



**Control de los riesgos de las RNI
(en particular los teléfonos celulares
y las antenas de transmisión)**

RODOLFO E. TOUZET

Comité Ejecutivo del IRPA

Comisión Nacional de Energía Atómica

Se deben diferenciar tres situaciones muy diferentes:

- ❑ *Los cambios físicos producidos en la materia viva por la interacción con un CEM.*
- ❑ *Los efectos biológicos que implican algún cambio fisiológico medible o perceptible en una función vital que cumple una célula, órgano o tejido.*
- ❑ *Los efectos perjudiciales para la salud que ocasionan un daño al individuo porque superan su capacidad de regulación, reparación o compensación y pueden originar un proceso patológico.*

(existen asimismo efectos beneficiosos para la salud)

Fenómenos físicos: inducción de corrientes eléctricas

El CEM puede producir la inducción de corrientes eléctricas modificando la intensidad o el sentido de las transmisiones neuronales.

Por esta razón se recomienda limitar la densidad de las corrientes inducidas a un valor no mayor a 10 mA/m².

Esta limitación determina a que en un nervio de una sección de 1 mm²

no pueda inducirse una corriente mayor a 1 nA.

Efectos Biológicos conocidos

- *Aumento de temperatura (mecanismo de los dipolos)*

Fenómenos “no térmicos”

- *Reacción fotoquímica (UV)*
- *Cambio en la orientación estérica*
- *Inducción de una corriente*
- *Cambio de permeabilidad en la membrana celular (Ca, K)*
- *Cambio de velocidad de una reacción biológica*

Los efectos derivan de dos mecanismos básicos:

- 1) La producción y orientación de cargas eléctricas**
- 2) La inducción de corrientes eléctricas**

Fenómenos físicos: Calentamiento

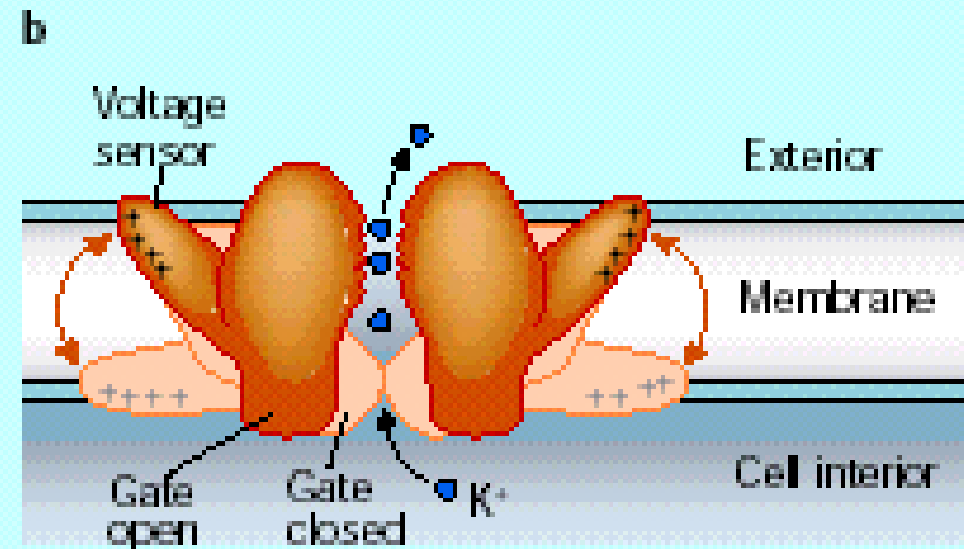
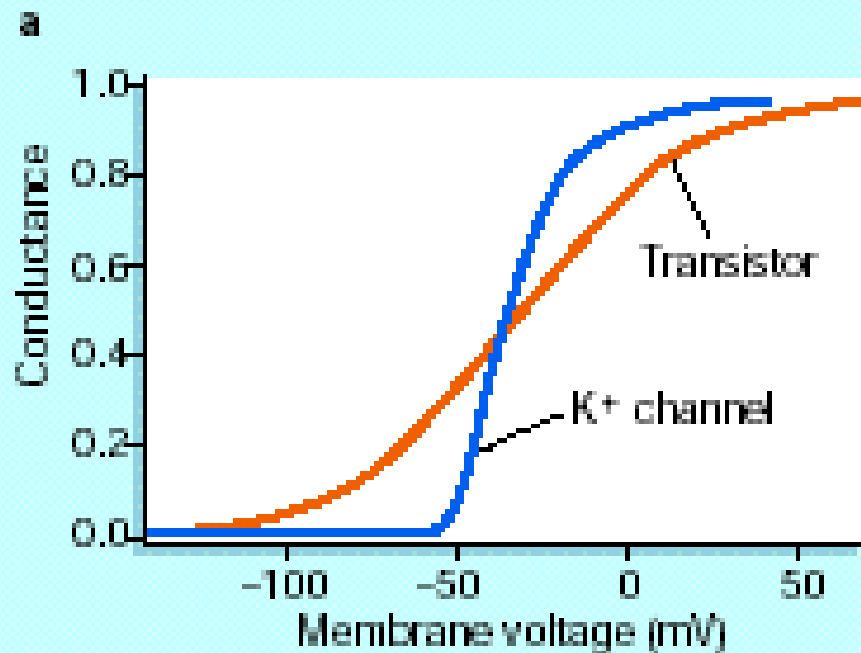
Algunas moléculas (por ejemplo de agua) que forman parte de los tejidos tienen cargas eléctricas distribuidas de tal forma que se comportan como pequeños imanes, llamados “dipolos”, que se orientan de acuerdo al sentido del campo magnético, de la misma manera que se orienta la aguja de una brújula..!

