

# ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ANTENAS MÓVILES MULTIBANDA EN PRESENCIA DEL CUERPO HUMANO

S.Risco<sup>(1)</sup>, J.Anguera<sup>(1,2)</sup>, A.Andújar<sup>(1)</sup>, C. Picher<sup>(1,2)</sup>, C.Puente<sup>(1,3)</sup>

st14280@salle.url.edu, jaume.anguera@fractus.com

<sup>(1)</sup> Departamento de Tecnología y Derechos de Propiedad intelectual, Fractus, Barcelona (Spain).

<sup>(2)</sup> Departamento de Electrónica y Comunicaciones. Universitat Ramon Llull, Barcelona (Spain).

<sup>(3)</sup> Departamento de Comunicaciones y Teoría de la Señal. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona (Spain).

**Abstract** – The great majority of wireless devices are used close to the human head. These changes the antenna performance compared to free space situation. The human head absorbs an amount of power from the antenna radiation. In this sense, it is important not only to increase the robustness of the antenna performance, but also to reduce the amount of power absorbed by the human head. A coupled monopole and a PIFA antenna are evaluated in terms of antenna performance in presence of the human head. The most significant parameters (SAR, efficiency and return losses) are obtained at two different positions of the antenna as a function of the frequency band, to finally evaluate the impact of the human head to the antenna performance, and the effect of the antenna on it. Despite both antennas have a similar efficiency value at Free Space, monopole antenna has more sensitivity to the interaction with the human head.

## I. INTRODUCCIÓN

La gran expansión en los últimos años del mundo de la telefonía móvil y otros dispositivos inalámbricos hace necesario el estudio e investigación de la interacción entre estos terminales y el cuerpo humano.

Este estudio se enfoca desde dos vertientes: (i) el efecto del campo radiado sobre el cuerpo humano, y (ii) la variación del comportamiento de la antena debido a la presencia del cuerpo humano.

Se ha constatado mediante simulación que el efecto de la antena sobre la cabeza humana depende, entre otros factores, del tipo de antena [1] y de la posición de ésta respecto la PCB [2], provocando cambios biológicos, como incrementos de temperatura correlados con el incremento del valor de SAR [3 [4] debido a la radiación de ondas electromagnéticas por parte de la antena. Por otra parte, se han realizado medidas sobre la variación de los parámetros de la antena en presencia de la cabeza, tanto mediante simulación [5, [6], como mediante el uso de phantom heads, concluyendo una influencia directa sobre ellos ( $S_{11}$ , eficiencia y diagramas de radiación).

En este estudio se pretende investigar la influencia de la topología de antena y posición respecto la PCB, y interrelacionar las medidas de eficiencia y SAR para obtener la absorción total de la cabeza humana para los diferentes modelos analizados y ver la variación que sufren debido a ello.

## II. ANTENAS ANALIZADAS

El estudio se ha realizado sobre dos tipos de antenas, monopolo y PIFA, que suponen la muestra más significativa de antenas utilizadas en terminales móviles actualmente (Fig. 1). La primera, un monopolo cuatribanda (GSM900, DCS, PCS y UMTS) formado por dos elementos parásitos, cuyo diseño fue estudiado y analizado en [7], y la segunda una antena PIFA (Planar Inverted-F Antenna) dualband (GSM900, DCS).

