Camb. estado ánimo	1,625E-02	-,122
Nerviosismo	,120	,168
V-07	-7,404E-02	-4,791E-02
ANSIEDAD	3,710E-02	5,910E-02
Inestab.Emocional	1,099E-03	-,116
V-02	,211	-,122
FLOJEDAD	-8,398E-02	8,935E-02
Activ.Diarias	9,155E-02	3,953E-02
Movilidad	7,597E-02	5,228E-02
Cuidado Personal	-8,813E-02	-6,726E-02
Dolor/malestar	-8,670E-02	3,203E-02
CAMP-E	1,297E-02	-2,358E-02
POWER	-7,195E-02	-3,719E-02
DB	,159	2,727E-02
V-06	-5,979E-03	4,560E-02
INSOMNIO	-1,539E-02	3,773E-02
Se despierta p noche	-4,179E-02	4,487E-02
Férd.Auditivas	-3,162E-02	3,265E-03
Son.intens y cortos	-1,880E-02	6,413E-02
V-13	,104	-,184
Son. Pulsantes	-1,049E-02	,109
Alterac.Tensión	,117	,101
HIPERTENS	-2,193E-02	9,471E-03
ARRITMIA	-,179	-,140
HIPOTENS	,328	,122
Análisis s anómalo	-4,533E-02	-,233
V-05	-7,105E-02	5,545E-02
V-04	-8,063E-02	-1,226E-02
V-09	,346	-,182
V-10	,272	-8,433E-02
V-01	-5,352E-03	-6,841E-02
V-14	2,119E-02	,234
Disf. Oculares	-2,378E-02	3,536E-02
Ojos secos	-8,146E-02	2,914E-02
V-12	-3,807E-02	-1,410E-02
Dolor estómago	-1,519E-02	1,311E-02
Prob.digestivos	3,588E-02	-3,171E-02
TUMORES.LEUCEM....	3,644E-02	1,669E-02
Calor pecho/caheza	-6,141E-02	-7,350E-03
V-11	8,797E-02	-2,530E-02
Propension a resfriados	1,264E-03	4,846E-02
ALERGIAS	-,119	-4,250E-02
SALUDHOY	,287	8,057E-02
V-03	-3,773E-02	-,119
V-16	1,382E-02	5,905E-02
Pezo	-2,107E-02	-2,013E-02
DIABETES	-2,934E-02	-7,788E-02
Nv.Tecn.mejoran c.vida?	-,736	6,529E-03
Le preocupa su salud?	-1,128E-03	,845

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 11 iteraciones.

Tabla 5.52: Test de esfericidad de Barlett para comprobar la viabilidad de un análisis factorial con las variables consideradas en la encuesta Santini de la Ribera Baixa y Algemesí.

Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	3916,686
	gl	136
	Sig.	,000

Tabla 5.53: Tabla de porcentaje de varianza explicada por la encuesta de Santini en la Ribera Baixa y Algemesí.

FACTOR	Total	% Varianza Explicada	% Varianza Acumulada	Variables	Comunalidades
1	4,075	23,972	23,972	V-06, V-07, V-09, V-02, V-03, V-01	0'446, 0'451, 0'521, 0'453, 0'343, 0'403
2	2,318	13,635	37,607	CAMP-E, POTENCIA, DB	0'966, 0'773, 0'638
3	1,228	7,223	44,829	V-13, V-12, V-11, V-10	0'584, 0'450, 0'321, 0'479
4	1,033	6,078	50,907	V-04, V-05, V-14, V-16	0'557, 0'488, 0'435, 0'345

Método de extracción: Análisis de Componentes Principales

Tabla 5.54: Matriz de componentes rotados<sup>a</sup> con las variables consideradas en la encuesta Santini de la Ribera Baixa y Algemésí.

Componente	1	2	3	4
V-06	,662	1,957E-02	5,075E-02	6,972E-02
V-07	,649	-3,564E-02	1,783E-02	,168
V-09	,618	3,482E-02	,367	5,917E-02
V-02	,607	5,021E-02	,230	,171
V-03	,524	,123	-7,938E-02	,216
V-01	,512	5,383E-02	,352	,121
CAMP-EM	5,393E-02	,980	5,039E-02	2,067E-02
POTENCIA	-1,004E-02	,879	2,328E-02	1,615E-02
DB	9,619E-02	,789	7,508E-02	1,762E-02
V-13	6,775E-02	4,465E-02	,760	-1,959E-02
V-12	6,409E-02	4,960E-02	,616	,254
V-11	,182	4,324E-02	,518	,131
V-10	,475	-3,751E-02	,496	8,105E-02
V-04	,220	3,006E-02	,114	,704
V-05	,263	-5,391E-03	-4,286E-02	,646
V-14	,177	-4,348E-02	,283	,567
V-16	-2,751E-02	9,578E-02	,361	,453

Método de extracción: Análisis de componentes principales<sup>a</sup>. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 7 iteraciones.

Tabla 5.55: Matriz de transformación de las componentes con las variables del cuestionario de Santini.

Componente	1	2	3	4
1	,687	,218	,531	,445
2	-,174	,974	-,070	-,126
3	-,581	-,051	,811	-,045
4	-,399	,026	-,236	,886

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

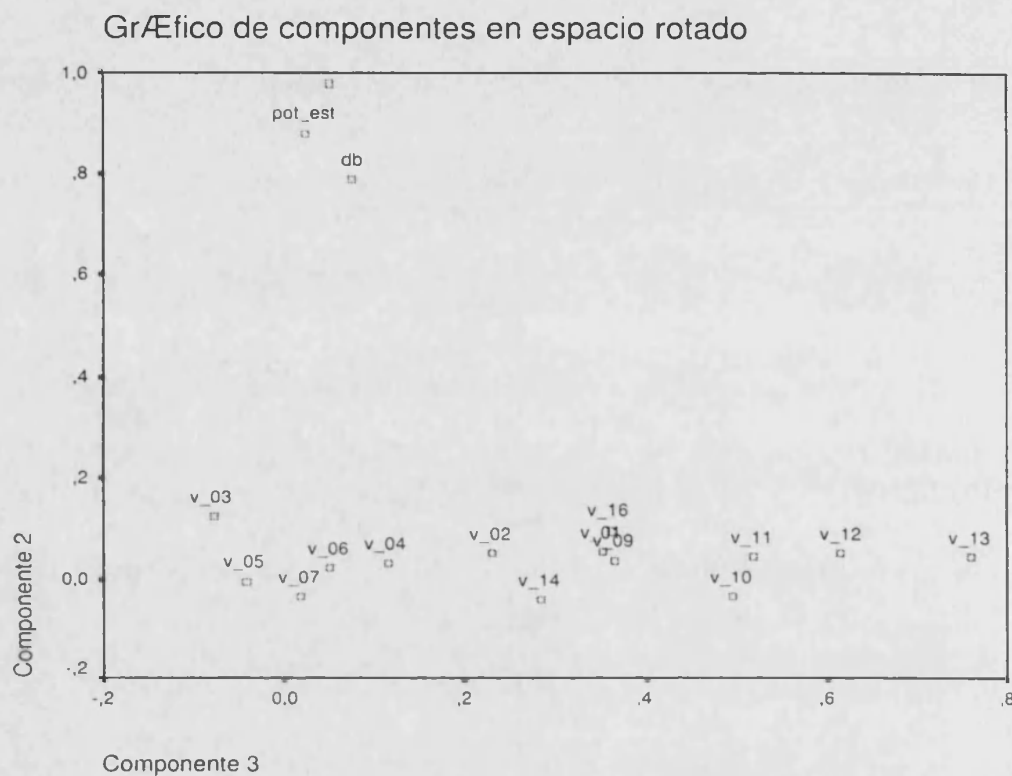


Figura 5.1: Representación en un espacio 2D de las componentes de los factores 2 y 3 en el espacio rotado.

En la figura 5.1 podemos observar la representación en un espacio 2D de las proyecciones de las componentes de los factores rotados 2 y 3.

### Análisis del cuestionario ampliación

En el análisis de la ampliación de la encuesta de Santini, obtenida a partir de la bibliografía [86],[85],[88] y su contraste con el cuestionario CMI[94], observamos que el resultado ha mejorado en el sentido de la interpretación de los resultados.

En este caso el determinante de la matriz de correlaciones es  $2.650 \cdot 10^{-9}$  y el valor del índice KMO ( $KMO = 0.863$ ) no se ha modificado significativamente

Tabla 5.56: Test de esfericidad de Barlett para comprobar la viabilidad de un análisis factorial con las variables consideradas del cuestionario ampliación de Santini. Datos de la Ribera Baixa y Algemesí.

Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	14229,046
	gl	703
	Sig.	,000

considerando la sensible reducción de variables (y de grados de libertad), por lo que hemos decidido tener en cuenta esta opción. Observamos que estos valores del KMO, considerados como buenos para la aplicación del análisis factorial. En la tabla 5.56 vemos los resultados obtenidos para la comprobación de la viabilidad de la prueba.

Aquí hemos obtenido 10 factores, que explican el 65'32% de la varianza total.

Tabla 5.57: Tabla de porcentaje de varianza explicada con las variables consideradas del cuestionario ampliación de Santini. Datos de la Ribera Baixa y Algemésí.

FACTOR	Total	% Varianza Explicada	% Varianza Acumulada	Variabes	Comunalidades
1	9,694	25,510	25,510	ECCEMAS.Eritema Facial. Ganglios problem.. Reacciones Alérgicas. Inflamac. piel. PSORIASIS	0'780, 0'785, 0'685, 0'753, 0'715,0'693
2	2,985	7,855	33,364	ESTRÉS.Camb.estado ánimo. Nerviosismo.ANSIEDAD. Inestab.Emocional. FLOJEDAD	0'731, 0'637, 0'616, 0'561, 0'458, 0'396
3	2,337	6,150	39,514	Son.Pulsantes, Son.intens. y cortos. Pérd.Auditivas. Dif.Oculares, Ojos Secos	0'803, 0'772, 0'744, 0'586, 0'561
4	1,932	5,085	44,599	Se despierta p noche. INSOMNIO, Pesadillas. Camb.Temp/sudor. SOMNOLENC	0'712, 0'724,0'645, 0'579, 0'528
5	1,640	4,315	48,914	CAMP-E.POTENCIA.DB	0'967, 0'791, 0'639
6	1,456	3,833	52,747	Alternc.Tensión, HIPERTENS. HIPOTENS. ARRITMIA. Análisis s anómalo	0'710,0'606, 0'424, 0'401 0'330
7	1,347	3,546	56,292	TUMOR.LEUC..... Calor pecho/cabeza	0'841, 0'831
8	1,209	3,182	59,474	Dolor estómago. Prob.Digestivos	0'786, 0'786
9	1,168	3,073	62,547	ALERGIAS. Propensión n resfridos	0'677, 0'540
10	1,052	2,769	65,315	DIABETES. Peso	0'590, 0'436

Método de Extracción: Análisis de Componentes Principales.

