

José María Yturralde. Sèrie *Eclipsi*, 2006. Acrílic sobre llenç, 41x41 cm.

UNA PREOCUPACIÓ SOCIAL

RADIACIONS NO IONITZANTS, COMUNICACIONS MÒBILS I ELS SEUS EFECTES EN LA SALUT

Mercedes Martínez Búrdalo, Agustín Martín Muñoz i Raimundo Villar Gómez

Social concern. Non-ionizing radiation, mobile communication and their effects on health.

This article focuses on human exposure to non-ionizing electromagnetic fields, including exposure to radiofrequency (RF) energies produced by communication equipment, mobile phones, base-station antennas and other sources. The authors relate some basic concepts concerning these fields and discuss how the human body responds to exposure to these types of radiation. They outline the international guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields and providing protection against the adverse health effects known so far. Symptoms and other non-confirmed effects derived from such exposure will also be discussed.

El món està canviant constantment. Cada vegada s'inventen noves i més poderoses tecnologies que estan transformant la nostra forma de vida, generalment per millorar-la. Això representa un canvi del nostre entorn mediambiental, no sempre exempt de riscos. Encara que amb el coneixement científic actual no es puguin reduir a zero, sí que és possible controlar-los mitjançant l'establiment de les mesures de precaució adequades. A vegades es critica la introducció de noves tecnologies sense haver estudiat prèviament els riscos que pogueren sorgir com a conseqüència d'usar-les. En el cas de les comunicacions mòbils no es tracta de tecnologies totalment desconegudes, de fet les radiocomunicacions van començar a utilitzar-se a inicis del segle passat amb els primers experiments sobre telegrafia sense fils d'Edward Branly l'any 1902. Després van venir la ràdio, els radars, la televisió i altres dispositius com ara el forn de microones, sense que saltaren les alarmes fins a final de segle, coincidint amb l'ús a gran escala dels sistemes i dispositius de comunicacions mòbils.

En aquest article es pretén minorar en la mesura que es puga la preocupació social existent entorn de les radiacions no ionitzants sorgida com a conseqüència de l'ús de les tecnologies esmentades. Amb aquesta intenció es descriuen succintament els principis que les re-

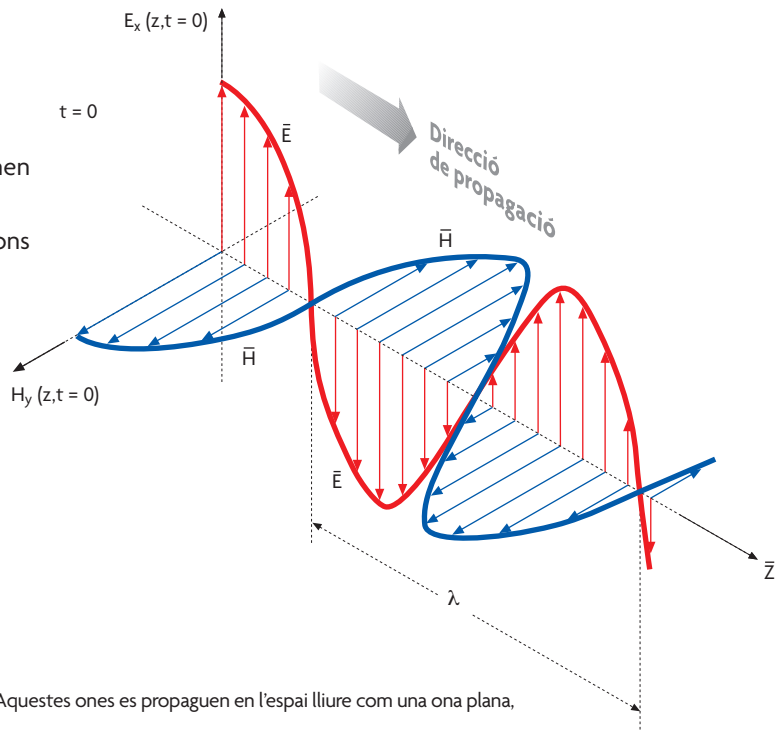
geixen i les conseqüències de la interacció que mantenen amb la matèria viva, establint les diferències amb les radiacions ionitzants. Així mateix, es fa referència a les normes que desenvolupen organismes nacionals i internacionals per evitar danys en l'ésser humà deguts als efectes biològics coneguts de les dites emissions. També es fa menció a alguns símptomes descrits per persones exposades a certes fonts d'emissió de camps electromagnètics de naturalesa no ionitzant i a altres efectes, encara que la comunitat científica en el seu conjunt no accepta que tinguin relació amb l'exposició humana als esmentats camps. No obstant això, s'accepta que es continue, amb més precisió i rigor, la investigació d'aquests possibles efectes no demostrats científicament en l'actualitat, però que continuen generant gran preocupació social.