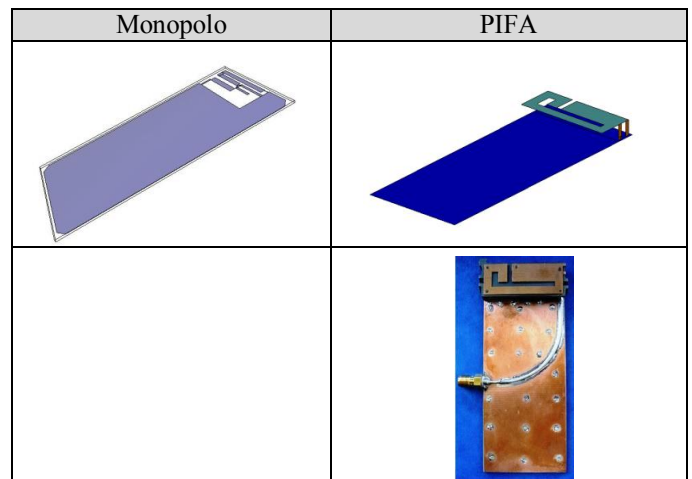


Fig. 1. Modelos simulados y prototipos de las antenas analizadas.

	Monopolo		PIFA	
	Banda baja	Banda alta	Banda baja	Banda alta
BW				
$\eta_a$				

Tabla. 1. El ancho de banda está comprendido entre: 850 MHz y 940 MHz para la banda baja en la antena monopolo, y entre 900 MHz y 1040 MHz en la antena PIFA. La banda alta entre 1690 MHz y 2120 MHz en la antena monopolo y entre 1930 MHz y 2100 MHz en la antena PIFA.

El monopolo presenta menor ancho de banda en banda baja y mayor en banda alta, ya que es capaz de cubrir PCS y UMTS. Ambas antenas presentan unos valores de eficiencias aceptables y muy similares (Tabla 1).

Salvando las diferencias, el objetivo es comparar estos dos tipos de radiadores, uno *cerrado*, la PIFA, y otro *abierto*, el monopolo.

## III. RESULTADOS

Una vez comparadas ambas antenas es necesario determinar los efectos producidos por la presencia del cuerpo humano en su comportamiento, en este caso, la cabeza, humana.

Se han medido los parámetros más significativos:  $S_{11}$ , SAR y eficiencia.

Todas las medidas se han realizado para banda baja ( $\approx 900\text{MHz}$ ) y banda alta ( $\approx 1900\text{MHz}$ ), para dos posiciones: una que denominaremos *up* en la que la posición de la antena es más cercana a la cabeza, y otra *down* en la que la posición es más lejana (**Error! Reference source not found.**).

### III.a. Desintonización

El primer paso es medir que nivel de desadaptación sufre cada una de las antenas en presencia de la cabeza humana en la posición habitual de conversación telefónica. La medida se ha realizado mediante la utilización de un *phantom head* relleno del líquido definido en los estándares del CENELEC [8] con propiedades eléctricas similares a las del tejido humano para cada una de las bandas, ya que las propiedades eléctricas del cuerpo humano varían según la frecuencia.

Posteriormente se ha unido la antena a la parte derecha *phantom head*, dejando 1 mm de separación entre la PCB y éste (Fig. 2).

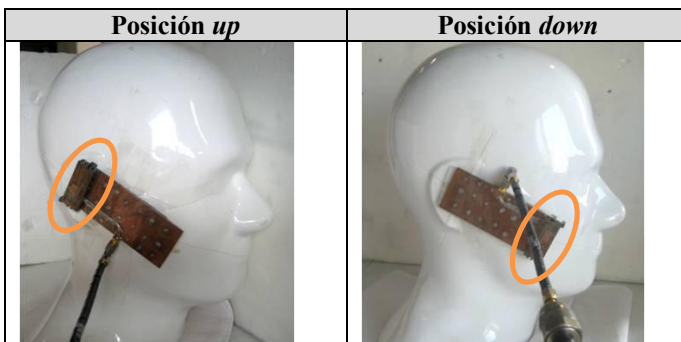


Fig. 2. Posición *up* y *down* durante la medida del parámetro  $S_{11}$ . La marca señala la posición de la antena en cada caso.

La desintonización en presencia del *phantom head* en el caso de la antena PIFA es mínima en banda baja, y prácticamente nula en banda alta (Fig. 3). En cambio el monopolo es mucho más sensible.

