

4.3 Antenas en recepción

- Hasta ahora hemos considerado la antena como un elemento radiante que distribuye la energía EM en su entorno cuando se le suministra una cierta potencia de RF.
- Las antenas , no obstante, también son elementos captadores de radiación EM.
- Vamos a ver ahora cuales son los parámetros que caracterizan a una antena en modo de recepción.

4.3 Antenas en recepción

◆ Apertura o área efectiva de una antena :

- En recepción una antena capta energía EM de un frente de onda incidente que tiene una cierta potencia por unidad de superficie.

$$W \left(\text{watts/m}^2 \right)$$

- La antena capta esta potencia y nos suministra una potencia en bornes:

$$P_L \text{ (watts)}$$

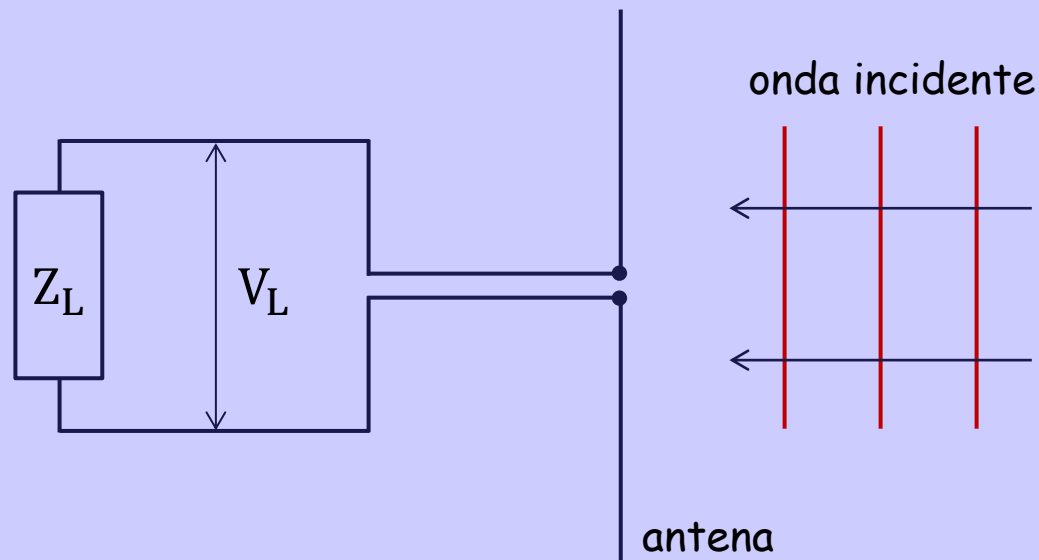
- Ambas magnitudes son directamente proporcionales y dimensionalmente vemos que la constante de proporcionalidad es un área (área efectiva).

$$P_L \text{ (watts)} = A_e \text{ (m}^2\text{)} \cdot W \left(\text{watts/m}^2 \right)$$

4.3 Antenas en recepción

◆ Apertura o área efectiva de una antena :

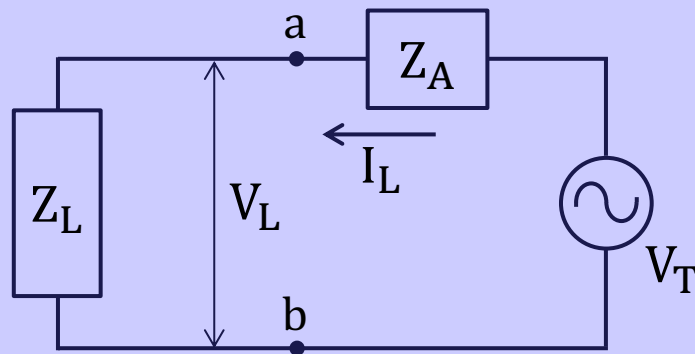
- La antena queda caracterizada por su área efectiva, que no tiene porque ser un área real. (¿dipolo?)
- Vamos a considerar que la antena receptora está conectada a una carga. $Z_L = R_L + j X_L$