**«LA FONT MÉS CONEGUDA
D'ENERGIA
ELECTROMAGNÈTICA
NATURAL ÉS EL SOL, SENSE
EL QUAL LA VIDA A LA
TERRA NO SERIA POSSIBLE»**

■ CAMPS ELECTROMAGNÈTICS I RADIACIONS NO IONITZANTS

La font més coneguda d'energia electromagnètica natural és el Sol, sense el qual la vida a la Terra no seria possible. Pensem simplement en la necessitat de llum i calor perquè es puga realitzar la funció clorofíl·lica de les plantes. El Sol emet radiacions en tot l'espectre electromagnètic de freqüències, des de les corresponents a les

- Els camps E (elèctric) i H (magnètic) tenen natura vectorial.
- La freqüència f és el número d'oscil·lacions per segon.
- La longitud d'ona és $\lambda = c / f$
- c = velocitat de la llum al buit



Esquema de propagació d'ones electromagnètiques. Aquestes ones es propaguen en l'espai lliure com una ona plana, a grans distàncies de les fonts.

radiacions ionitzants (raigs X, raigs γ i radiacions còsmiques), passant per les radiacions òptiques, no ionitzants, i també per les freqüències de radiocomunicacions, arribant fins a les de freqüència molt baixa com les produïdes per línies d'alta tensió i electrodomèstics. Igualment hi ha en l'ambient natural del nostre planeta radiacions procedents dels estels i d'altres cossos de l'espai exterior a la Terra.

De la mateixa manera que vivim envoltats de camps electromagnètics naturals, tenim un entorn de camps electromagnètics produïts per l'activitat humana. Així doncs, tenim com a exemples de radiacions electromagnètiques no ionitzants des de les de baixa freqüència d'electrodomèstics com ara rentadores o eixugadors de cabells fins a les d'alta freqüència de forns de microones, telèfons mòbils, antenes d'estacions base, de ràdio i televisió, dispositius WiFi, etc.

Tenint en compte que les radiacions electromagnètiques consisteixen en fotons de distinta energia, les radiacions no ionitzants inclouen tots els camps electromagnètics que no tenen energia suficient per a ionitzar la matèria, com és el cas de la llum visible, la infraroja,

**«LES RADIACIONS
NO IONITZANTS INCLOUEN
TOTS ELS CAMPS
ELECTROMAGNÈTICS QUE
NO TENEN ENERGIA
SUFICIENT PER A IONITZAR
LA MATÈRIA, COM ÉS EL CAS
DE LA LLUM VISIBLE,
LA INFRAROJA
O LA TELEFONIA MÒBIL.»**

la telefonia mòbil i les radiacions de freqüències extremadament baixes com les de les línies d'alta tensió. És a dir, l'energia dels fotons associats a les dites radiacions no és suficient per a arrancar electrons dels àtoms de les molècules que constitueixen el nostre organisme i produir ionització.

En els mitjans de comunicació sol utilitzar-se generalment el terme camp electromagnètic per referir-se a la radiació no ionitzant. Els camps elèctrics (E) i magnètics (H) poden originar-se

pel moviment de càrregues elèctriques en un material conductor, el que dóna lloc a ones electromagnètiques que es propaguen en l'espai lliure com una ona plana, a grans distàncies de les fonts. Aquestes ones porten associada una energia la transmissió de la qual constitueix la denominada radiació electromagnètica. En una determinada direcció de radiació, la potència de l'ona disminueix ràpidament segons va augmentant la distància a la font.