Se produce una desadaptación para la banda baja, y un gran incremento del ancho de banda, principalmente para la posición *up* en banda alta y una ligera desadaptación para la banda baja.

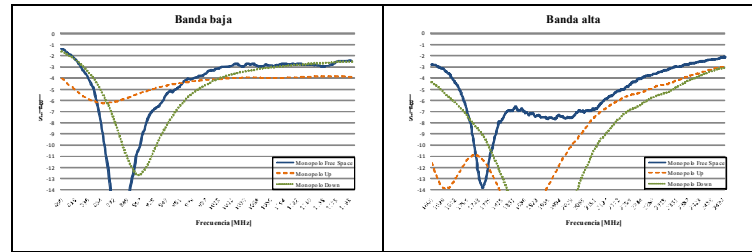
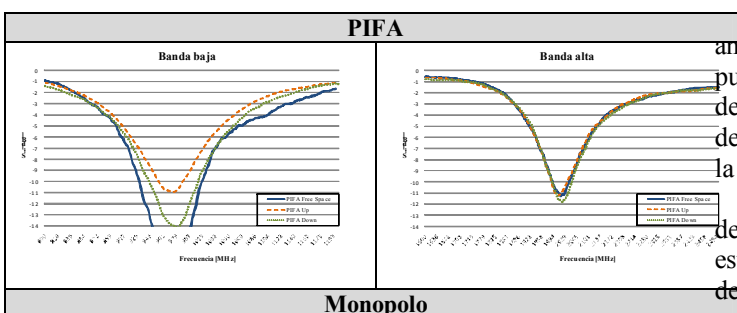


Fig. 3. Variación de la impedancia de entrada de la antena PIFA y monopolo en presencia del *phantom head*.

Este ensanchamiento en banda alta es un síntoma de que la cabeza introduce pérdidas producidas por una gran absorción por parte de ésta, que se verá traducido, como se verá más adelante, en una disminución de la eficiencia.

### III.b. SAR y absorción total

Se han realizado medidas de SAR (Specific absorption Rate) mediante DASY4 (Dosimetric Assessment System 4) (Fig. 4), siguiendo el mismo procedimiento respecto al posicionamiento de la antena que en el caso anterior (Fig. 2).

Los valores de SAR de ambas antenas en banda baja son muy similares en ambas posiciones, aunque en la posición *up* la antena esté mucho más cerca de la cabeza que en la posición *down* (Fig. 8). Esto se debe a que el punto caliente no se encuentra en la zona de la antena sino en la PCB, con una distribución de campo casi simétrica. En cambio los valores de SAR en banda alta difieren entre  $0.7\text{ mW/g}$  y  $1.2\text{ mW/g}$ , debido a que en este caso el punto caliente está localizado en la zona de la antena y por tanto en la posición *down* este valor es menor, al estar mucho más alejado que en la posición *up* (Fig. 5).

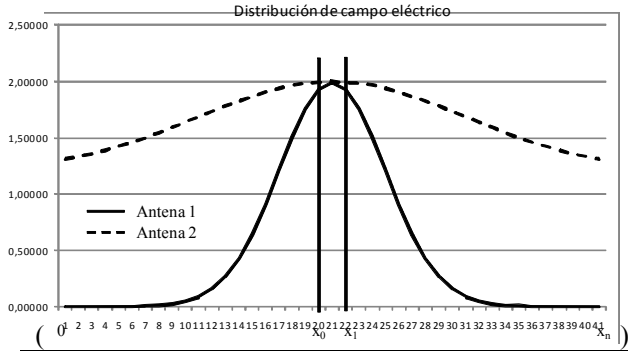


Fig. 4. DASY4, situado en los laboratorios de Fractus. Está formado por el brazo robótico, la sonda y el molde de las dos caras del *phantom head*.