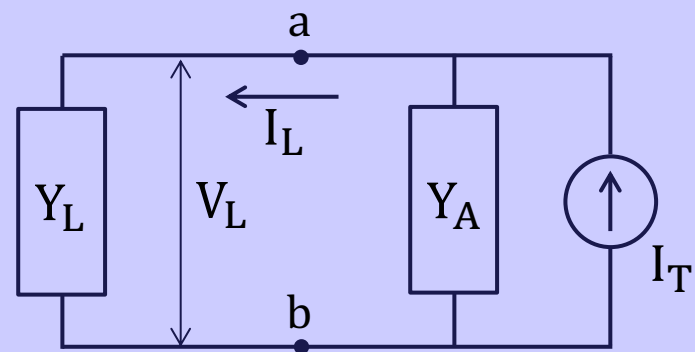
4.3 Antenas en recepción

◆ Apertura o área efectiva de una antena :

- Desde el punto de vista de la carga, la antena en recepción se comporta como un generador, que podemos representar con un circuito equivalente (Thevenin o Norton, según convenga).



Thevenin



Norton

4.3 Antenas en recepción

- ◆ Apertura o área efectiva de una antena :

Teniendo en cuenta estos circuitos equivalentes:

$$P_L = \frac{1}{2} R_L |I_L|^2 = \frac{1}{2} R_L \frac{|V_L|^2}{|Z_L|^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_L = \frac{1}{2} R_L \frac{|V_T|^2}{|(Z_L + Z_A)|^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_L = \frac{1}{2} R_L \frac{|V_T|^2}{(R_L + R_r + R_o)^2 + (X_a + X_L)^2}$$

4.3 Antenas en recepción

◆ Apertura o área efectiva de una antena :

Si consideramos que la antena y la carga están adaptadas (condición de máxima transferencia de potencia) :

$$R_L = R_o + R_r \quad \text{y} \quad X_L = -X_a$$

$$P_L = \frac{1}{2} R_L \frac{|V_T|^2}{4 R_L^2} = \frac{|V_T|^2}{8(R_o + R_r)}$$

que en términos de área efectiva:

$$P_L = A_e \cdot W \Rightarrow A_e = \frac{|V_T|^2}{W} \frac{1}{(R_o + R_r)}$$

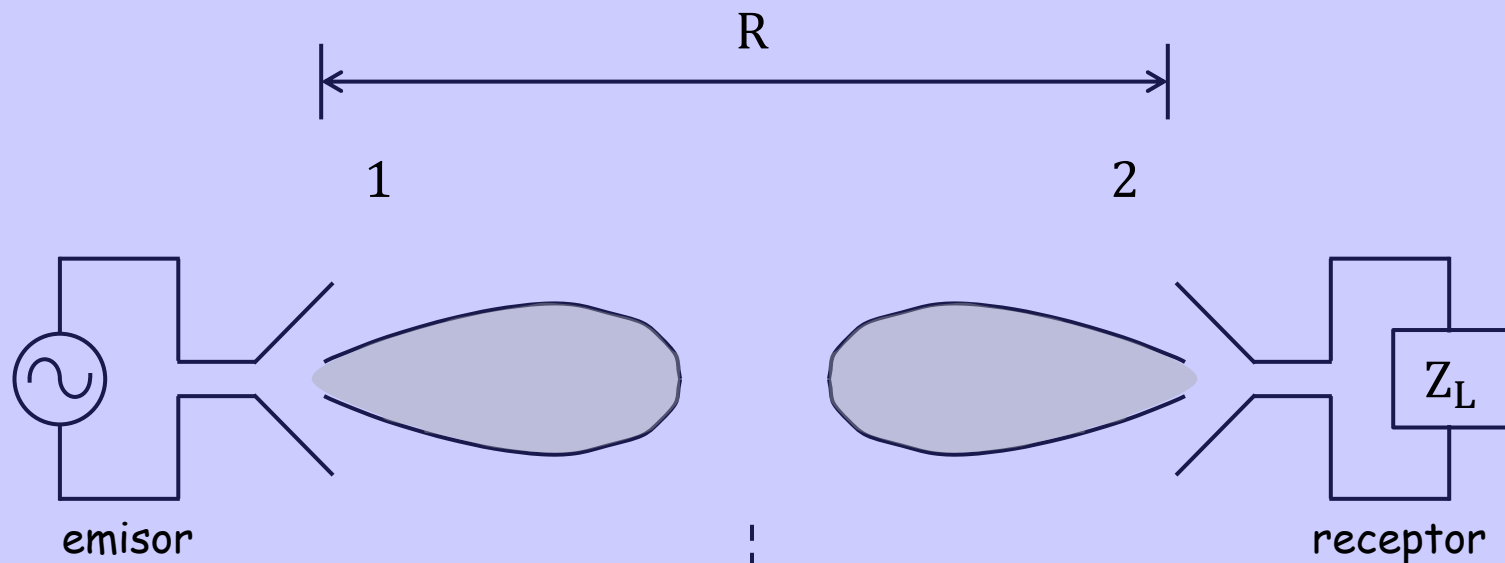
4.3 Antenas en recepción

◆ Relación entre área efectiva y directividad

- Aunque miremos la antena en emisión o recepción no deja de ser el mismo componente.
- Debe existir una relación entre los parámetros que describen esta dualidad de funcionamiento (Directividad y Área efectiva).
- Para obtenerla consideraremos el siguiente experimento:

4.3 Antenas en recepción

◆ Relación entre área efectiva y directividad



$$w_t(R) = D_1 w_{\text{iso}}(R)$$

$$w_t(R) = D_1 \frac{P_t}{4\pi R^2}$$

$$P_r = A_{e2} w_t(R)$$

$$P_r = A_{e2} D_1 \frac{P_t}{4\pi R^2}$$

4.3 Antenas en recepción

◆ Relación entre área efectiva y directividad

Aplicando el teorema de reciprocidad podemos intercambiar ambas antenas sin que cambien las potencias transmitida y recibida.

$$P_r = A_{e2} D_1 \frac{P_t}{4\pi R^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{D_1}{A_{e1}} = \frac{D_2}{A_{e2}} = \text{cte}}$$

4.3 Antenas en recepción

◆ Relación entre área efectiva y directividad

- Para determinar la constante podemos utilizar cualquier antena. Consideremos un caso simple, el dipolo eléctrico pequeño ($l \ll \lambda$) sin pérdidas óhmicas ($R_o = 0 \Omega$)*.
- La resistencia R_r para un dipolo pequeño viene dada por:

$$R_r = 80 \pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \quad \text{si} \quad \frac{l}{\lambda} < \frac{1}{50} \quad \Rightarrow$$

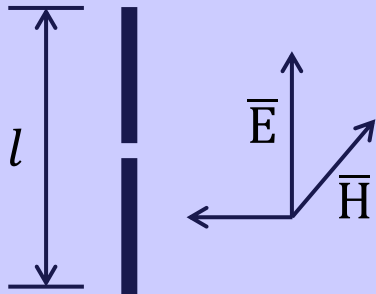
$$\Rightarrow \boxed{A_e \Big|_{\max} = \frac{|V_T|^2}{8 W} \left(\frac{\lambda}{l}\right)^2 \frac{1}{80 \pi^2}}$$

* Cálculo de $A_e \Big|_{\max}$

4.3 Antenas en recepción

◆ Relación entre área efectiva y directividad

- Por otro lado:



1º) Voltaje inducido en el dipolo:

$$V_T = E l$$

2º) Densidad de potencia:

$$w = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{E}} \times \bar{\mathbf{H}} = \frac{E^2}{2 \eta}$$

donde $\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = 120 \pi \Omega$ (en el vacío)