Els fenòmens electromagnètics van ser descrits el 1865 per James Clerk Maxwell mitjançant les seues famoses equacions. Els camps elèctrics i magnètics es comporten de manera diferent, assoleixen diferents valors

segons siguem les seues característiques de freqüència, intensitat, etc., i depenen, a més, de les propietats del medi material en què es propaguen, ja siga teixit biològic o un altre tipus de matèria, i amb el qual interaccionen.

Al quadre annex es representa la part de l'espectre electromagnètic de radiacions electromagnètiques no ionitzants de freqüències inferiors a la de la llum visible. Deixant a banda les freqüències òptiques, conegudes principalment com a radiacions òptiques, descendim als camps electromagnètics pròpiament dits. Aquests camps abracen les freqüències compreses entre 0 i 300 GHz. En aquest espectre apareixen dues regions fonamentals, una és la regió de radiofreqüències, entre 3 kHz i 300 GHz, en què s'inclouen els camps produïts per les estacions de ràdio, televisió, telefonia mòbil i altres que s'indiquen en l'esmentat quadre. Concretament, és a la zona de microones, que es mostra com una subregió de la de radiofreqüència, on s'ubiquen les comunicacions mòbils. L'altra regió del

dit espectre és la de baixes i extremadament baixes freqüències, que s'estén des dels camps estàtics de les resonàncies magnètiques fins als camps de les línies d'alta tensió i els electrodomèstics.

■ EFECTES BIOLÒGICS DE LES EMISSIONS DE LES COMUNICACIONS MÒBILS

Des que l'any 1600 William Gilbert va fer els seus experiments sobre electricitat i magnetisme fins als nostres dies ha existit un interès creixent a conèixer les propietats i aplicacions dels camps electromagnètics. Així, tenim l'experiment sobre neuroestimulació de l'italià Luigi Galvani del 1780, que descrivia aquesta propietat dels camps de baixa freqüència, i, posteriorment, els del francès d'Arsonval, que, el 1892, va fer els experiments d'escalfament controlat del cos humà en camps d'alta freqüència que constitueixen l'origen dels tractaments de diatèrmia usats en medicina. Però veritablement va ser l'any 1860 quan Maxwell va

**«EN L'EXPOSICIÓ
A EMISSIONS DE FONTS
DE RADIOFREQUÈNCIA
SITUADES LLUNY DEL COS
HUMÀ, COM OCORRE AMB
LES ANTENES D'ESTACIÓ
BASE DE TELEFONIA MÒBIL,
S'HAN DESCRIT SÍMPTOMES
COM ARA FATIGA, MAL
DE CAP O DIFICULTAT
DE CONCENTRACIÓ»**

Freqüència Longitud d'ona	Regions de l'espectre de freqüències no ionitzants inferiors al visible		Fonts productores	
300 GHz 1 mm	MICROONES	RADIOFREQUÈNCIA (R.F.)	<ul style="list-style-type: none"> • Estacions de seguiment de satèl·lits • Telecomunicacions per microones • Radar de control de trànsit aeri • Forns de microones • Pals de TV • Telefonia mòbil 	
30 GHz 1 cm				Freqüència Extra-Alta (EHF)
3GHz 1 dm				Freqüència Súper-Alta (SHF)
300 MHz 1 m				Freqüència Ultra-Alta (UHF)
30 MHz 1 Dm	CAMPS ELECTROMAGNÈTICS	RADIOFREQUÈNCIA (R.F.)	<ul style="list-style-type: none"> • Transmissors HF • Màquines de soldadura de PVC 	
3 MHz 1 km				Freqüència Molt Alta (VHF)
300 KHz 10 km				Freqüència Alta (HF)
30 KHz 100 km				Freqüència Mitja (MF)
3 KHz 1000 km				Freqüència Baixa (LF)
300 KHz 1000 km	CAMPS ELECTROMAGNÈTICS	RADIOFREQUÈNCIA (R.F.)	<ul style="list-style-type: none"> • Producció de calor per inducció • Pantalles d'ordinador • Fosa per inducció 	
30 Hz 10000 km				Freqüència Molt Baixa (VLF)
0 Hz				Freqüència de Veu (VF)
	CAMPS ELECTROMAGNÈTICS	RADIOFREQUÈNCIA (R.F.)	<ul style="list-style-type: none"> • Línies d'alta tensió 	
				Sub-ELF
	CAMPS ELECTROMAGNÈTICS	RADIOFREQUÈNCIA (R.F.)	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodomèstics • Resonàncies magnètiques 	
				Sub-ELF