Por lo tanto, si el campo cercano que predomina es el de la antena, es posible disminuir el valor de SAR situándola en un punto alejado de la cabeza, por ejemplo en la parte inferior del teléfono móvil, mientras que si lo es la PCB, los valores de SAR son muy similares e independientes de la posición de la antena.

Aunque el valor de SAR proporciona información acerca de la potencia absorbida y sirve como indicador para establecer un límite de seguridad que cualquier dispositivo debe cumplir, no es suficiente para determinar la potencia total absorbida por la cabeza humana.

El valor de SAR se mide en el volumen cúbico donde se encuentra el valor de campo eléctrico máximo después de barrer todo el área de la antenna y la PCB [9], siendo la potencia absorbida la integral en este volumen



PIFA-banda baja-Up	PIFA-banda baja-Down
PIFA-banda alta-Up	PIFA-banda alta-Down

Fig. 5. Distribución de SAR para las dos bandas frecuenciales. En banda baja el punto caliente está situado en la PCB mientras que en banda alta se encuentra en la zona de la antenna.

Imaginemos dos antenas con una cierta distribución de campo eléctrico coincidente en el valor máximo (Fig. 6). El campo eléctrico de ambas antenas, calculado a partir de la superficie que comprende este valor máximo será prácticamente igual ( $\int_{x_0}^{x_1} \sigma_1 \cdot |E_{T_1}|^2 \cdot dx \cong \int_{x_0}^{x_1} \sigma_2 \cdot |E_{T_2}|^2 \cdot dx$

Ec. 2, Fig. 6), obteniendo, por tanto, un valor de SAR muy similar ( $SAR_{antena1} \cong SAR_{antena2}$

Ec. 3), mientras que el valor de campo total absorbido por la cabeza diferirá significativamente debido a que la distribución de campo de ambas antenas fuera de los extremos de la superficie es muy distinta ( $\int_0^{x_n} \sigma_1 \cdot |E_{T_1}|^2 \cdot dx \ll \int_0^{x_n} \sigma_2 \cdot |E_{T_2}|^2 \cdot dx$

Ec. 4, Fig. 6), y como consecuencia, la potencia absorbida en el caso de la antenna 1 es mucho inferior a la potencia absorbida que en el caso de la antenna 2.

Por lo tanto, el valor de SAR es un valor máximo de absorción puntual, útil para estudio biológicos, mientras que la absorción total por la cabeza determina la eficiencia de antenna, y como consecuencia la autonomía de la batería.

La eficiencia de antenna se ha medido siguiendo el mismo procedimiento usado en la medida de los parámetros  $S_{11}$ , es decir, mediante el *phantom head* para ambas posiciones, *up* y *down* (Fig. 7), siguiendo la norma del CENELEC [8].

$$P_{absorbida} = \int_V \sigma |E_T|^2 dV \quad \text{Ec. 1}$$

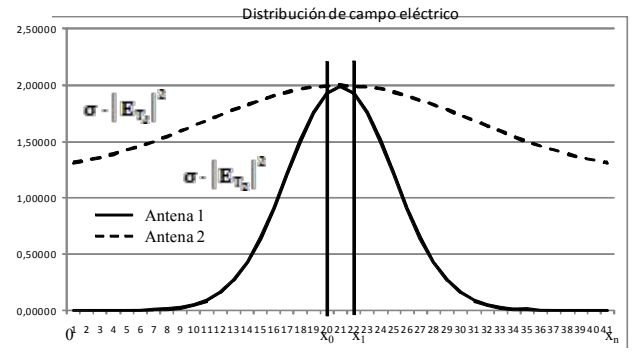


Fig. 6. Ejemplo cualitativo de la distribución de campo eléctrico de dos antenas dentro del cuerpo humano a lo largo de un eje.  $x_0$  y  $x_1$  son los extremos de la zona de interés donde se encuentra el valor de pico.