De esta manera hemos conseguido que 10 factores resuman la acción de 39 variables, que describimos a continuación:

- En el primer factor se engloban las variables que contemplan los síntomas asociados a las afecciones cutáneas (eccemas, eritema facial, reacciones alérgicas, inflamaciones de la piel, psoriasis) y ganglios con problemas.
- El segundo factor contempla las variables relacionadas con afecciones neurovegetativas (estrés, cambios bruscos de estados de ánimo, nerviosismo, ansiedad, inestabilidad emocional) y flojedad.
- En el tercer factor se asocian las variables relacionadas con problemas auditivos y oculares (sonidos pulsantes, sonidos intensos de corta duración, pérdidas auditivas, disfunciones oculares, ojos secos).
- El cuarto factor contempla variables asociadas a alteraciones del sueño (se despierta por las noches, insomnio, pesadillas, cambios de temperatura y sudoración durante el sueño, somnolencia).
- En el quinto factor engloba variables asociadas a las mediciones realizadas (campo eléctrico, densidad de potencia, unidades logarítmicas en dB).
- El sexto factor se asocia a variables relacionadas con problemas cardiovasculares (alteraciones de tensión arterial, hipertensión, disminución de la tensión arterial, arritmia, problemas en algún análisis de sangre durante los dos últimos años).
- El séptimo factor contempla las variables asociadas con tumoraciones, leucemia, ... y calor en el pecho y/o cabeza.
- En el octavo factor se pesan problemas gástricos (dolor de estómago y digestiones pesadas).



Tabla 5.58: Matriz de componentes rotados<sup>a</sup> con las variables consideradas del cuestionario ampliación de Santini (1). Datos de la Ribera Baixa y Algemesí.

Componente	1	2	3	4	5
ECCEMAS	,834	,142	,157	,170	1,402E-02
Eritema Facial	,819	,120	,199	,169	,128
Ganglios problem.	,789	8,361E-02	,154	,151	4,081E-02
Reacc.Alérgicas	,788	,123	,110	,116	2,717E-02
Inflamac. Piel	,785	9,014E-02	,190	,191	-9,560E-03
PSORIASI	,766	1,225E-03	,192	,228	-2,942E-02
ESTRES	,106	,823	5,789E-02	,132	1,006E-02
Camb.brusc.ánimo	,127	,753	,117	8,463E-02	1,740E-02
Nerviosismo	2,147E-02	,746	-8,883E-02	5,888E-02	-2,653E-02
ANSIEDAD	,253	,586	,204	,302	8,447E-02
Inestab.emocional	,233	,523	,216	,127	,114
FLOJEDAD	-5,316E-02	,400	,292	,136	7,131E-02
S.Pulsantes	,372	9,697E-02	,784	,144	1,204E-02
S.intens.corta durac.	,328	,188	,769	7,386E-02	4,406E-03
Pérdidas Auditivas	,300	5,074E-02	,767	,165	2,510E-03
Disfunc. oculares	,438	,128	,465	,195	2,957E-02
Ojos secos	,436	,162	,463	,167	7,315E-02
Despierta noche	,227	,185	,101	,776	1,716E-02
INSOMNIO	,223	,206	6,481E-02	,773	5,496E-03
PESADILL	,375	,129	,127	,659	-1,633E-02
Camb.temp.y sudorac.	,361	9,478E-02	,227	,593	5,946E-02
SOMNOLEN	,127	,132	,174	,452	9,242E-02
CAMP-E	4,841E-02	3,723E-02	7,809E-03	2,138E-02	,979
POTENCIA	4,744E-02	1,405E-03	-1,664E-02	-6,158E-04	,882
DB	3,831E-02	7,903E-02	5,683E-02	4,419E-02	,780
Alterac.tensión	8,749E-02	4,606E-02	1,665E-02	5,990E-02	1,724E-02
HIPERTEN	-2,694E-02	1,573E-02	6,513E-02	,146	9,587E-03
Dismin.tensión arterial	,151	,164	-3,590E-02	-9,362E-02	1,838E-03
ARRITMIA	-3,003E-02	,207	,105	7,553E-02	,111
ANALISIS	6,490E-03	-5,893E-02	3,942E-02	3,789E-02	-9,138E-04
TUMORACI	6,998E-02	7,158E-02	5,107E-02	3,723E-02	-5,289E-02
CALORPC	,110	9,923E-02	5,909E-02	1,966E-02	5,759E-02
ESTOMAGO	,122	,216	,136	5,850E-02	-4,363E-03
DIGESTIO	,123	,248	,101	8,575E-02	8,677E-02
ALERGIAS	,217	,153	-3,359E-02	-7,425E-02	5,618E-02
RESFRIAD	2,923E-02	7,213E-02	7,523E-02	,164	1,432E-02
DIABETES	4,050E-02	2,977E-02	4,726E-03	-7,369E-02	4,130E-02
PESO	9,934E-03	2,122E-02	2,187E-02	,124	3,293E-02

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 7 iteraciones. Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Tabla 5.59: Matriz de componentes rotados<sup>a</sup> con las variables consideradas del cuestionario ampliación de Santini (2). Datos de la Ribera Baixa y Algemesí.

Componente	6	7	8	9	10
ECCEMAS	-7,727E-03	4,253E-02	8,336E-02	1,061E-02	-3,245E-02
Eritema Facial	4,155E-02	8,830E-02	6,918E-02	4,436E-03	1,345E-02
Ganglios problem.	1,353E-02	5,143E-02	4,323E-02	3,051E-02	4,059E-02
Reacc.Alérgicas	7,219E-02	1,611E-02	3,632E-02	,289	-3,260E-02
Inflamac. Piel	6,395E-02	3,122E-02	5,983E-02	9,704E-02	-6,567E-03
PSORIASI	8,948E-02	3,608E-02	4,555E-02	-1,692E-02	7,263E-02
ESTRES	6,376E-02	2,938E-02	,115	4,792E-02	2,666E-02
Camb.brusc.ánimo	7,817E-02	4,941E-02	,138	4,796E-02	-4,592E-02
Nerviosismo	,124	-1,372E-02	,103	,111	-9,320E-02
ANSIEDAD	5,353E-02	5,417E-02	5,625E-02	6,464E-02	1,131E-03
Inestab.emocional	1,067E-02	7,910E-02	7,778E-02	-5,584E-02	,198
FLOJEDAD	,187	,123	5,961E-02	,247	9,951E-02
S.Pulsantes	3,996E-02	5,750E-02	,118	2,011E-02	-2,215E-02
S.intens.corta durac.	5,848E-02	3,338E-02	,163	2,623E-02	1,066E-02
Pérd. Auditivas	7,712E-02	9,262E-02	9,155E-02	9,192E-02	-6,532E-02
Disfunc.oculares	3,001E-02	-5,803E-02	-7,034E-02	-9,379E-02	,325
Ojos secos	6,004E-03	-3,728E-02	-7,623E-02	-4,926E-02	,296
Despierta noche	,113	9,605E-03	5,365E-03	2,658E-02	-2,111E-02
INSOMNIO	,123	2,769E-02	-4,363E-02	7,278E-02	-8,501E-02
PESADILL	8,221E-02	-7,488E-03	,123	8,926E-03	,121
Camb.temp.y sudorac.	-7,984E-02	4,822E-02	,110	8,440E-02	7,459E-02
SOMNOLEN	-1,669E-03	6,623E-02	,214	9,140E-03	,187
CAMP-E	4,029E-02	3,474E-03	4,154E-02	2,932E-02	3,229E-02
POTENCIA	6,926E-02	2,372E-02	3,470E-02	-1,676E-03	-5,904E-02
DB	1,878E-03	-2,377E-02	7,726E-04	5,033E-02	,121
Alterac.tensión	,822	4,260E-02	,115	-1,170E-02	6,820E-02
HIPERTEN	,758	5,788E-02	-3,413E-02	-2,701E-02	2,737E-02
Dismin.tensión arterial	,587	-7,248E-02	3,821E-02	6,307E-03	,111
ARRITMIA	,525	8,405E-02	-4,194E-02	,189	-9,371E-02
ANALISIS	,422	,248	,191	,203	-8,141E-02
TUMORACI	7,922E-02	,902	4,159E-02	-2,721E-03	4,053E-02
CALORPC	,108	,867	3,526E-02	,143	,131
ESTOMAGO	9,450E-02	3,202E-02	,830	5,405E-02	2,934E-02
DIGESTIO	8,597E-02	6,046E-02	,816	3,336E-02	8,270E-02
ALERGIAS	,135	6,221E-02	-9,540E-03	,757	2,577E-02
RESFRIAD	3,425E-02	6,106E-02	7,712E-02	,686	,140
DIABETES	4,018E-02	4,665E-02	-5,623E-02	1,587E-02	,757
PESO	2,922E-02	,100	,188	,173	,585

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 7 iteraciones. Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Tabla 5.60: Matriz de transformación de las componentes con las variables consideradas del cuestionario ampliación de Santini. Datos de la Ribera Baixa y Algemesí.

Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	,660	,362	,402	,396	,103	,165	,119	,183	,126	,113
2	-,474	,512	-,163	-,060	,269	,489	,234	,244	,231	,061
3	,092	-,201	-,023	-,075	,948	-,136	-,116	-,083	-,032	,080
4	,187	-,595	,031	-,181	-,032	,559	,463	-,120	,168	,078
5	-,062	,051	,347	-,472	-,019	-,491	,480	,301	,064	,289
6	,125	,050	-,602	,346	,002	-,371	,453	-,203	,334	,062
7	-,478	-,187	,361	,616	,045	-,038	,242	-,142	-,286	,250
8	-,004	,343	,223	-,246	-,024	,039	-,013	-,843	,118	,210
9	,034	-,099	-,215	,014	-,120	,075	-,370	,144	,113	,867
10	-,218	-,210	,317	,133	-,011	-,123	-,267	,035	,823	-,157

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

- El noveno factor se asocia a las variables alérgias y propensión a resfriados.
- En el décimo factor contempla las variables diabetes y problemas de peso.

Las relaciones entre los distintos factores se comprobaron mediante la matriz factorial de correlaciones entre factores que se expone en la tabla 5.60.

Con el fin de visualizar con mayor claridad las agrupaciones de variables, hemos representado varios gráficos en los que observamos algunas de las agrupaciones de variables. En las siguientes figuras podemos observar la representación en un espacio 2D de las proyecciones de las componentes de algunos de los factores rotados (figuras 5.2, 5.3). También podríamos representarlo en un espacio tridimensional, pero hemos optado por la opción bidimensional, ya que el resultado no es tan efectivo a la hora de reconocer de un vistazo cada uno de los factores.