L'espectre electromagnètic de les radiacions no ionitzants abraça les freqüències compreses entre 0 i 300 GHz. El quadre mostra les regions i fonts productores d'aquestes ones, entre les quals trobem aparells tan quotidians com ara forns microones o telèfons mòbils.

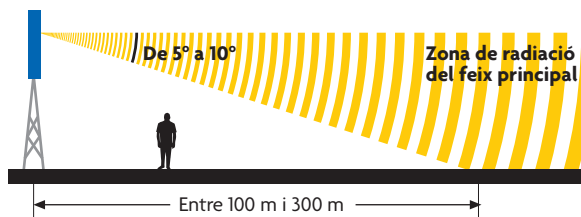
Gamma de freqüències (f)	Intensitat de camp E (V/m)	Intensitat de camp H (A/m)	Camp B (μ T)	Densitat de potència d'ona plana equivalent, S (W/m^2)
0,1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	—
1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8-25 Hz	10.000	$4.000/f$	$5.000/f$	—
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	—
1-10 MHz	$87/f/2$	$0,73/f$	$0,92/f$	—
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2.000 MHz	$1,375 f/2$	$0,0037 f/2$	$0,0046 f/2$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Els nivells de referència mostrats en aquesta taula són els que se segueixen a la Unió Europea. Són més estrictes que les restriccions bàsiques adoptades pel Consell de la UE i per tant impliquen encara més seguretat.