$$\int_{x_0}^{x_1} \sigma_1 \cdot |E_{T_1}|^2 \cdot dx \cong \int_{x_0}^{x_1} \sigma_2 \cdot |E_{T_2}|^2 \cdot dx \quad \text{Ec. 2}$$

$$SAR_{antena1} \cong SAR_{antena2} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\int_0^{x_n} \sigma_1 \cdot |E_{T_1}|^2 \cdot dx \ll \int_0^{x_n} \sigma_2 \cdot |E_{T_2}|^2 \cdot dx \quad \text{Ec. 4}$$

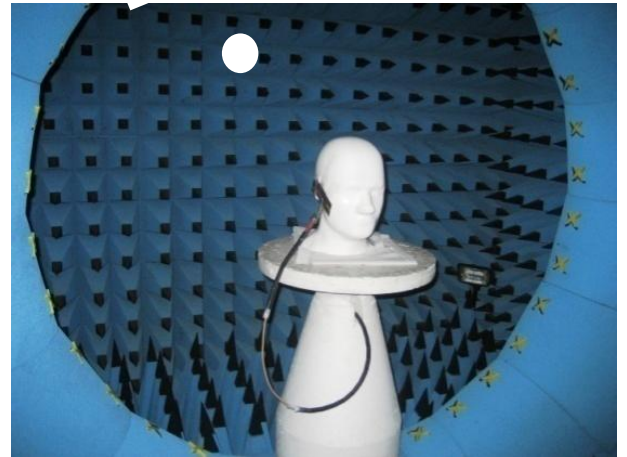


Fig. 7. Medida de eficiencia en la cámara anecoica SATIMO, situada en los laboratorios de Fractus.

A partir de los valores de eficiencia de antenna medidos, se han calculado los valores de absorción por radiación y absorción total de la cabeza humana.

La absorción por radiación ( $\Delta\eta_r$ ) determina la absorción únicamente por la radiación propia de la antenna, y se calcula como la relación entre la eficiencia de radiación en la posición *up/down* y en espacio libre ( $\Delta\eta_r = 10 \log \left( \frac{\eta_{r \text{ up/down}}}{\eta_{r \text{ espacio libre}}} \right)$  [dB] Ec.

5).

La absorción total ( $\Delta\eta_a$ ), que engloba tanto absorción por radiación como pérdidas por desintonización, es la relación entre la eficiencia de antenna en la posición *up/down* y espacio libre ( $\Delta\eta_a = 10 \log \left( \frac{\eta_{r \text{ up/down}} \cdot (1 - |S_{11 \text{ up/down}}|^2)}{\eta_{r \text{ espacio libre}} \cdot (1 - |S_{11 \text{ espacio libre}}|^2)} \right)$  [dB]

Ec. 6).

$$\Delta\eta_r = 10 \log \left( \frac{\eta_{r \text{ up/down}}}{\eta_{r \text{ espacio libre}}} \right) \text{ [dB]} \quad \text{Ec. 5}$$

$$\Delta\eta_a = 10 \log \left( \frac{\eta_{r \text{ up/down}} \cdot (1 - |S_{11 \text{ up/down}}|^2)}{\eta_{r \text{ espacio libre}} \cdot (1 - |S_{11 \text{ espacio libre}}|^2)} \right) \text{ [dB]} \quad \text{Ec. 6}$$

Ambas absorciones se han calculado usando los rangos de valores donde las antenas se encuentran adaptadas ( $ROE \leq 3$ ).

El SAR y la absorción total de la cabeza de la antena PIFA son menores que los de la antena monopolo en ambas posiciones y bandas frecuenciales, teniendo como consecuencia un valor de eficiencia de antena mayor (Fig. 8).

Para banda baja en posición *up*, la absorción por radiación de la antena PIFA es 6dB inferior a la de la antena monopolo.

Mientras que para la posición *down*, esta diferencia no es tan elevada ( $>3$ dB) aunque significativa.

En banda alta la absorción por radiación para ambas antenas es menor.