### Interpretación vectorial [102]

Para entender de una manera geométrica el análisis factorial, consideramos cada variable como un vector. Para ello hemos de tener en cuenta que una variable es

Gráfico de componentes en espacio rotado

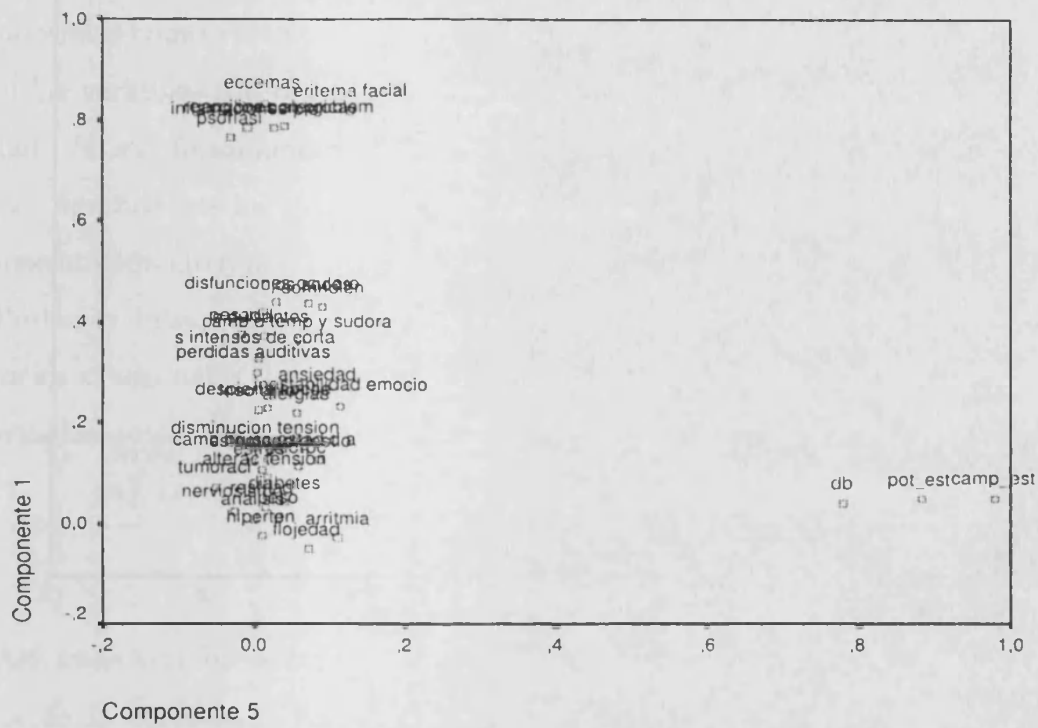


Figura 5.2: Representación en un espacio 2D de las componentes de los factores 1 y 5 en el espacio rotado.

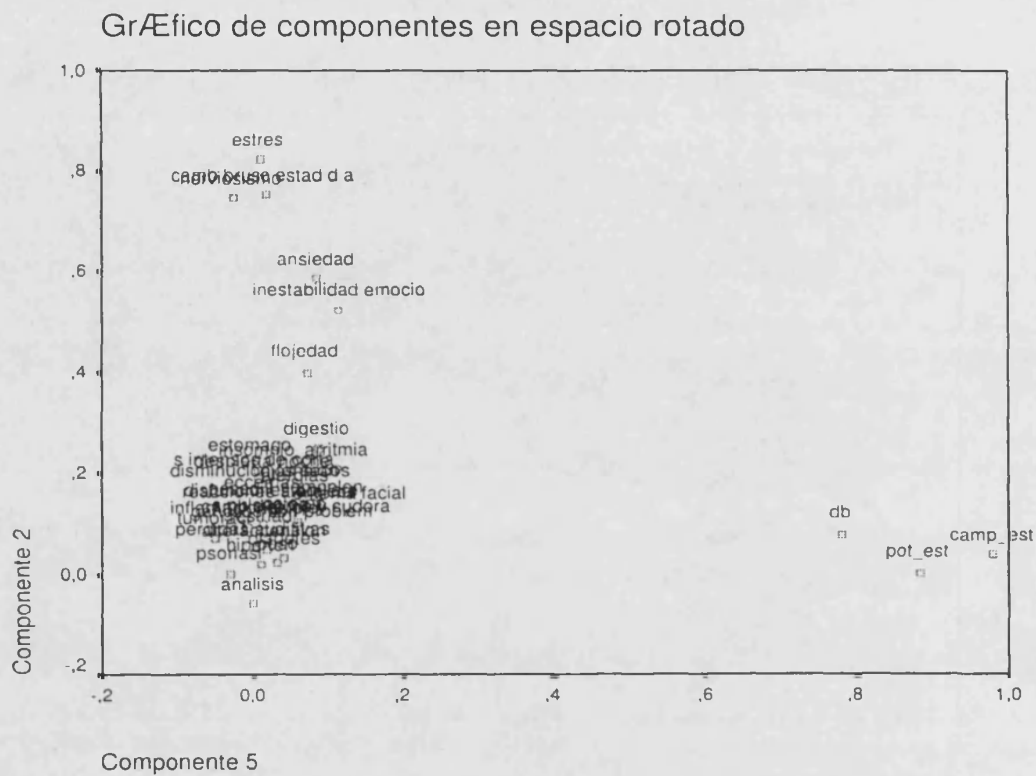


Figura 5.3: Representación en un espacio 2D de las componentes de los factores 2 y 5 en el espacio rotado.

tanto más “variable” cuanto más dispersa esté respecto a su media. La medida de esta dispersión es la desviación típica ( $\sigma(x)$ ).

Podemos considerar la norma o longitud de este vector como la desviación típica de la variable (i.e.,  $\|x\| = \sigma(x)$ ). La fase o ángulo, se determina relativamente a partir del ángulo que forman dos vectores ( $-1 \leq \cos\varphi \leq +1$ ), en el caso de dos variables este papel lo juega el coeficiente de correlación, de manera que  $r = \cos\varphi$  (la correlación da una idea de la separación direccional de dos variables consideradas como vectores).

Si las variables son reducidas, vendrán representadas por vectores de módulo unidad. Si son linealmente independientes, ocuparán un espacio n-dimensional. lo cual significa que los extremos se encuentran sobre una esfera de radio unidad (representación circular).

Podemos interpretar los factores (agrupaciones de variables) como vectores unitarios ortogonales (i.e. ortonormales). El análisis factorial pretende expresar  $n$  variables, restadas sus unicidades, en función de  $m$  factores comunes ( $F_j$ , donde  $j = 1, \dots, m$ ), i.e.

$$x'_i = x_i - d_i U_i = a_{i1} F_1 + \dots + a_{im} F_m$$

Así, cada variable se representa por un vector, de modulo igual a la desviación típica de la variable, y con su origen en el origen de coordenadas. El coseno del ángulo formado por dos vectores es el coeficiente de correlación de las dos variables, por lo que la incorrelación ( $r = 0$ ) significará la ortogonalidad de los vectores.

## 5.7 Conclusiones

Para concluir se ha evaluado la respuesta subjetiva de los residentes en las cercanías de las estaciones base mediante cuestionarios adaptados para este estudio.

Entre los síntomas por los que se les pregunta se han considerado aquellos relacionados con el síndrome de microondas, el cual a su vez está relacionado con trastornos asténicos, diencefálicos y trastornos de los sentidos.

La evaluación de la exposición se ha hecho mediante la medida en las viviendas, adjuntando la medida en la encuesta para su tratamiento estadístico.

Se ha llevado un análisis estadístico exhaustivo de las encuestas y las medidas. Se han comparado los resultados en seis poblaciones: La Ñora (Murcia)[3], Carcaixent, Favara, Corbera, Succa y Algemesí. Existen diferencias en los resultados que pueden deberse a la poca cantidad de encuestas en cada caso. Llama la atención la diferencia de resultados entre la población de La Ñora y las restantes, en el caso de La Ñora las encuestas alcanzaban a casi un 5% de la población, y esto no ha sido posible en las poblaciones de la Ribera, ya que la densidad de población es mucho mayor. Otra posible justificación a estas diferencias sería una posible sinergia con otro tipo de contaminantes químicos, presentes en el aire, agua, suelo. Es obvio que el grado de contaminación química del entorno del Segura es mucho mayor al existente en la Ribera del Júcar.

Al juntar todas las encuestas de la Ribera y hacer un estudio global se aumenta la significación de los resultados, aunque no hay una variación substancial de los coeficientes de correlación de Pearson. Existe correlación significativa entre diversos síntomas asociados a alteraciones del sueño, neurovegetativos y otros síntomas con los niveles medidos. Se han ensayado tres modelos: lineal, cuadrático y logarítmico, y el modelo de regresión que presenta mayor correlación es logarítmico.

Para valorar los resultados debemos colocarlos dentro de un contexto apropiado, para comparar con resultados previos, en estudios similares, y estudios de otros investigadores. Estos trabajos presentan cierto paralelismo con trabajos previos sobre contaminación acústica. Existen estudios que han analizado la influencia del ruido sobre la salud y han seguido un esquema idéntico al nuestro,

haciendo medidas puntuales espacio-temporales de ruido ambiental. El ruido es captado por los sentidos, y el nivel de potencia RF no, es la única diferencia. Esto hace menos subjetiva la respuesta a nuestras encuestas en comparación con las encuestas dedicadas a valorar la molestia por ruido ambiental. Trabajos previos encuentran valores máximos de correlación en torno a 0.3-0.4 [101], pero también cercanos a 0.1 [100]. Nuestros resultados son similares.

Los estadísticos descriptivos, aunque presentando una gran desviación típica, muestran un gradiente sintomatológico en la dirección en la que aumenta la densidad de potencia RF. Estos son consistentes con los coeficientes de correlación, su grado de significación y ponen en evidencia la consistencia del síndrome de microondas como un conjunto de síntomas que pueden presentarse en exposición a radiación electromagnética de microondas de baja intensidad. Demuestran efectos sobre las personas, a nivel neurológico y hormonal, distintos al calentamiento (efecto térmico).

Siguiendo con las comparaciones, nuestro resultados presentan ciertas similitudes con los resultados de Altpeter, [12]. Este estudio delimitó tres zonas con tres niveles de exposición alrededor de una emisora de onda corta 3-30 MHz. Encontró en los grupos más expuestos un aumento significativo ( $P < 0.002$  y  $P = 0.034$ ) de: nerviosismo, fatiga, insomnio y somnolencia, dolores en las articulaciones, problemas psicovegetativos, dificultad en la concentración, debilidad general y cansancio. El estudio de Altpeter mostró alteraciones de la tensión pero no significativas. En nuestro estudio obtenemos, además, resultados significativos que relacionan a los más expuestos con problemas de hipotensión, claramente enumerada dentro de la sintomatología del síndrome de microondas.

Las alteraciones del sueño están relacionadas con alteraciones de los niveles de melatonina nocturna que conducen a una situación de debilidad general, pérdida



de agilidad mental, y fatiga crónica [63]. Las alteraciones del sueño están presentes de forma significativa en 4 de las seis poblaciones analizadas ( $P < 0.05$ ). Cabe recordar la actividad antioxidante de la melatonina, y lo que sucede cuando su concentración no alcanza los valores normales: disminuye su actividad antioxidante-reparadora sobre el organismo y, se sustituye por otras hormonas, con las consecuencias enumeradas en el capítulo 2.

Estos efectos se observan a niveles de densidad de potencia muy bajos, del orden de 0.05 microwatios por centímetro cuadrado, medidos en banda ancha. Es decir, a niveles que están 9000 veces por debajo del Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, para una sola portadora a 900MHz.

Además se ha estudiado la distribución de variables de la encuesta utilizada y realizada en diversas ciudades (4 ciudades en la comarca de la Ribera). Para realizar este análisis hemos utilizado 735 cuestionarios válidos (la población total de estas cuatro ciudades es de 54740 habitantes).

El estudio se dividió en tres partes: análisis factorial del conjunto total de variables relacionadas con la salud y la exposición (60 variables), análisis factorial del cuestionario de Santini (17 variables) y el análisis factorial de la encuesta sintomatológica extendida (39 variables).

A partir de las pruebas realizadas podemos decir que los resultados de ellas han sido buenos para cada una de las partes de este estudio factorial, lo cual verifica la viabilidad del análisis factorial en cada uno de los casos.

Con el conjunto completo de variables se ha obtenido un índice KMO de 0'865 y 17 factores que explican el 65'80% de la varianza total, pero existen dificultades para explicar claramente algunos de los factores obtenidos, estas dificultades son debidas posiblemente al cuestionario de Santini por la reducida cantidad de variables que presenta.