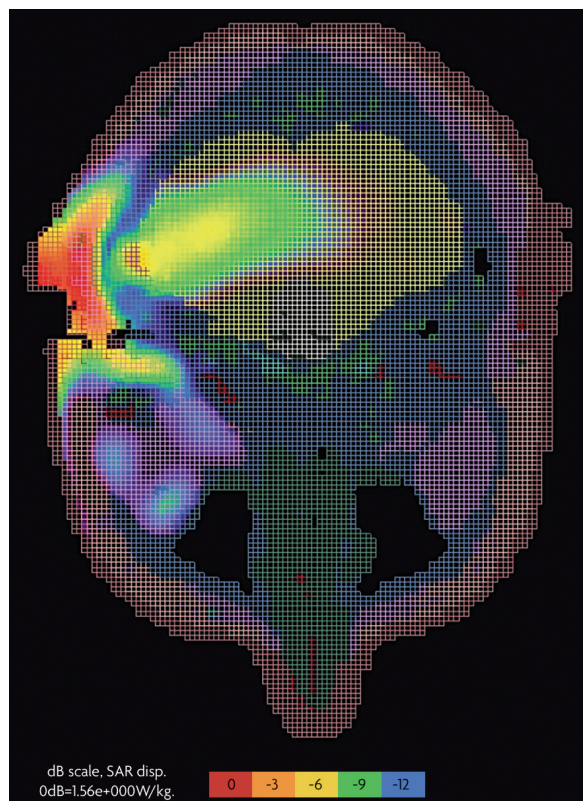
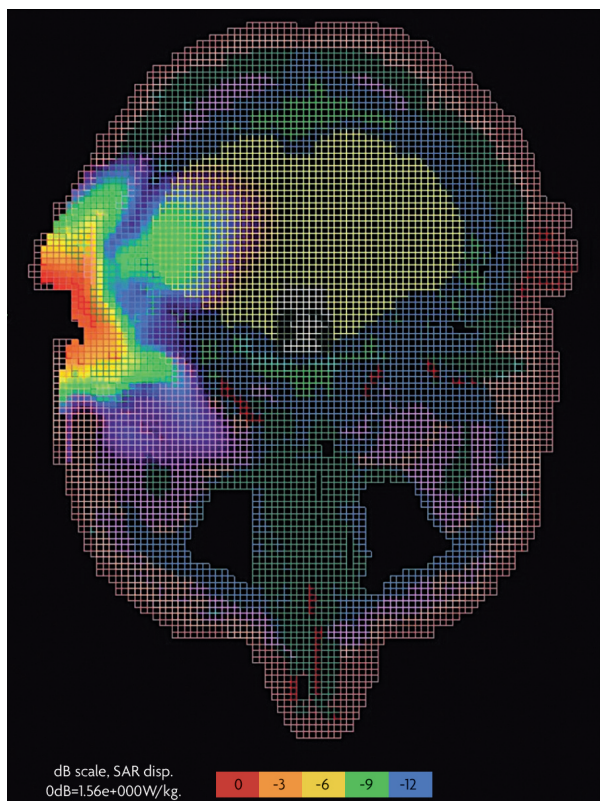
revolucionar el coneixement dels camps electromagnètics i va donar origen a un nou concepte de l'electromagnetisme que ha servit per a estudiar les aplicacions dels camps i els seus efectes. Els camps de radiofreqüències, de freqüències superiors a 100 kHz, donen lloc a una absorció d'energia cada vegada més important segons augmenta la freqüència. A freqüències inferiors a 1 MHz (antenes de radiodifusió d'AM, radiotelèfons marins, etc.), l'efecte fonamental observat en certes situacions d'exposició humana no controlades i que no són les habituals, és una estimulació de nervis i músculs produïda pels corrents induïts en l'organisme, per la qual cosa el factor limitador en aquest cas d'exposició és la densitat de corrent. No obstant això, la major part dels efectes nocius per a la salut que poden produir-se per l'exposició a camps d'entre 1 MHz i 10 GHz (antenes de radiodifusió de FM, de televisió, de telefonia mòbil, etc.), en situacions d'exposició no controlades, s'associen a respostes a processos d'escalfament induït que podrien donar lloc a un augment de la temperatura tissular o corporal superior a 2 °C. Aquest escalfament induït podria produir respostes fisiològiques com ara una disminució de la capacitat per a exercir tasques mentals i físiques si l'augment de la temperatura corporal fóra excessiu. Per damunt dels 10 GHz i fins als 300 GHz (radars, enllaços per microones, etc.), l'escalfament es produeix a la superfície corporal.

Per a evitar els esmentats efectes nocius de les radiofreqüències és necessari restringir, a fi d'evitar que se sobrepassen certs límits, la denominada taxa d'absorció específica, denominada en anglès *specific absorption rate* (SAR), paràmetre que s'obté a partir del coneixement dels camps elèctrics interns existents en les diferents parts de l'organisme humà, conseqüència de la interacció dels teixits amb el camp d'exposició. No

«LA PREOCUPACIÓ PER L'EXPOSICIÓ A ANTENES DE TELEFONIA MÒBIL CONTINUA SENT MOLT IMPORTANT, A PESAR QUE ELS NIVELLS MESURATS ESTAN CENTENARS DE VEGADES PER DAVALL DELS LÍMITS DE SEGURETAT»



Els individus situats prop de la base d'una antena de telefonia mòbil no pateixen pràcticament exposició al feix de radiació.



Distribucions de la taxa d'absorció específica (SAR), amitjanada a 1 gram, per als models d'adult (esquerra) i xiquet de 10 anys (dreta). En aquesta imatge es poden apreciar les diferències entre la SAR dels dos caps exposats al mateix nivell de potència de la radiació d'un telèfon mòbil, amb una freqüència de 900 MHz i una potència radiada de 250 MW, a una distància entre l'antena i el cap d'1,5 metres.

obstant això, les normes de seguretat especifiquen també valors més fàcilment mesurables que la taxa d'absorció específica, denominats nivells de referència, com ara la intensitat dels camps elèctric i magnètic externs (E i H) o la densitat de potència d'ona plana equivalent (S) al lloc d'ubicació de la persona.