La gran diferencia entre la absorción por radiación de las dos antenas en la banda baja podría llevarnos a pensar que existe también una diferencia considerable entre los valores

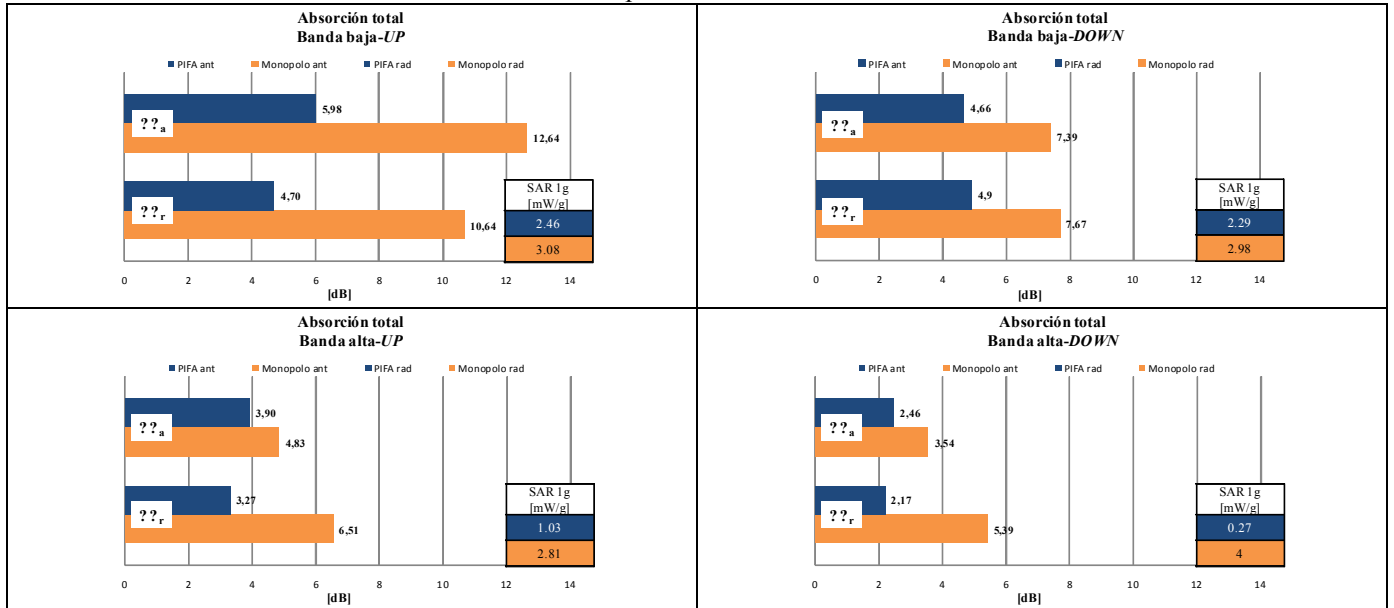


Fig. 8. Valores de SAR a 1g, absorción por radiación y absorción total de ambas antenas para cada una de las dos posiciones y bandas frecuenciales.

de SAR, aunque no es así. Estos valores apenas difieren 0.6 mW/g en ambas posiciones, diferencia que no se ve traducida en la tasa de absorción. Este hecho corrobora el comportamiento cualitativo mostrado anteriormente (Fig. 6).

La variación de la eficiencia de antena engloba tanto pérdidas tanto por desadaptación como absorción por radiación, por lo que este será el parámetro más representativo para determinar el comportamiento de cada una de las antenas.

Como ya se ha visto al inicio (Tabla. 1), la eficiencia de antena en espacio libre de la antena PIFA es ligeramente superior a la de la antena monopolo, aunque mantienen niveles similares.

En posición *up* y banda baja, la absorción total de la PIFA es 6.7dB menor que la del monopolo. Para la misma posición en banda alta en cambio, la absorción total es menor para ambas antenas ( $\approx 1$ dB). Para la posición *down*, la absorción total es menor que en *up*, en todos los casos.