Las variables del cuestionario del Prof. R. Santini han dado un índice KMO

de 0'708 y 4 factores que explican el 50'91% de la varianza total. La separación en factores de este cuestionario presenta dificultades por su reducida cantidad de variables, pese a todo se ha interpretado los síntomas agrupados en el primer factor como problemas neurológicos (relacionados con el síndrome asténico y diencefálico), el segundo factor tiene una relación directa con las medidas de radiación electromagnética, el tercer factor se relaciona con alteraciones sensoriales y con algunos síntomas asociados al síndrome diencefálico y el cuarto está relacionado con el síndrome distónico y asténico (V-04 y V-05).

En el cuestionario extendido se ha obtenido un índice KMO de 0'863 y 10 factores que explican el 65'32% de la varianza total. Esta última factorización ha resultado más fácil de explicar que la anterior, aunque también evidencia la necesidad de una revisión profunda de toda la encuesta. La aplicación directa del análisis factorial sobre el conjunto de variables recogido en este cuestionario ha seleccionado las variables en grupos de síntomas que se relacionan directamente con el "síndrome de microondas" probando así su consistencia.



## Capítulo 6

# Discusión, aportaciones y conclusiones finales

Entre las aportaciones más importantes realizadas en este trabajo se encuentran el desarrollo de un protocolo de medida de la radiación electromagnética y la realización de medidas espaciales en *broadband*, realizando en Sueca y Paiporta una adecuada cartografía de los niveles de potencia de campo electromagnético, y en banda estrecha en diferentes poblaciones de la Comunidad Valenciana, en viviendas y en la calle (cerca de la BS y lejos de ellas). Así mismo hemos obtenido los valores medios, desviaciones típicas y otros estadísticos en las localidades de Silla, Paterna, Algemesí, Sueca y Paiporta.

Se ha obtenido una función que relaciona niveles de campo electromagnético en la calle con los de dentro de las viviendas de manera que sea fácil estimar la densidad de potencia en el interior de una casa a partir de la medida en la calle.

Se ha desarrollado un procedimiento de medidas continuas para estudiar la variación temporal de los niveles de densidad de potencia mediante la modificación de los instrumentos de medida en banda ancha y la adaptación de un registrador

de datos. Se ha realizado el análisis de los resultados obtenidos en diferentes intervalos de medidas de 1 semana, 24 horas y 30 minutos. Se ha estudiado la distribución estadística de estos niveles y su periodicidad.

Finalmente, se ha evaluado la respuesta subjetiva a la exposición a radiación de microondas en 5 poblaciones de la Comunidad Valenciana, evaluando la respuesta subjetiva y sintomatológica que constituye el llamado “síndrome de microondas”. Para ello se han medido los niveles de densidad de potencia en el interior de las casas y se ha correlacionado con la respuesta reportada en la encuesta. También se han analizado las respuestas a los cuestionarios, realizando un análisis factorial para determinar la agrupaciones de variables del cuestionario utilizado.

Algunas de las ideas principales a las que hemos llegado en el proceso de realización de este trabajo han sido:

- En principio, podemos decir que las mediciones de los niveles de densidad de potencia electromagnética en las viviendas cercanas a las estaciones base de telefonía móvil no han sobrepasado en ninguno de los casos los niveles establecidos en el reglamento Real Decreto Ministerio Presidencia 1066/2001[51].
- En lo que respecta al método de realización de las medidas, se ha desarrollado un protocolo que nos ha permitido el análisis de las medidas, tanto en banda ancha (desde 450 MHz a 3000 MHz) como en banda estrecha (frecuencia a frecuencia en la banda de telefonía móvil). Para la aplicación de este protocolo de medidas hemos evaluado estos niveles espacialmente, es decir representando su distribución sobre un gráfico de la zona en estudio y también analizando su distribución en bandas de potencia.

En particular, hemos estudiado la variación espacial de los niveles de densidad de potencia mediante la cartografía de estos valores y realizando mapas de radiofrecuencia por primera vez en nuestro país. Este es el caso de Sueca

y Paiporta (València).

Las medidas en banda estrecha realizadas con el analizador de espectros modelo IFR-2398 nos sirven para detectar, seleccionar y reconocer los canales en los que se emite con mayor potencia.

En estas medidas hemos observado que los canales que mayor ocupación presentan son los de la compañía Telefónica Móviles en la banda de GSM. En DCS, hay menor ocupación, siendo la compañía AMENA la que hace un mayor uso de esta banda. En principio y a partir de las declaraciones de los organismos oficiales competentes, a partir del 2003 comenzará a implantarse la nueva tecnología UMTS en España, ya que en otros países como Japón ya está instaurada.

- Se han monitorizado medidas continuas a lo largo de diversos días y semanas para observar la variabilidad temporal de los niveles de densidad de potencia. En estas medidas hemos observado la evolución temporal de estos niveles y su forma de distribución estadística, probando diferentes tipos de distribuciones con el fin de encontrar la que mejor se adapte a los datos obtenidos.

Estos registros temporales nos sirven también para tener un conocimiento más profundo del tipo de irradiación electromagnética a la que está expuesta las personas que viven en el entorno de la estación base en estudio (si existe algún tipo de periodicidad, si utilizan un tipo de distribución estadística determinado, ...).

Respecto al estudio de la respuesta subjetiva, se han recogido encuestas realizadas en 5 poblaciones de la Comunidad Valenciana.

En Carcaixent[3] esta significación aumenta de manera sospechosa ( $p > 0.05$  en la mayoría de síntomas) y nos hace pensar en otros factores que puedan influir, por lo que en futuras investigaciones hemos replanteado nuestro estudio, respecto

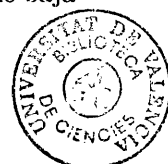
a los originales de Santini, con fines descriptivos. Dada la dificultad de establecer estadísticamente relaciones causales y que nuestro instrumento operativo (la encuesta que hemos utilizado) no incluye excesiva información sobre factores socioeconómicos que podrían influir de manera definitiva en la respuesta de los encuestados, hemos aumentado la información al respecto en los siguientes cuestionarios. A pesar de todo, hemos realizado comprobaciones correlacionales que han resultado numéricamente bastante exitosas.

A partir de la realización de estos estudios podemos decir que:

- En Carcaixent se ha utilizado el cuestionario de Santini y en Favara, Corbera, Sueca y Algemesí se ha pasado tres encuestas de salud. Entre los síntomas por los que se les pregunta se han considerado aquellos relacionados con el síndrome de microondas, el cual a su vez está relacionado con trastornos asténicos, diencefálicos y trastornos de los sentidos, (trastornos del sueño, neurovegetativos y hormonales).
- Se ha medido en sus viviendas, adjuntando la medida en la encuesta para su tratamiento estadístico.
- Se ha elaborado un modelo de regresión para predecir el nivel de las medidas dentro de las viviendas a partir de las medidas en la calle (en el caso de Sueca).
- Se ha llevado un análisis estadístico exhaustivo de las encuestas y las medidas. Se han comparado los resultados en seis poblaciones: La Ñora (Murcia)[3], Carcaixent[3], Favara, Corbera, Sueca y Algemesí. Existen diferencias en los resultados que pueden deberse a la poca cantidad de encuestas en cada caso. Llama la atención la diferencia de resultados entre la población de La Ñora y las restantes. En el caso de La Ñora las encuestas alcanzaban a casi un 5% de la población, y esto no ha sido posible en las poblaciones de la Ribera,

ya que la densidad de población es mucho mayor. Otra posible justificación a estas diferencias sería una posible sinergia con otro tipo de contaminantes químicos, presentes en el aire, agua, suelo. Es obvio que el grado de contaminación química del entorno del Segura es mucho mayor al existente en la Ribera del Júcar.

- Al juntar todas las encuestas de la Ribera Baixa y hacer un estudio global se aumenta la significación de los resultados, aunque no hay una variación substancial de los coeficientes de correlación de Pearson. Existe correlación significativa entre diversos síntomas asociados a alteraciones del sueño, neurovegetativos y otros síntomas con los niveles medidos.
- El análisis presentado en esta tesis presenta cierto paralelismo con trabajos previos realizados sobre contaminación acústica en relación a la salud. Existen estudios que han analizado la influencia del ruido sobre la salud y han seguido un esquema idéntico al nuestro, haciendo medidas puntuales espacio-temporales de ruido ambiental. El análisis de los resultados obtenidos en la evaluación de la respuesta subjetiva a la exposición de radiación de RF/MW son similares a los obtenidos en trabajos del estudio de la respuesta subjetiva en exposición al ruido. En ellos se encuentran valores máximos de correlación en torno a 0.3-0.4 [101], pero también cercanos a 0.1 [100].
- Los estadísticos descriptivos, aunque presentando una gran desviación típica, muestran un gradiente de sintomatología en la dirección en la que aumenta la densidad de potencia RF. Estos son consistentes con los coeficientes de correlación, su grado de significación y ponen en evidencia la consistencia del síndrome de microondas como un conjunto de síntomas que pueden presentarse en exposición a radiación electromagnética de microondas de baja intensidad.





- Siguiendo con las comparaciones, nuestros resultados presentan ciertas similitudes con los resultados de Altpeter, [12]. Este estudio delimitó tres zonas con tres niveles de exposición alrededor de una emisora de onda corta 3-30 MHz. Encontró en los grupos más expuestos un aumento significativo ( $P < 0.002$  y  $P = 0.034$ ) de: nerviosismo, fatiga, insomnio y somnolencia, dolores en las articulaciones, problemas psicovegetativos, dificultad en la concentración, debilidad general y cansancio. El estudio de Altpeter mostró alteraciones de la tensión pero no significativas. En nuestro estudio obtenemos, además, resultados significativos que relacionan a los más expuestos con problemas de hipotensión, claramente enumerada dentro de la sintomatología del síndrome de microondas.
- Las alteraciones del sueño podrían estar relacionadas con alteraciones de los niveles de melatonina nocturna que conducen a una situación de debilidad general, pérdida de agilidad mental, y fatiga crónica [63]. Las alteraciones del sueño están presentes de forma significativa en 4 de las seis poblaciones analizadas ( $P < 0.05$ ).
- Los resultados obtenidos indican niveles de densidad de potencia muy bajos, del orden de 0.05 microwatios por centímetro cuadrado, medidos en banda ancha. Es decir, a niveles que están 9000 veces por debajo del Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, para una sola portadora a 900 MHz.

La cuestión radica sobre a qué niveles se puede considerar estadísticamente despreciable el síndrome estudiado. Una posible hipótesis sería que el síndrome está más relacionado con ciertas características físicas de la radiación, como la modulación, que con los niveles de potencia [57], [21]. Correlación significativa para diversos trastornos de la salud se deduce en grupos sometidos a muy bajos niveles de exposición, en torno a 0.05 microwatios por centímetro cuadrado.

Posiblemente, se tendría que cambiar la tecnología para cambiar la velocidad de transmisión GSM-DCS, y el esquema global de su modulación para eliminar las bajas frecuencias.

El estudio de las agrupaciones de variables también resulta interesante para reducir el número de variables y examinar las relaciones entre los factores aglutinadores de las variables anteriores.

También cabe recordar la actividad antioxidante de la melatonina y lo que sucede cuando su concentración no alcanza los valores normales: disminuye su actividad antioxidante-reparadora sobre el organismo y, se sustituye por otras hormonas, con las consecuencias enumeradas en el capítulo 3.