A Europa, el principi de precaució establert en el Tractat de Maastricht exigia als organismes responsables accions de protecció dels ciutadans contra les radiacions no ionitzants. En aquest sentit, el Consell de la Unió Europea va adoptar la Recomanació 1999/5191/CE, relativa a l'exposició del públic a camps electromagnètics de freqüències entre 0 i 300 GHz. La dita recomanació, que limita l'exposició a les radiacions en l'esmentat marge de freqüències, es basa en les directrius que l'any 1998 va publicar la Comissió Internacional sobre Protecció contra les Radiacions no Ionitzants (ICNIRP), a partir dels efectes coneguts d'aquestes radiacions. Aquests efectes són fonamentalment tèrmics en el cas de l'emissió de radiofreqüències i d'inducció de corrents en el cas de les baixes freqüències. Es van adoptar les restriccions bàsiques amb un factor de seguretat de 50 respecte dels efectes nocius comprovats, i es

va establir com a límit de la taxa d'absorció SAR, quan es calcula localment, el valor de 2 W/kg. No obstant això, a efectes pràctics s'usen una sèrie de nivells de referència que impliquen encara més seguretat, de manera que pogueren hipotèticament no complir-se els nivells de referència i sí verificar-se les restriccions bàsiques.

No obstant això, per a poder utilitzar com a nivell de referència la densitat de potència d'ona plana equivalent és necessari que la irradiació es produeixi en les condicions denominades de camp llunyà, és a dir, que la distància a què es trobe el subjecte de la font emissora ha de ser molt major que la longitud d'ona del senyal, com ocorre en el cas de les antenes de les estacions base de telefonia mòbil. Per a situacions d'individus prop de la base d'una antena no existeix pràcticament exposició, perquè se situen fora i davall del feix de radiació principal de l'antena. No obstant això, la radiació llunyana de l'antena, rebuda a efectes pràctics en forma d'ona plana electromagnètica, en una determinada direcció disminueix amb el quadrat de la distància a l'esmentada antena.

Al contrari, si l'exposició es produeix a distàncies de la font iguals o inferiors a la longitud d'ona de les emissions, com és el cas dels telèfons mòbils, es diu que



© Miguel Lorenzo

Cal prestar especial importància a l'exposició de xiquets i adolescents a les radiofreqüències, ja que són més sensibles a elles que els adults. El mòbil és una font d'aquesta mena d'emissions.

s'està en condicions de camp pròxim i llavors és necessari determinar la taxa específica d'absorció (SAR) per a valorar l'exposició. Aquesta valoració implica la utilització de mètodes numèrics, que necessiten tenir en compte les característiques elèctriques del cos humà. En aquestes últimes condicions, la SAR depèn fonamentalment de la grandària de les zones del cos exposades i també de les característiques dels teixits i del seu entorn.

A Espanya, igual que a la majoria dels països europeus, s'ha adoptat la recomanació europea. El Decret 1066/2001 es va establir a àmbit nacional a fi de protegir les persones en l'exposició a camps electromagnètics procedents de les emissions radioelèctriques. Posteriorment es va establir en el Decret 694/2002 un factor addicional de seguretat en els nivells de decisió. En aquests decrets es dicten normes per garantir que els equips i dispositius de radiocomunicacions compleixen els límits recomanats. Tot el procés relacionat amb la norma i la posterior implantació d'aquesta ha estat avalat per un comitè d'experts. La Comissió Europea, per la seua banda i amb el seu propi comitè d'experts, s'encarrega de vigilar els avenços produïts en la investigació científica sobre camps electromagnètics

en relació amb la salut, per si fóra necessària una nova acció reguladora de l'exposició als mencionats camps. Fins al moment no ha considerat necessari canviar els límits de la Recomanació de 1999.