4.3 Antenas en recepción

◆ Relación entre área efectiva y directividad

- Combinando estas expresiones llegamos a la siguiente expresión del área efectiva:

$$A_e \Big|_{\max} = \frac{3 \lambda^2}{8 \pi}$$

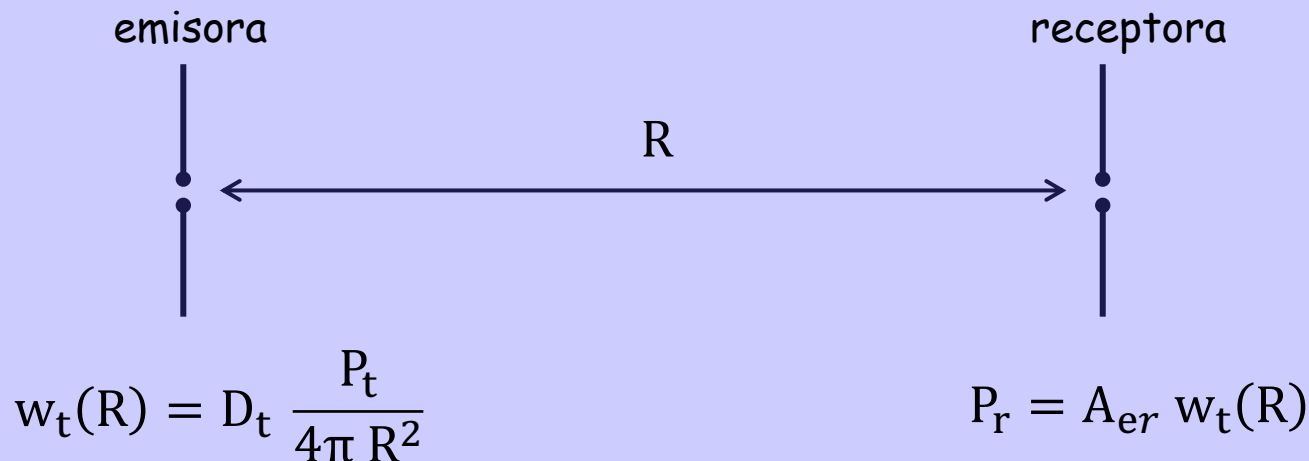
- Teniendo en cuenta que la directividad de un dipolo pequeño es 3/2 :

$$\frac{A_e}{D} = \frac{\lambda^2}{4 \pi}$$

Cuanto más directiva es una antena mayor área efectiva y viceversa.

4.4 Ecuación de Friis

- Consideremos dos antenas perfectamente alineadas en sus direcciones de máxima radiación:



$$\frac{P_r}{P_t} = A_{er} D_t \frac{P_t}{4\pi R^2} = D_r D_t \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

Ecuación de FRIIS simplificada

4.4 Ecuación de Friis

- La ecuación de Friis modeliza el canal de comunicación. En su expresión más general para cada camino que conecte ambas antenas hay que tener en cuenta múltiples efectos.

$$\frac{P_r}{P_t} = e_r (1 - |\Gamma_r|^2) D_r e_t (1 - |\Gamma_t|^2) f(\theta) P \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

Diagram illustrating the Friis equation components:

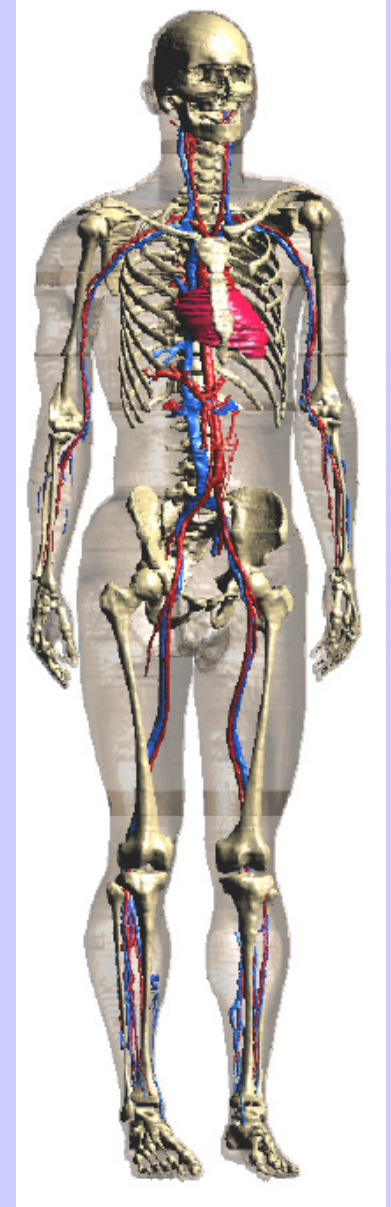
- eficiencia receptora (Receiver efficiency) points to e_r
- desadaptación receptora (Receiver mismatch) points to $(1 - |\Gamma_r|^2)$
- factor polarización (Polarization factor) points to $f(\theta)$
- desorientación antenas respecto del máximo (Antenna misalignment) points to $f(\theta)$

4.5 Absorción de la radiación EM: SAR

- Para analizar la interacción entre la radiación electromagnética y el cuerpo humano definimos una nueva magnitud física: la tasa de absorción específica.
- Para campos EM sinusoidales en estado estacionario, la potencia (tasa de energía en el tiempo) transferida a las cargas en un elemento de volumen infinitesimal Δv de un material viene dada por:

$$P_r = \sigma_{\text{eff}} E_{\text{rms}}^2 \Delta v \quad (\text{W})$$

- E_{rms} es el valor root mean square (rms) del campo eléctrico E en un punto. La unidad de energía es el joule (J). Un vatio es igual a un julio por segundo. Dado que Δv tiene unidades de m^3 , la cantidad $\sigma_{\text{eff}} E_{\text{rms}}^2$ tiene unidades de W/m^3 , que es la densidad de la potencia absorbida.

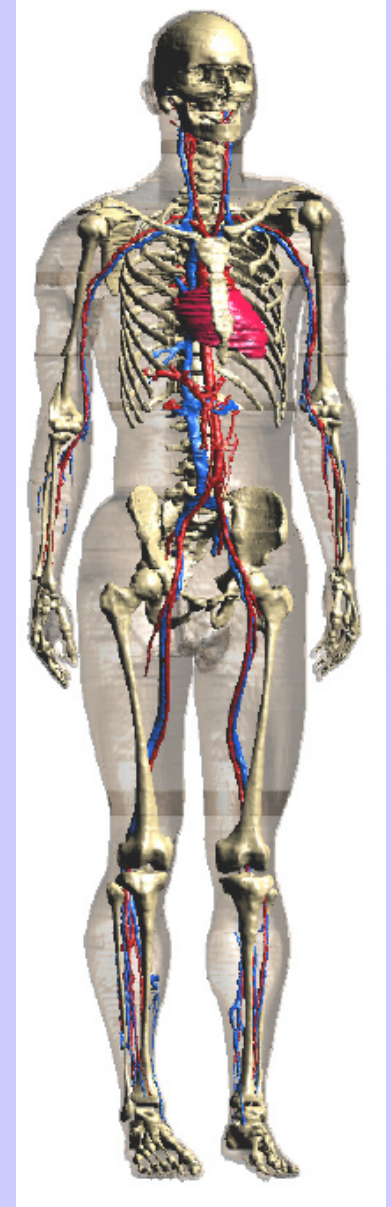


4.5 Absorción de la radiación EM: SAR

- La tasa de absorción específica (SAR) se define como la potencia transferida dividida por la masa del objeto. Específica se refiere a la normalización a masa y la tasa de absorción a la tasa de energía absorbida por el objeto.
- Para campos EM sinusoidales en estado estacionario, el SAR es:

$$SAR = \sigma_{\text{eff}} \frac{E_{\text{rms}}^2}{\rho} \quad (\text{W/kg})$$

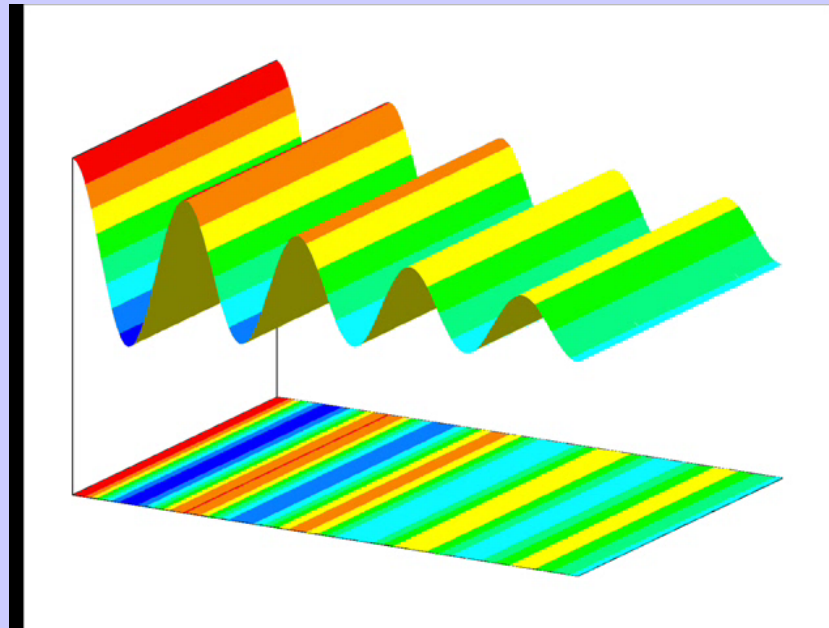
- ρ es la densidad del objeto en kg/m³, que es cercana a 1.0 kg/dm³ para la mayoría de los tejidos biológicos (excepto para el pulmón, que es aproximadamente 0.347 kg/dm³).
- Nuevamente, esta es una relación referida a un punto, por lo que a menudo se la denomina SAR local.



4.5 Absorción de la radiación EM: SAR

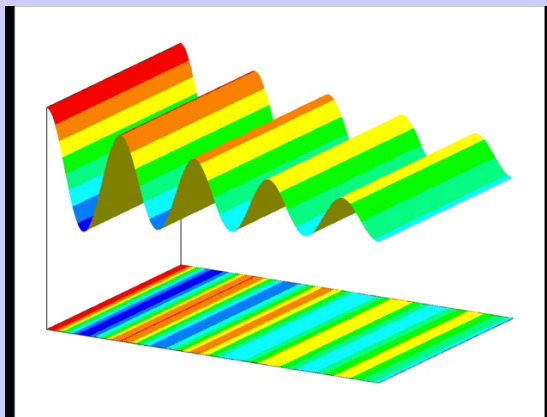
$$\text{SAR} = \sigma_{\text{eff}} \frac{E_{\text{rms}}^2}{\rho} \quad (\text{W/kg})$$

- Observamos que el SAR varía directamente con σ_{eff} . Cuanto mayor sea la frecuencia, mayor σ_{eff} . En cualquier caso el campo se atenuará, la energía será absorbida por los tejidos.



4.5 Absorción de la radiación EM: SAR

Radio signals

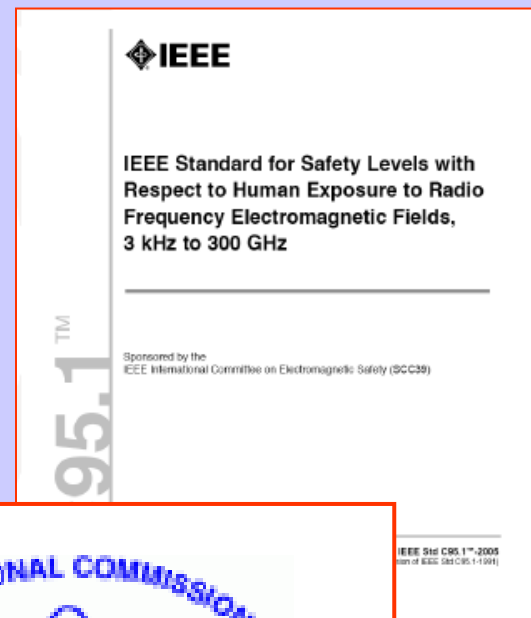


La absorción produce calentamiento

NO deben producirse incrementos de temperature de más de 1° C
(persona en reposo)