En este trabajo hemos estudiado la distribución factorial de variables en la encuesta del Anexo 1, realizada en 4 ciudades de las comarcas de la *Ribera Alta* y *Baixa* (la población total es de 54740 habitantes en el total de los municipios). Para aplicar el análisis factorial, hemos utilizado 735 cuestionarios.

Hemos dividido el estudio en tres partes: análisis factorial del conjunto completo de variables (60 variables en total), análisis factorial del cuestionario de Santini (17 variables) y análisis factorial del "cuestionario extendido" (39 variables).

El análisis factorial de todas las 60 variables iniciales obtenidas del cuestionario completo (el de Santini, el ampliado y el EUROQol-5D modificado) ha resultado adecuado para la muestra tomada ( $KMO=0'865$ ). Su aplicación nos ha dado un total de 17 factores, los cuales explican un 65'80% de la varianza total. Pese a estos buenos resultados y ante la dificultad de interpretar todos los factores obtenidos a partir del conjunto total de variables consideradas en un primer momento, es decir que no hemos obtenido una separación directa de los factores como en el caso de la Ñora[3], en el que se producía una clara separación en sintomatología asociada al síndrome asténico, síndrome distónico y síndrome diencefálico. Por ello nos planteamos el estudio de cada uno de los cuestionarios por separado. En cada

una de los test de viabilidad para el análisis factorial realizados hemos obtenido buenos resultados.

El análisis factorial que hemos realizado a los diferentes cuestionarios utilizados ha demostrado ser adecuado para determinar los factores que se pueden generar a partir de ellos en el análisis de la relación entre posibles efectos producidos por la radiación de microondas de GSM900 y DCS1800 y las características de la exposición han dado un resultado aceptablemente bueno para el global de la muestra ( $KMO=0.708$  para el cuestionario de Santini y  $KMO=0.863$  para el cuestionario ampliación).

A partir de las variables consideradas en el cuestionario de Santini hemos obtenido un conjunto de 4 factores, que explican el 50.91% de la varianza total. Para el cuestionario ampliado a partir del CMI, hemos obtenido 10 factores, que explican el 65.32% de la varianza total.

Después de observar los resultados obtenidos, observamos que el análisis por separado de ambos cuestionarios facilita la interpretación de los factores extraídos. Este análisis factorial ha seleccionado las variables en agrupaciones sintomatológicas, reportadas subjetivamente, relacionadas con el “síndrome de microondas”.

También hemos representado gráficamente la proyección de algunos factores en relación al factor de medida en un espacio bidimensional y observamos un claro agrupamiento de los factores. Este agrupamiento puede ser explicado en términos geométricos diciendo que cada factor (como agrupación de variables) puede ser explicado como un vector unitario ortogonal. Si representamos cada variable como un vector, podemos considerar el módulo de cada vector como la desviación estándar y para cada par de vectores, el coseno del ángulo formado entre ellos se considera como el coeficiente de correlación[102].

## 6.1 Futuras líneas de investigación

El trabajo que se ha iniciado con la realización de esta tesis no está concluido. Esta tesis deja lugar a futuros desarrollos e investigaciones mucho más profundas en diversos aspectos tanto técnicos como médico-técnicos.

Entre los aspectos técnicos que hemos empezado a desarrollar están:

- Desarrollo de un medidor promediador temporal en el que se pondere el tiempo de medida, utilizando como base de construcción electrónica los esquemas de un sonómetro.
- Desarrollo de un sistema automático de registro de medidas y posicionamiento GPS, que pueda ser implantado en un vehículo y así poder realizar las mediciones con el vehículo en marcha (esto sólo sería aplicable a la cartografía de niveles a nivel de la calle).
- Estudio estadístico profundo de las distribuciones estadísticas temporales de niveles de campo electromagnético en las viviendas próximas a BS de telefonía móvil, con el fin de tener un mayor conocimiento de las dosis de exposición electromagnética en estas zonas y estudiar la acción de diversas variables que afecten a estas distribuciones.
- Estudiar los niveles de radiación electromagnética de los nuevos sistemas de telefonía (GPRS y UMTS) y de las nuevas implantaciones de redes inalámbricas (WLAN) que siguen el protocolo IEEE 802.11b (este protocolo funciona en la banda de frecuencia entre 2'400 y 2'486 GHz).

Entre los aspectos médico-técnicos a estudiar a un medio-largo plazo estarían:

- Estudio de la acción de una WLAN 802.11b, que emite por debajo de la normativa ICNIRP. Este estudio podría comportar diversas componentes

de estudio médico, entre las más interesantes a desarrollar estaría el análisis de los potenciales evocados en el cerebro por la exposición continuada a la radiación de baja intensidad de este medio de comunicación inalámbrica. El interés de este trabajo radica en que el *set-up* experimental a utilizar no presenta grandes costos (a parte de los recursos de los medios de los que ya se disponen) y se pueden obtener resultados efectivos.

- Otros estudios más complejos por su complejidad experimental que se podrían llevar a cabo serían los análisis de niveles de melatonina en sangre de sujetos expuestos a radiación electromagnética de telefonía móvil, etc.

Todas estas vías de investigación están abiertas o serán abiertas a corto plazo.

# Anexo 1

Aquí reproducimos la encuesta que hemos utilizado en los diversos estudios que componen esta memoria.

a) Encuesta Santini- Items sobre las características de la exposición Distancia en metros (m) desde su estancia a la Antena de Telefonía Móvil:

- Menos de 10 m  10 a 50 m  50 a 100 m  
 100 a 200 m  200 a 300 m  Más de 300 m

Con respecto a las antenas, la posición en la que se encuentra su vivienda es:

- En frente  De lado  Detrás  Debajo

Cuanto tiempo lleva usted viviendo próximo a las antenas:

- Menos de 1 año  1 a 2 años  2 a 5 años  Más de 5 años

Número de días de exposición por semana: ..... días

Número de horas de exposición por día :

- Menos de 1 h/d  de 1 a 4 h/d  de 4 a 8 h/d  
 de 8 a 16 h/d  de 16 a 24 h/d

b) Encuesta Santini- Items de salud.



INDIQUE SI PADECE ALGUNO DE ESTOS SÍNTOMAS Y SU FRECUENCIA: A continuación le presentamos una serie de síntomas a los que ha de responder en función de la frecuencia en los que se le presentan según la siguiente escala:

1 = Nunca 2 = Raras veces 3 = A veces 4 = A menudo 5 = Muy a menudo

Tache la casilla que corresponda al número del caso que usted elija

	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Fatiga						Concentración					
Irritabilidad						Pérdida de Memoria					
Cefalea						Alteraciones de la Piel					
Nauseas						Alteraciones Visuales					
Pérdida de Apetito						Alteraciones Auditivas					
Alteraciones del Sueño						Vértigos					
Tendencia Depresiva						Dificultades al Andar					
Estado Inconfortable						Problemas Cardiovasc.					

Otros síntomas: .....

c) Encuesta Santini- Otros items

ESTÁ USTED PRÓXIMO A : (Indique la-s respuesta/s afirmativa/s) ( )  
Transformadores ( ) Líneas Eléctricas ( ) Emisoras de Radio-TV (A menos  
de 10 m) (A menos de 100m si alta Tensión) (A menos de 4 Km)

UTILIZA USTED REGULARMENTE : Escoja la-s respuesta-s afirmativa/s  
( ) Un ordenador ( ) Un teléfono móvil

¿Con qué frecuencia?

( ) menos de 20 m/d ( ) entre de 20 y 60 m/d ( ) más de 60m/d

SEXO EDAD

DIRECCIÓN POSTAL

d) Encuesta Ribera-Baixa (CMI-modificada)

Items de Salud INDIQUE SI PADECE ALGUNO DE ESTOS SÍNTOMAS Y SU FRECUENCIA: A continuación le presentamos una serie de síntomas a los que ha de responder en función de la frecuencia en los que se le presentan según la escala anterior:

1 = Nunca; 5 = Muy a menudo

Tache la casilla que corresponda al número del caso que usted elija

Síntomas Neurovegetativos

	1	2	3	4	5
Fatiga					
Ansiedad					

Alteraciones visuales

	1	2	3	4	5
Disfunciones oculares					
Ojos secos					

Alteraciones del carácter

	1	2	3	4	5
Nerviosismo					
Estrés					
Cambios de estado de ánimo					
Irritabilidad					
Inestabilidad emocional					

Alteraciones auditivas

	1	2	3	4	5
Sonidos intensos y de corta duración					
Sonidos pulsantes					
Pérdidas auditivas					



## Alteración del sueño

	1	2	3	4	5
Somnolencia					
Insomnio					
Pesadillas					
Se Despierta por las noches					

## Alteraciones de la piel

	1	2	3	4	5
Psoriasis					
Eccemas					
Eritema facial (piel de la cara enrojecida)					
Inflamaciones de la piel					
Reacciones alérgicas					

	1	2	3	4	5
Ganglios con problemas					

## Síntomas gástricos

	1	2	3	4	5
Dolor de estómago (calambres estomacales)					
Digestión pesada					

## Sistema Endocrino

	1	2	3	4	5
Problemas de peso					
Diabetes					

Antecedentes familiares de diabetes:

( )SI ( )NO ( ) NS/NC

	1	2	3	4	5
Problemas de peso					
Hipertensión					
Hipotensión					
Alt.tensión					
Arrit.card.					

Alteraciones hematológicas

	1	2	3	4	5
Análisis de sangre anómalo en 2 años					

Sistema inmunológico

	1	2	3	4	5
Alergias					
resfriados					

Otros problemas durante el embarazo, nacimiento y el puerperium (periodo entre el nacimiento y el retorno del útero a su estado normal)

( ) SI ( ) NO ( ) NS/NC

	1	2	3	4	5
Sensación de calor pecho y/o cabeza					
Tumores/Leucemia					

Otros.....

¿Recibe algún tipo de tratamiento médico debido a alguno de los síntomas anteriormente citados?

( ) SI ( ) NO ( ) NS/NC

Si la respuesta anterior es afirmativa indique cual .....

## d) Encuesta Ribera-Baixa (CMI-modificada).

Items de control-actitud

Horas de permanencia en casa incluyendo las noches

Laborables .....

Fines de semana .....

Tiene teléfonos móviles ¿Cuántos? .....

Usa el teléfono móvil ¿Cuánto?

Mucho (más de 180 min/día)

Bastante ( $65 < t < 180$  min/día)

Normal ( $30 < t < 65$  min/día)

Algo ( $5 < t < 30$  min/día)

Poco ( $t < 5$  min/día)

¿Dispone de información sobre los efectos de los móviles?

SI  NO  NS/NC

De donde procede la información principalmente

televisión-radio  prensa  revistas

revistas especializadas  internet  conversación con amigos

Valore la utilidad de las nuevas tecnologías en el bienestar social (De 1-muy negativo a 5-muy positivo) ( )

Me preocupa mi salud (De 1-nada a 5-mucho) ( )

## e) Encuesta EuroQol-5D

**Movilidad**

1-No tengo problemas para caminar

- 2-Tengo pocos problemas para caminar
- 3-Tengo algunos problemas para caminar
- 4-Tengo bastantes problemas para caminar
- 5-Tengo que estar en la cama

**Cuidado personal**

- 1-No tengo problemas con el cuidado personal
- 2-Tengo pocos problemas con el cuidado personal
- 3-Tengo algunos problemas con el cuidado personal
- 4-Tengo bastantes problemas con el cuidado personal
- 5-Soy incapaz de lavarme o vestirme

**Actividades cotidianas** (Trabajar, estudiar, hacer tareas doésticas, actividades familiares o actividades durante el tiempo libre).