■ ALTRES EFECTES I SÍMPTOMES

Els efectes biològics de les radiofreqüències que no es corresponen amb els efectes tèrmics anteriorment esmentats són denominats efectes atèrmics. En els últims anys han aparegut algunes publicacions d'estudis relacionats amb la producció de tumors, conseqüència de l'exposició a emissions de radiofreqüències, a nivells inferiors als establerts en les normatives.

Pel que fa a l'exposició a emissions de fonts de radiofreqüència situades lluny del cos humà, com ocorre amb les antenes d'estació base de telefonia mòbil, s'han descrit símptomes denominats d'hipersensibilitat a les microones. Aquests símptomes consisteixen, per exemple, en fatiga, mal de cap, dificultat de concentració, etc. Aquests símptomes, encara que reals, no han pogut ser relacionats científicament amb l'exposició a radiofreqüències. Tampoc no s'ha pogut comprovar que tinguen

relació amb una font concreta d'emissions, ja que falten estudis sobre la contribució relativa de les diferents fonts d'exposició (antenes d'estacions base, telèfons mòbils, etc.), en cada individu. Altres efectes sobre els sistemes nerviosos i reproductiu, així com d'inducció de càncer, no han pogut ser demostrats fins al moment. Pel que fa a l'ús de telèfons mòbils, en què l'exposició es produeix més pròxima al cap de l'individu, segons els últims estudis, es descarta la producció de tumors cerebrals en adults. Aquestes conclusions han estat publicades recentment pel Comitè Científic sobre Riscos Emergents i d'Identificació Recent de la Comissió Europea.

Últimament ha sorgit una nova preocupació social deguda a l'exposició a unes altres noves tecnologies de radiofreqüències sense fil, com els dispositius WiFi, que s'estan implantant en col·legis i altres zones d'ús col·lectiu d'Internet. Cal assenyalar que la potència d'emissió d'aquests dispositives és menor que la dels telèfons mòbils. A més, com que l'exposició es produeix a major distància de les fonts, els camps electromagnètics són de menor intensitat i, per tant, el nivell d'exposició és menor que en el cas d'utilització de telèfons mòbils.

A Espanya, la preocupació per l'exposició d'antenes de telefonia mòbil continua sent molt important, a pesar que els nivells mesurats, publicats pel Ministeri d'Indús-

tria, estan centenars de vegades per davall dels límits de seguretat establerts en la normativa espanyola i en la recomanació europea. Els ciutadans tenen dret a informació sobre qualsevol risc relacionat amb l'exposició a les radiofreqüències de la telefonia mòbil o a qualsevol altre tipus de camp electromagnètic produït per les tecnologies actuals o futures. És necessari contribuir, des de la responsabilitat que a cada ens li corresponga, a millorar l'acceptació social de les noves tecnologies, que tenen com a objectiu fonamental millorar la nostra qualitat de vida, tenint present que el risc zero no existeix.

En el moment actual, totes les recomanacions d'experts apunten que és necessari que continuen les investigacions sobre exposició a les radiofreqüències, tenint en compte la contribució parcial de les diferents fonts de freqüència al nivell total d'exposició del cos humà. També s'aconsella parlar especial atenció a l'exposició de xiquets i adolescents, més sensibles

a aquestes emissions, sobretot tenint en compte que no es disposa d'estudis epidemiològics concrets per a aquests casos i que l'ús dels telèfons mòbils en aquest sector de la població és cada vegada major. ☺

Mercedes Martínez Búrdalo, Agustín Martín Muñoz i Raimundo Villar Gómez. Departament de Radiació Electromagnètica. Instituto de Física Aplicada (IFA), CSIC. Madrid.

«ELS CIUTADANS TENEN DRET A INFORMACIÓ SOBRE QUALSEVOL RISC RELACIONAT AMB QUALSEVOL TIPUS DE CAMP ELECTROMAGNÈTIC PRODUÏT PER LES TECNOLOGIES ACTUALS O FUTURES»

SUBSCRIU-TE A L'AVENÇ



LA REVISTA QUE CAL LLEGIR

Fes ara la teva comanda per:

Telèfon **902 302 312**

Fax **93 265 44 16**

Internet **www.lavenc.cat**

en format digital **www.quiosc.cat**