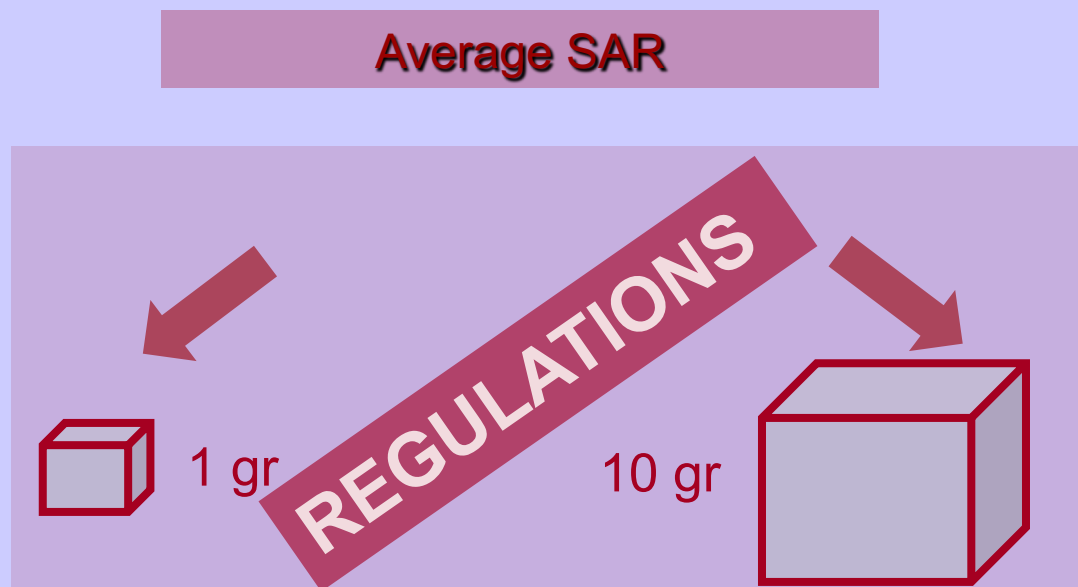
4.5 Absorción de la radiación EM: SAR

- En consecuencia aparecen regulaciones y entidades reguladoras que limitan los niveles de exposición a los campos EM.
- Las principales organizaciones son:
 - Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
 - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP, Europa)
 - Federal Communications Commission (FCC, USA)



4.5 Absorción de la radiación EM: SAR

- Atención: Las agencias reguladoras nos indicaran los niveles de SAR y también de campo EM (ya que el SAR es una magnitud difícil de medir).
- Cuando se refieren al SAR, no se refieren al SAR local sino al SAR promediado. Esto es debido a que el SAR local no tiene en cuenta los efectos termorreguladores del cuerpo humano.