- 1-No tengo problemas para realizar mis actividades cotidianas
- 2-Tengo pocos problemas para realizar mis actividades cotidianas
- 3-Tengo algunos problemas para realizar mis actividades cotidianas
- 4-Tengo bastantes problemas para realizar mis actividades cotidianas
- 5-Soy incapaz de realizar mis actividades cotidianas

**Dolor/Malestar**

- 1-No tengo dolor ni malestar
- 2-Tengo un poco de dolor o malestar
- 3-Tengo moderado dolor o malestar
- 4-Tengo bastante dolor o malestar
- 5-Tengo mucho dolor o malestar

**Ansiedad/Depresión**

1-No estoy ansioso ni deprimido

2-Estoy un poco ansioso o deprimido

3-Estoy moderadamente ansioso o deprimido

4-Estoy bastante ansioso o deprimido

5-Estoy muy ansioso o deprimido

Comparando con mi estado general de salud durante los últimos 12 meses,  
mi estado de salud hoy es:

( ) Mejor ( ) Igual ( ) Peor

Escala analógica 0-100 donde marcar el grado de salud:

0 - | - | - | - | - | - | - | - | - | - 100

Edad

Sexo

Usted es:

( ) Soltero ( ) Casado ( ) Viudo ( ) Separado ( ) Divorciado

Indique su nivel de estudios ( ) Sin estudios ( ) Educación primaria ( )

Educación secundaria ( ) Enseñanza universitaria

Si conoce su código postal, ¿podría indicarlo? .....

# Anexo 2

## Equipo de medida. Características técnicas

*Medidor de campo RF/MW LX-1435 (fig.6.1)*

- Campo eléctrico instantáneo
- Ancho de banda: 1-3000 MHz
- Error de medida (en campo eléctrico): 0.1 V/m
- Calibración: HP-8510C - Cámara anecoica -Universitat de València. Detector y Antena



Figura 6.1: Medidor de campo RF/MW LX-1435.



Figura 6.2: Medidor de campo magnético EMF-823 Ltlutron.

*Medidor de campo magnético de baja frecuencia EMF-823 de Lt-lutron (fig.6.2)*

- Campo magnético instantaneo
- Ancho de banda: 0-10 kHz
- Error de medida (en campo magnético): depenendiendo de la escala 0'01 mT.

## Anexo 3

A partir de las encuestas recogidas en Sueca en las que realizamos medidas en el interior de la vivienda (campelec) y en la calle (camp-carr) -exterior de la vivienda- (un total de 157 encuestas) realizamos una estimación curvilínea del campo en el interior de la vivienda a partir de las medidas en el exterior.

MODEL: MOD 1.

Dependent variable. CAMP-CARR Method. LINEAR

Listwise Deletion of Missing Data

Multiple R            0.76718

R Square             0.58857

Adjusted R Square   0.58204

Standard Error       1.11035

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	111.11312	111.11312
Residuals	63	77.67088	1.23287
F =	90.12550	Signif F =	0.0000

Variables in the Equation

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
CAMPELEC	1.171091	0.123358	0.767185	9.493	0.0000
(Constant)	0.796270	0.160569		4.959	0.0000



Dependent variable. CAMP-CARR Method. QUADRATI

Listwise Deletion of Missing Data Multiple

R                    0.84515  
 R Square            0.71429  
 Adjusted R Square  0.70507  
 Standard Error     .93272

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	134.84569	67.422846
Residuals	62	53.93831	0.869973
F =	77.49996	Signif F =	0.0000

————— Variables in the Equation —————

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
CAMPELEC	2.302596	0.240147	1.508437	9.588	0.0000
CAMPELEC**2	-0.197409	0.037796	-.821686	-5.223	0.0000
(Constant)	0.373503	0.157306		2.374	0.0207

Dependent variable. CAMP-CARR Method. CUBIC

Listwise Deletion of Missing Data Multiple

R                    0.84537  
 R Square            0.71466  
 Adjusted R Square  0.70063  
 Standard Error     0.93972

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	3	134.91607	44.972023
Residuals	61	53.86793	0.883081
F =	50.92628	Signif F =	0.0000

————— Variables in the Equation —————

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
CAMPELEC	2.457855	0.600837	1.610147	4.091	0.0001
CAMPELEC**2	-0.285278	0.313579	-1.187431	-0.910	0.3665
CAMPELEC**3	0.009113	0.032282	0.278155	0.282	.7787
(Constant)	0.343035	0.191745		1.789	0.0786

Este sencillo modelo nos a permitido seleccionar el ajuste cúbico, ya que es el que tiene un coeficiente de correlación múltiple más elevado (es decir es el que mejor se ajusta a los datos).



# Anexo 4

## Calibración del medidor LX-1435

Para la realización de las medidas con el medidor de campo electromagnético LX-1435 hemos calibrado nuestro sistema utilizando un analizador espectral IFR-2399 (desde 0 a 2 GHz) y el analizador de redes HP-8510-C. La medida de la ganancia de las antenas y todas las mediciones han sido realizadas en la cámara anecoica del Departamento de Física Aplicada y Electromagnetismo de la Universitat de València.

Primero se calcula el ajuste entre las lecturas en V/m del LX-1435 y lo que debería leerse sabiendo la potencia incidente. Para ello se midió la relación entre los dBm del IFR-2399 en la banda de GSM y DCS y la medida del LX-1435. Las figuras 6.3 y 6.4 muestran la relación entre las medidas del LX-1435 y el IFR-2399 en cada banda.

Para calcular la relación entre la lectura del LX-1435 y la medida del campo real se utiliza la ganancia media en la banda DCS y GSM (ganancia en DCS=0'7 y ganancia en GSM=0'33). También se utiliza el coeficiente de reflexión medio en la banda DCS y GSM:

- a 1840 MHz,  $\lambda = 0'1630$ ,  $c.reflex=0'05$
- a 945 MHz,  $\lambda = 0'3175$ ,  $c.reflex=0'22$

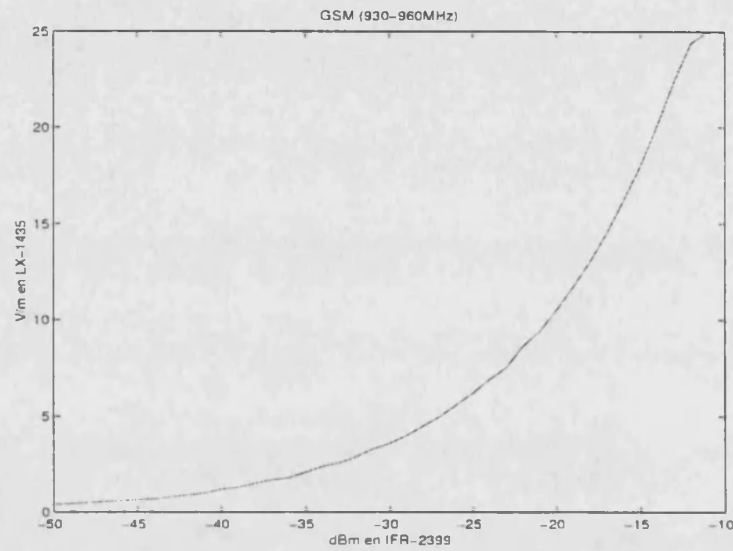


Figura 6.3: Relación entre dBm y V/m en GSM (930-960MHz).

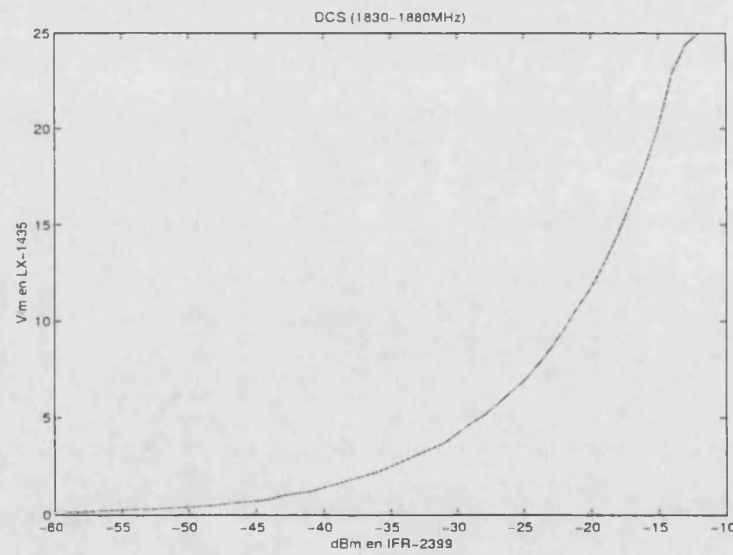


Figura 6.4: Relación entre dBm y V/m en DCS (1830-1880MHz).

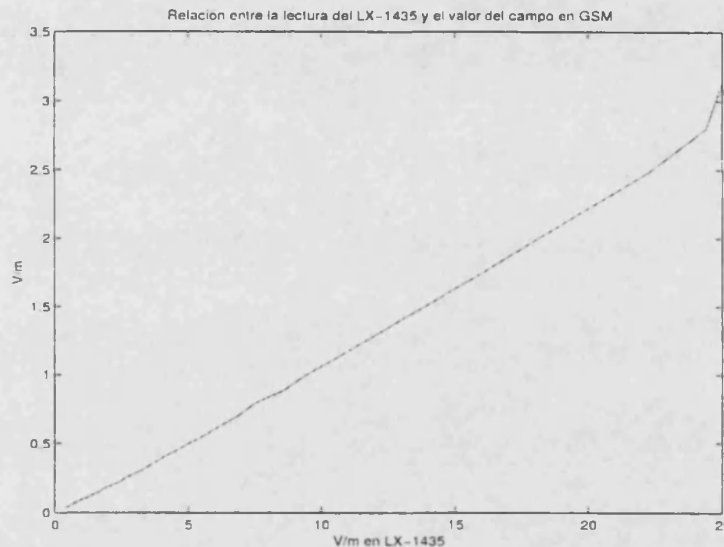


Figura 6.5: Relación entre la lectura del LX y el campo real en GSM (930-960MHz).

El factor de corrección de las medidas se obtiene a partir del ajuste lineal de las medidas del LX-1435 con el campo calculado y corregido con las pérdidas del cable, la ganancia de la antena y el coeficiente de reflexión. En las figuras 6.5 y 6.6 vemos el ajuste lineal de los resultados obtenidos.

De esta manera obtenemos que en la banda de GSM el factor de corrección de las medidas del LX-1435 es 8'5719 y en la banda de DCS es 5'5887.

## Ganancia de la antena del LX-1435

Se ha medido la ganancia de la antena del medidor LX-1435 utilizando el método de las dos antenas iguales en la cámara anecoica del Departamento de Física Aplicada y Electromagnetismo y utilizando el analizador de redes vectorial HP-8510C.