Por último, se observa como el valor de absorción por radiación y absorción total es muy similar en el caso de la antena PIFA, lo cual era de esperar, ya que prácticamente no sufre pérdidas por desadaptación (Fig. 3).

#### IV. CONCLUSIONES

Partiendo de un comportamiento bastante similar de ambas antenas, en términos de eficiencia de antena en espacio libre, se ha comprobado como la interacción con el usuario disminuye la calidad de comportamiento de ambas antenas, más significativamente sobre el monopolo, la cual es menos robusta.

Respecto al efecto sobre el usuario, se ha constatado como es necesario obtener los valores de eficiencia y pérdidas por desadaptación además del valor de SAR, para

poder hacer un análisis completo sobre la absorción total de la cabeza. De esta forma, se ha comprobado como un valor alto de SAR no implica un nivel alto de absorción, de la misma manera que dos niveles similares de SAR pueden estar asociados a niveles de absorción muy diferentes. Mediante esta premisa, se han relacionado todos los parámetros medidos, concluyendo que la antena PIFA produce una menor absorción por parte del usuario que la antena monopolo, la cual llega a valores de absorción total de 12dB.

En resumen, si bien la antena monopolo ocupa una superficie menor que la PIFA y ofrece más ancho de banda en espacio libre, su eficiencia se degrada en presencia de la cabeza humana.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca dentro del convenio de colaboración entre la empresa Fractus S.A (Barcelona) y el Departamento de Electrónica y Comunicaciones de la Universidad Ramon Llull (Barcelona) para la realización de trabajos de investigación de antenas miniatura y multibanda para dispositivos móviles.

#### REFERENCIAS

- [1]. M.A. Stuchly, M. Okoniewski, M. Rahman, K. Capula "Modeling of Human Interaction with Antennas Using the Finite Difference Time Domain Technique", IEEE APS Conference on Antennas and Propagation of Wireless Communications, Nov. 1998.
- [2]. W. J. Krzysztofik, "Meandered Double-PIFA Antenna-Handset/Human Interaction", International Conference on Microwaves, Radar & Wireless Communications, May. 2006.
- [3]. A. Hirata, K. Shirai, O. Fujiwara, "On Averaging Mass of SAR Correlating with Temperature Elevation due to a Dipole Antenna", Progress In Electromagnetic Research (PIER) 84, pág. 221-237, 2008.

- [4]. A. Hirata , T. Shiozawa, "Correlation of Maximum Temperature Increase and Peak SAR in the Human Head Due to Handset Antennas", IEEE transactions on microwave theory and techniques , vol. 51, No. 7 , Jul. 2003.
- [5]. K. R. Boyle, Y. Yuan, L. P. Lighthart, " Analysis of Mobile Phone Antenna Impedance Variations With User Proximity", IEEE transactions on antennas and propagation, vol. 55, No. 2, Feb. 2007.
- [6]. T. Huang, K. R. Boyle, "User Interaction Studies on Handset Antennas", The Second European Conference on Antennas and Propagation , Nov. 2007.
- [[7]. S. Risco, J. Anguera, A. Andújar, A. Pérez, C. Puente "Análisi y diseño de monopolos acoplados para dispositivos móviles multibanda" XIII Simposium Nacional URSI, Sep. 2008.
- [8]. Basic standard for the measurement of Specific Absorption Rate related to human exposure to Electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz - 3 GHz. J, CENELEC-European Committee for Electrotechnical Standardization Std. EN 50 361, Jul. 2001.
- [9]. A. Schiavoni, P. Bertotto, G. Richiardi, P. Bielli "SAR generated by commercial cellular phones-phone modeling, head modeling, and measurements" IEEE transactions on microwave theory and techniques, vol. 48, No. 11, Nov. 2000.