4.5 Absorción de la radiación EM: SAR

- Existen 2 tipos de exposición: OCUPACIONAL y GENERAL

Ocupacional  Exposición controlada

*La persona es consciente de la exposición

*La persona está preparada, existen medidas de seguridad

*Exposiciones muy cortas en el tiempo y realizadas de manera periódica

General  Exposición no controlada

*La persona NO es consciente de la exposición

*NO existen medidas de seguridad

*Exposiciones continuas

4.5 Absorción de la radiació EM: SAR



Basic restrictions

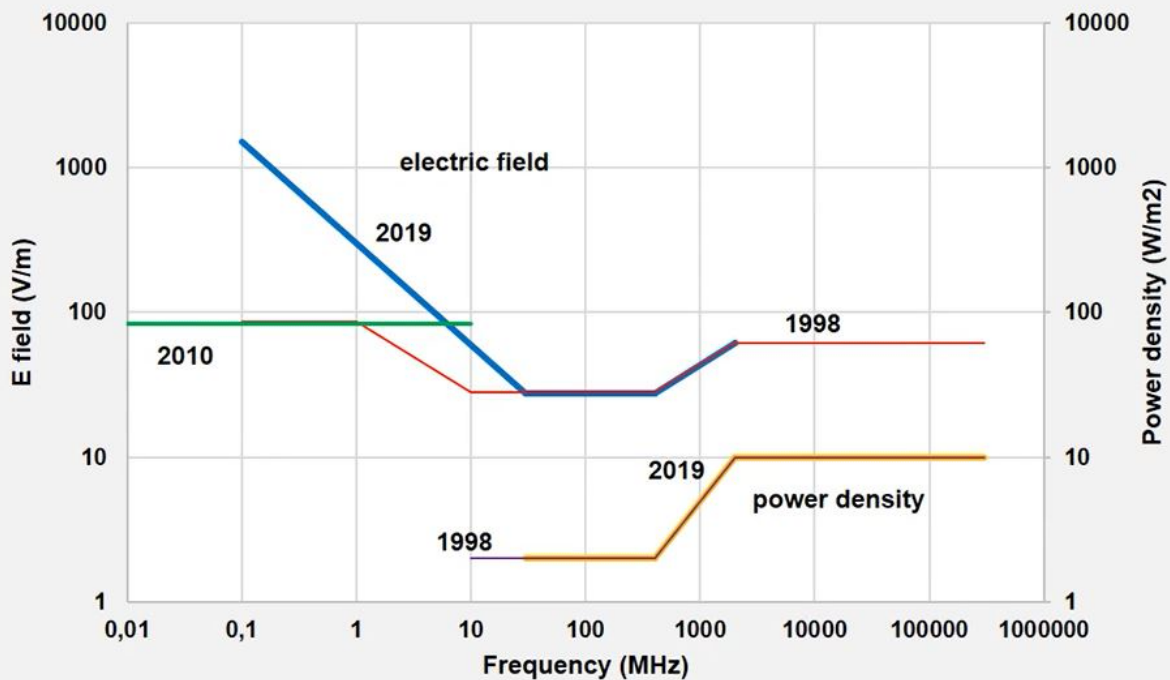
Parameter	Frequency range	ΔT	Spatial averaging	Temporal averaging	Health effect level	Reduction factor	Workers	Reduction factor	General public
Core ΔT	100 kHz-300 GHz	1°C	WBA*	30 min	4 W/kg	10	0.4 W/kg	50	0.08 W/kg
Local ΔT (Head & Torso)	100 kHz-6 GHz	2°C	10 g	6 min	20 W/kg	2	10 W/kg	10	2 W/kg
Local ΔT (Limbs)	100 kHz-6 GHz	5°C	10 g	6 min	40 W/kg	2	20 W/kg	10	4 W/kg
Local ΔT (Head & Torso, Limbs)	>6-300 GHz 30-300 GHz	5°C	4 cm ² 1 cm ²	6 min 6 min	200 W/m ² 400 W/m ²	2	100 W/m ² 200 W/m ²	10	20 W/m ² 40 W/m ²

* WBA: whole body average

4.5 Absorción de la radiación EM: SAR



Reference levels general public, whole-body ≥ 6 min



9

4.5 Absorción de la radiación EM: SAR

- Que sucede si tenemos más de una fuente emisora, ¿qué nos dicen las regulaciones?

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{6 \text{ GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>6 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{S_i}{S_L} \leq 1$$

4.5 Absorción de la radiación EM: SAR

- ¿Cómo se realizan las certificaciones de SAR?



http://www.youtube.com/watch?v=eH_awIiDRxU