Hemos obtenido 4 ficheros de medidas, dos entre 0.2-0.8 GHz y dos entre 0.8-2.2 GHz:

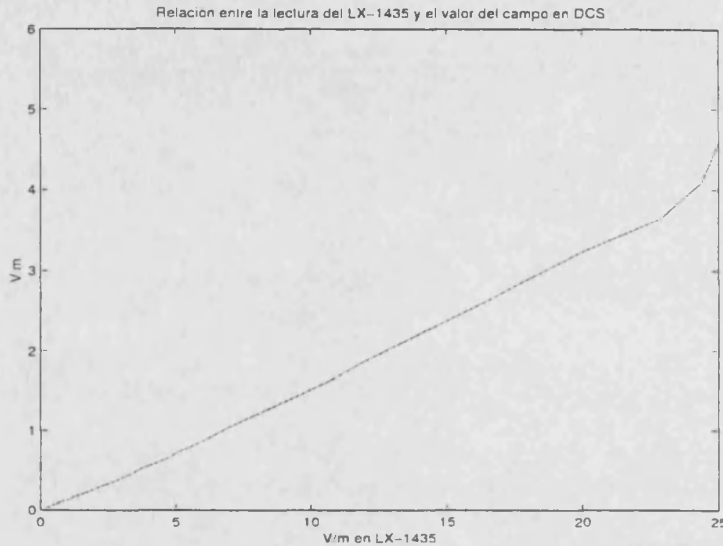


Figura 6.6: Relación entre la lectura del LX y el campo real en DCS (1830-1880MHz).

- DM-08-22.dat
- DM-08-22A.dat
- DM-02-08.dat
- DM-02-08A.dat

los terminados en A son medidas en las que se conecta el cable emisor con el receptor a través de un cable coaxial, los otros son medidas de transmisión en el aire entre las dos antenas idénticas situadas a una distancia de  $r = 2.64m$ .

Los resultados obtenidos los podemos observar en la figura 6.7. En la figura 6.8 vemos que la ganancia en la banda entre 935 y 960 MHz es aproximadamente constante con un valor promedio de 0'33.

La figura 6.9 nos muestra la ganancia en la banda de DCS. Aquí los valores de la ganancia son variables con la frecuencia. En nuestro caso, se ha observado que los canales con mayor ocupación en esta banda son los de las BS de la compañía

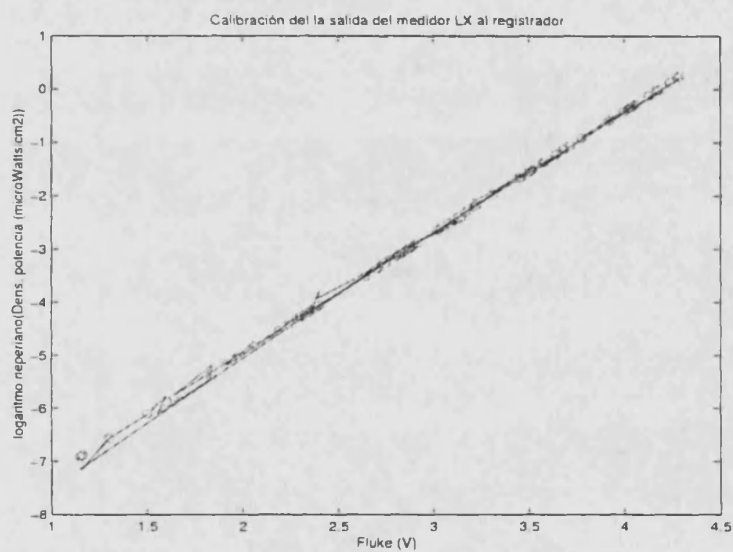


Figura 6.12: Calibración del la salida del medidor LX al registrador.





# Bibliografía

- [1] M.A. Stuchly and S.S. Stuchly. *Electrical properties of biological substances in Biological effects and medical applications of electromagnetic energy*. Ed. Om P. Gandhi, Prentice Hall, New Jersey., 1990.
- [2] S.E. Paulsen et al. Radiowave propagation model document. Technical Report Ref. RMTP/CC/R1576, Race Project R1043. London, 10/12/91.
- [3] E.A. Navarro; J. Segura; M. Portolés; C. Gómez-Perretta; C. Maestu; J.L. Bardasano. About the effects of microwave exposure from cellular phone base stations: a first approach. *Biological Effects of EMFs 2nd International Workshop, Proceedings. Rhodes, Greece*, pages 353–358, 7-11 October 2002.
- [4] Expansión Directo. Ranking exclusivo de la telefonía móvil en España. <http://www.expansiondirecto.com/tecnologia/MercadoMoviles.html>, 2001.
- [5] C.H. Durney; H. Massoudi; M.F. Iskander. Radiofrequency radiation dosimetry handbook. Final report usafsam-tr-85-73, Electrical Engineering Department. University of Utah, Salt Lake City, UT 84112, October 1986. Publicado en <http://www.brooks.af.mil/AFRL/HED/hedr/reports/handbook/home.html>.
- [6] J.M. Hernando Rábanos. *Comunicaciones Móviles*. Centro de Estudios Ramón Areces, S.A., 1997.
- [7] E.C. Okress (ed.). *Microwave power engineering*, volume 2 of *Electrical Science Series*. Academic Press. Inc., 1968.

- [8] F.Sterzer; J.Mendecki; D.D.Mawhinney; E.Friedenthal; A.Melman. Microwave treatments for prostate disease. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 48(11):1885–1891, November 2001.
- [9] P. Costa. *Electromagnetismo (silencioso, ubicuo e inquietante)*. Troya Editorial, Madrid, 1996.
- [10] M.R. Clemens. Free radicals in chemical carcinogenesis. *Klinische Wochenschrift*, 69(21-23):1123–1134, 1991.
- [11] J. Ferrís y J. García. *El càncer: causes, desenvolupament i prevenció*. Ajuntament d'Algesesí, 2000.
- [12] E.S.Alt peter et al. (Directed by Prof. Dr.med. Th. Abelin). Study of health effects of the shortwave transmitter station of schwarzenburg, berne, switzerland. Mayor report, On behalf of The Federal Office of Energy, 1995.
- [13] M. Repacholi. Proyecto emf de la o.m.s. <http://www.who.int/peh-emf>, 2002.
- [14] Tratado de Roma (1957). Tratado de constitución de la ue. tercera parte. políticas de la comunidad (título xix: medio ambiente). art.174. <http://europa.eu.int/eur-lex/es/treaties/livre241.html>, 1999.
- [15] Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post. National measurement programme. <http://www.regtp.de/en/tech-reg-tele/start/fs-06.html>, 2002.
- [16] Arantxa Noriega. *La inspección de antenas, un negocio disputado*. <http://www.5dias.com>, 11 de marzo 2002.
- [17] A. Cardama et al. *Antenas*. Edicions UPC, Barcelona, 1998.
- [18] R.W.Christy J.R.Reitz, F.J.Mildford. *Fundamentos de la teoría electromagnética*. Addison-Wesley Iberoamericana, S.A., 1986.
- [19] J.C.Lin (ed.). *Proc. of the Joint Symposium on Interactions of Electromagnetic Waves with Biological Systems*. Plenum Press, New York, 1989.

- [20] M.N. Zhadin. Review of russian literature in biological action of dc and low-frequency ac magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 22:23–45, 2001.
- [21] W.R. Adey y A.F. Lawrence. *Nonlinear electrodynamics in biological systems*. Plenum Press, New York, 1984.
- [22] W.F. Pickard y F.J. Rosenbaum. Biological effects of microwaves at the membrane level: two possible athermal electrophysiological mechanism and a proposed experimental test. *Math. Biosci.*, 39:235, 1978.
- [23] M.L. Swicord y C.C. Davis. Microwave absorption of dna between 8 and 12 ghz. *Biopolymers*, 24:21, 1984.
- [24] S.L. Arber y J.C. Lin. Microwave induced changes in nerve cells: effects of modulation and temperature. *Bioelectromagnetics*, 6:257, 1985.
- [25] M.J. Galvin y D.I. McRee. Cardiovascular, hematologic and biochemical effects of acute ventral exposure of conscious rats to 2450 mhz (cw) microwave radiation. *Bioelectromagnetics*, 7:223, 1986.
- [26] C.F. Blackman; S.G. Benade; J.A. Elder; D.E. House; J.A. Lampe y J.M. Faulk. Induction of calcium ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effects of sample number and modulation frequency on the power density window. *Bioelectromagnetics*, 1:35, 1980.
- [27] C.F. Blackman; S.G. Benade; J.R. Rabinowitz; D.E. House y W.T. Joines. A role for the magnetic field in radiation-induced efflux of calcium ions from brain tissue in vitro. *Bioelectromagnetics*, 6:327, 1985.
- [28] A. Chiabrera; C. Nicolini; H.P. Schwan. *Interaction between electromagnetic fields and cells*. Plenum Press, New York, 1985.
- [29] S.D. Smith; B.R. McLeod; A.R. Liboff y K. Cooksey. Calcium cyclotron resonance and diatom mobility. *Bioelectromagnetics*, 8:218, 1987.
- [30] O.P. Gandhi. *ANSI radiofrequency safety guide: Its rationale, some problems and suggested improvements in Biological effects and medical applications of electromagnetic energy*, pages 28–46. Ed. Om P. Gandhi, Publ. Prentice Hall, 1990.

- [31] M.H. Repacholi. Environmental health criteria 137: Electromagnetic fields (300hz to 300 ghz). Technical report, World Health Organization, Ginebra, 1993.
- [32] O.P.Gandhi. State of knowledge for electromagnetic absorbed dose in man and animals. *Proc. IEEE*, 68(1):24–32, 1980.
- [33] IEEE Std C95.1. Ieee standart for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3 khz to 300 ghz. Technical report, IEEE Inc., 1999.
- [34] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 ghz). *Health Physics*, 4:494–522, April 1998.
- [35] Std. Canada. Limits of human exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range of 3 khz to 300 ghz. Technical report, Minister of Public Works and Government Services of Canada, 1999.
- [36] W.H.O. Emf world wide standards. <http://www.who.int/docstore/peh-enf/EMFStandards/who-0102/Worldmap5.htm>, (visitada en 08/2002).
- [37] F. Pérez y S. Pagel. *Introducción a las comunicaciones móviles*. Servicio de Publicacións. Universidade de Vigo, 1997.
- [38] M. Oliver C. Ferrer. Overview and capacity of the gprs (general packet radio service). Technical report, Applied Maths et Telematics, UPC, 1997. CICYT project TIC97-0942.
- [39] J. Jordana y D. Sancho (ed.). *Políticas de telecomunicaciones en España*. Ed. Tecnos, Madrid, 1999.
- [40] D. Middleton. *An Introduction to Statistical Communication Theory*. IEEE Press, 3ª ed. (1ª ed. publicada en 1960, en McGraw-Hill, New York), 1996.
- [41] J.M. Hernando Rábanos (coord.). *Comunicaciones Móviles*. Fundación Airtel, 1999.

- [42] R.C. Johnson y H. Jasik (ed.). *Antenna engineering handbook*. McGraw-Hill Book Company, 2nd edition edition, 1984.
- [43] W.H.O. Informe de la conferencia internacional sobre atención primaria de salud. Technical report, Organización Mundial de la Salud (WHO). Alma-Ata, 1978.
- [44] W.H.O. Estrategia mundial de salud para todos en el año 2000. Technical report, Organización Mundial de la Salud (WHO). Ginebra, 1981.
- [45] W.H.O. Objetivos de salud para todos. Technical report, Organización Mundial de la Salud (WHO). Copenhagen, 1985.
- [46] J. Ashton. *La promoción de la salud, un nuevo concepto para una nueva sanidad*. Monografíes Sanitaries. Serie D, núm.1. Consellería de Sanitat i Consum, 1988.
- [47] K.J. Rothman. Epidemiological evidence on health risks of cellular telephones. *The Lancet*, 356:1837–1840, November, 25 2000.
- [48] G. J. Hyland. Memoradum: Potential adverse health impacts of mobile telephony. <http://216.117.145.138/EMF/hyland/hyland.htm> (última actualización 1/05/2000), (visitado el 25/04/2002).
- [49] G. J. Hyland. The physiological and enviromental effects of non-ionising electromagnetic radiation. Stoa panel, European Parliament. Directorate General for Research., 2001.
- [50] N. Cherry. *Potencial and actual adverse effects of radiofrequency and microwave radiation at levels near and below 2  $\mu W/cm^2$* . Phd. thesis, Lincoln University. Camberra (New Zealand), 1998.
- [51] B.O.E. Real decreto 1066/2001, por el que se aprueba el reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. *Boletín Oficial del Estado*, 234:36217–36227, 29-Sept. 2001.

- [52] N. Cherry. Criticism of the proposal to adopt the icnirp guidelines for cell sites in new zealand. icnirp guideline critique. Technical report, Lincoln University, 1999.
- [53] W. R. Adey (1975). *Evidence for Cooperative Mechanisms in the Susceptibility of Cerebral Tissue to Environmental and Intrinsic Electric Fields*. John M. Osepchuk (IEEE Press), 1983. pp.108-116.
- [54] W.R. Adey. Neurophysiologic effects of radiofrequency and microwave radiation. *Bull. N.Y. Acad. Med.*, 55(11):1079–1093, 1979.
- [55] P. Michelozzi; C. Ancona; D. Fusco; F. Forastiere; C.A. Perucci. Risk of leukemia and residence near a radio transmitter in italy. *Epidemiology*, 9((Suppl)):345, 1998.
- [56] J.L. Schwartz; D.E. House y A.R. Mealing. Exposure of frog hearts to cw or amplitude modulated vhf fields: selective efflux of calcium ions at 16hz. *Bioelectromagnetics*, 11:349–358, 1990.
- [57] S.M. Bawin y A.F. Lawrence W.R. Adey. Effects of weak amplitude-modulated microwave fields on calcium efflux from awake cat cerebral cortex. *Bioelectromagnetics*, 3:295–307, 1982.
- [58] W.R. Adey. *Electromagnetic fields and the essence of living systems*, volume in *Modern Radio Science*. J. Bach Anderson, oxford university press edition, 1990. 1-37.
- [59] J. Walleczek. Electromagnetic field effects on cells of the immune system: the role of calcium signaling. *FASEB J.*, 6:3176–3185, 1992.
- [60] J. Walleczek y T.F. Budinger. Pulsed magnetic field effects on calcium signaling in lymphocytes: dependence on cell status and field intensity. *FEBS 11896*, 314 (3):351–355, 1992.
- [61] D.B. Lyle; P. Schechter; W.R. Adey y R.L. Lundak. Suppression of t lymphocyte cytotoxicity following exposure to sinusoidally amplitude modulated fields. *Bioelectromagnetics*, 4:281–292, 1983.

- [62] B.W. Wilson; E.K. Chess y L.E. Anderson. 60hz electric field effects on pineal melatonin rhythms: time course and onset of recovery. *Bioelectromagnetics*, 7:239–242, 1986.
- [63] R.J. Reiter. Melatonin suppression by static and extremely low frequency electromagnetic fields: relationship to the reported increased incidence of cancer. *Reviews on Environmental Health*, 10(3-4):171–186, 1994.
- [64] C.M. Krause; L. Sillanmaki; M. Koivisto; A. Haggqvist; C. Saarela; A. Revonsuo; M. Laine; H. Hamalainen. Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the eeg during a memory task. *Neuroreport*, 11(4):761–764, March 2000.
- [65] A.A. Borbely; R. Huber; T. Graf; B. Fuchs; E. Gallmann; P. Achermann. Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neuroscience Letters*, 275(3):207–210, 1999.
- [66] R. Huber; T. Graf; K.A. Cote; L. Wittmann; E. Gallmann; D. Matter; J. Schuderer; N. Kuster; A.A. Borbely; P. Achermann. Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep eeg. *NeuroReport*, 11(15):3321–3325, 2000.
- [67] D. Krause y J.M. Mullins T.A. Litovitz. Effects of coherence time of the applied magnetic field on ornithine decarboxylase activity. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 178(3):862–865, 1991.
- [68] T.A. Litovitz et al. The role of coherence time in the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity. *Bioelectromagnetics*, 14:395–403, 1993.
- [69] T.A. Litovitz; C.J. Montrose; P. Doinov; M. Barber y K.M. Brown. Superimposing spatially coherent electromagnetic noise inhibits field-induced abnormalities in developing chick embryos. *Bioelectromagnetics*, 15:105–113, 1994.
- [70] E.K. Balcer-Kubiczek y G.H. Harrison. Evidence for microwave carcinogenesis. *Carcinogenesis*, 6:859–864, 1985.



- [71] H. Sumiyoshi; A.R. Baer y M.J. Wargovich. Heterogenicity of ornithine decarboxylase during mouse colon carcinogenesis and in human colon tumors. *Cancer Research*, 51:2069–2072, 1991.
- [72] M. Taira y K. Isono M. Yoshida, H. Hayashi. Elevated expresión of the ornithine decarboxylase gene in human esophageal cancer. *Cancer Research*, 52:6671–6675, 1992.
- [73] C.V. Byus; R.L. Lundak; R.M. Fletcher; W.R. Adey. Alterations in kinase activity following exposure of cultured human lymphocytes to modulated microwave fields. *Bioelectromagnetics*, 5:341–351, 1984.
- [74] R.A. Luben. Statement of dr. richard a. luben on the biology and biochemistry of emr, including rf/mw. Planning Tribunal Hearing. Decision A 15/96, 1995.
- [75] S. Gutiérrez. *Filosofía de la estadística*, volume 26 of *Cultura Universitària Popular*. Servei de Publicacions. Universitat de València, 1994.
- [76] J. Jordán y F. Barceló. Distribución del tiempo de ocupación de canal en telefonía pública celular. *IX Jornadas de Telecomunicación I+D Barcelona-Madrid*, page 6, 1999. <http://www.edicionsupc.es/forum/fmatcat.htm> (visitado el 21/04/2002).
- [77] B. E. Keiser. *Principles of Electromagnetic Compatibility*. Artech House, Inc, 1979.
- [78] S. Baranski y P. Czernski. *Biological effects of Microwaves*. PA: Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, 1976.
- [79] Ed. I.R. Petrov. *Influence of Microwave Radiation on the Organism of Men and Animals*. USSR: Meditsina Press, 1970, NASA TTF-708, Leningrad, 1972.
- [80] Z. V. Gordon. *Biological Effects of Microwave in Occupational Hygiene, 1966*. NASA TTF-633, translated from Russian, 1970.

- [81] C. Silverman. Epidemiological studies of microwave effects. *Proc. IEEE*, 68:78–84, January 1980.
- [82] C. Silverman. Nervous and behavioral effects of microwave radiation in humans. *American Journal of Epidemiology*, 97:219–224, 1973.
- [83] S. Szmigielski. *Eastern european RF protection guides and rationales in Electromagnetic Interaction with Biological Systems*. Ed. Plenum Press, 1989.
- [84] VV.AA. *Proceedings of the International Conference on Cell Tower Siting*. Federal State of Salzburg - University of Vienna - Institute of Environmental Health, Austria, 2000.
- [85] A. G. Johnson-Liakouris. Radiofrequency (rf) sickness in the lilienfeld study: An effect of modulated waves. *Archives of Environmental Health*, 53(3):236–238, May/June 1998.
- [86] A.M. Lilienfeld; J. Tonascia; S. Tonascia; C.A. Libauer y G.M. Cauthen. Foreign service health status study - evaluation of health status of foreign service and other employees from selected eastern european posts. Final report (contract nr. 6025-619073), to the U.S.Dept of State, July 31 1978.
- [87] M. Jenicek; R. Cléroux. *Epidemiología: Principios, técnicas y aplicaciones*. Salvat Editores, S.A., 1987.
- [88] R. Santini; M. Seigne; L. Bonhomme-Faivre. Danger of cellular telephones and their relay stations. *Pathol. Biol.*, 48:525–528, 2000.
- [89] EuroQol Group. Euroqol-a new facility for the measurement of health related quality of life. *Health Policy*, 16:199–208, 1990.
- [90] M. Rué y X. Badia. Euroqol: en busca de una tarifa de valores para españa. *Proc. XV Jornadas de Economía de la Salud*, page 5, València 24-26 de Mayo 1995.
- [91] K. Brodman et al. The cornell medical index health questionnaire: II. as a diagnostical instrument. *J.A.M.A.*, 145:152–157, 1951.

- [92] K. Brodman et al. The cornell medical index health questionnaire: Iii. the evaluation of emotional disturbances. *J. Clin. Psychol.*, 8:119–124, 1952.
- [93] K. Brodman et al. The cornell medical index health questionnaire: Vi. the relation of patient complaints to age, sex, race and education. *J. Gerontol.*, 8:339–342, 1953.
- [94] J.H. Abramson et al. The cornell medical index as a health measure in epidemiological studies. *Br. J. Prev. Soc. Med.*, 19:103–110, 1965.
- [95] M.B. Daly y H.A. Tyroler. Cornell medical index health responses as a predictor of mortality. *Br. J. Prev. Soc. Med.*, 26:159–164, 1972.
- [96] R.W. Steinhardt et al. Appraisal of physical and mental health of the elderly: Use of cornell medical index and supplementary health questionnaire. *J.A.M.A.*, 153:378–382, 1953.
- [97] R. Sanchís J. Segura, E.A. Navarro and M. Regalado. Caracterización del paisaje electromagnético en la banda de 300khz a 3ghz. *Proc. XV Simposium Nacional de la URSI*, I:389–390, Zaragoza, 13-15 de Septiembre 2000.
- [98] M.J. Norusis. *SPSS/PC+ Manual Base and SPSS/PC+ Statistics*. SPSS Inc. Chicago, 1990.
- [99] M. Ferrán. *SPSS para Windows. Programación y análisis estadístico*. McGraw Hill, 1997.
- [100] A.M. García García. *Estudio de los efectos del ruido ambiental sobre la salud en medios urbanos y laborales*. PhD thesis, Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública, Universitat de València, 1990.
- [101] Th. Schültz. Synthesis of social surveys on noise annoyance. *J.A.S.A.*, 64(2):377–405, 1978.
- [102] C.M. Cuadras. *Métodos de análisis multivariante*. Col. Estadística y análisis de datos. PPU, Barcelona, 1991.
- [103] H.F. Kaiser. An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39:31–36, 1974.

- [104] H. H. Harman. *Modern Factor Analysis*. University of Chicago Press, Chicago, 2d ed. edition, 1967.
- [105] B. Visauta. *Análisis estadístico con SPSS para Windows. Estadística Multivariante.*, volume Vol. II. McGraw-Hill, Madrid, 1998.

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

FACULTAT DE CIÈNCIES FÍSiques

Reunit el Tribunal que subscriu, en el dia de la data  
acordà d'atorgar, per unanimitat, a aquesta Tesi Doctoral  
d'En/ Na/ N' Jaume Segura Garza  
la qualificació d' Excel·lent Cum Laude

València a 16 d' Abril de 2003

El Secretari,

El President,



*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