Si el campo magnético es variable, los “dipolos” se mueven al ritmo de los cambios en ese campo magnético.

Ese movimiento continuo representa energía calórica y determina que aumente la temperatura. Este mecanismo, en el que “las moléculas bailan al ritmo de la frecuencia de la radiación”, es el mismo fenómeno que aprovechamos para calentar una tira de asado o un pocillo de café en un horno de microondas.

LOS CANALES DE IONES DE LA MEMBRANA CELULAR ACTUAN COMO TRANSISTORES CONTROLADOS POR EL VOLTAGE

(Fred Sigworth - Nature Julio 2003)



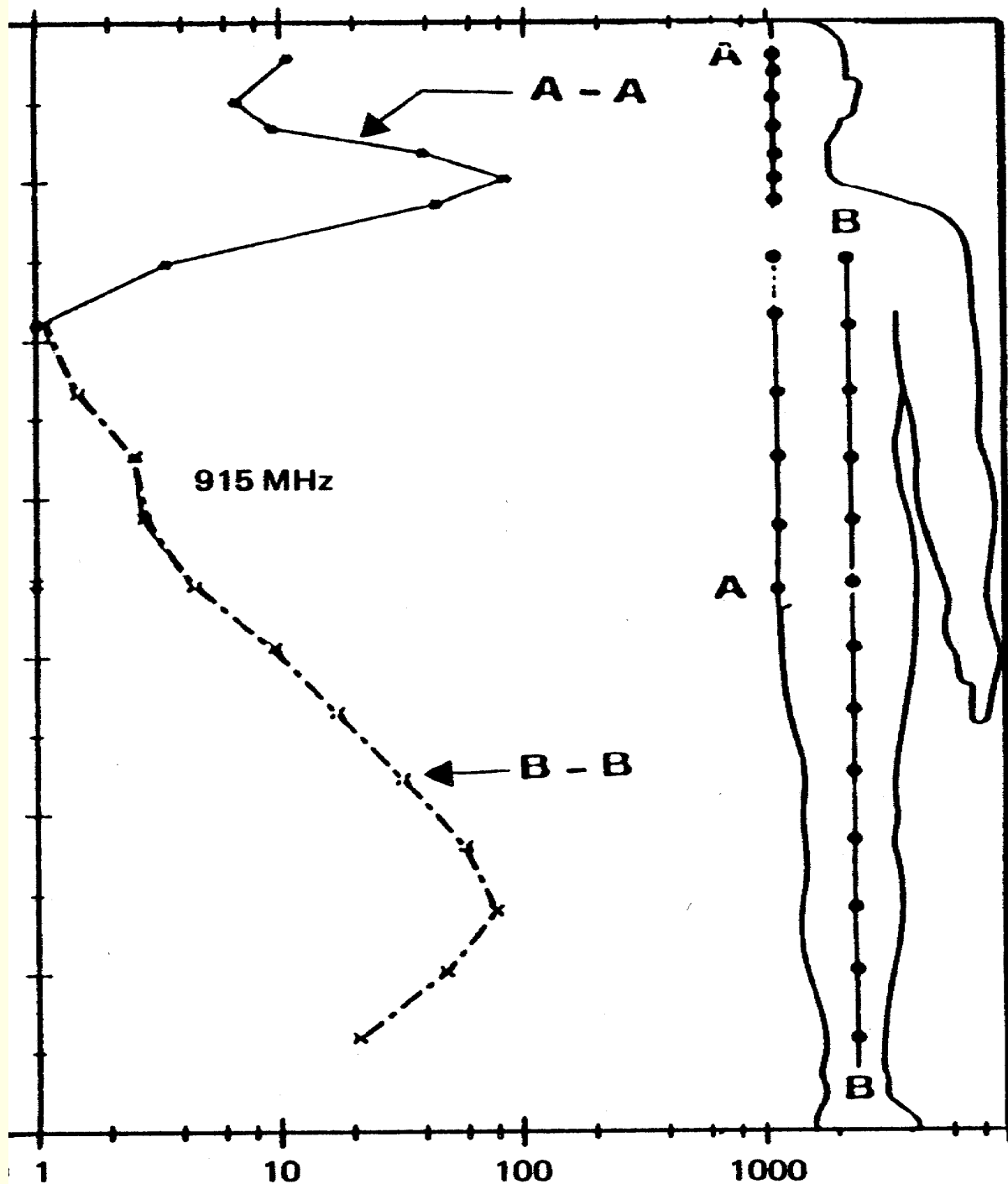
Y EL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PUEDE MODIFICAR EL VOLTAGE...!

DISTRIBUCION AXIAL
DE DOSIS RECIBIDAS
POR LA PARTE MEDIA
DE DIFERENTES ZONAS
DEL CUERPO HUMANO
SOMETIDO A UN
CAMPO DE RAD. ELECT.

Frecuencia de 915 MHz

DOSIS / INT. CAMPO

Unidades de la absisa
mW/kg / mW/cm²



Los procesos en que participa el ión Ca^{++}

El pasaje de Ca por la membrana se observa en todos los procesos importantes: mitogénesis, desarrollo de la célula y la cicatrización.

*Con Ca- 45 se puede ver su pasaje a través de la membrana **in vivo**..*

Cuando un antígeno toca la superficie de un linfocito, se genera una señal que es enviada al interior de la célula, y la respuesta inmediata es la apertura del canal para dejar entrar el Ca al interior de la célula.

Esto precede a una avalancha de reacciones bioquímicas que conducen a la respuesta inmune y la proliferación de linfocitos.

En las células activadas por un mitógeno, el Ca pasa dos veces más rápido que en las no activadas y la velocidad varía con el CEM.

El transporte de Ca es aumentado o inhibido de acuerdo a la intensidad del CEM inducido, pero la respuesta no es lineal.

La activación de la célula es crítica para la respuesta al CEM y si una persona tiene activado su Sistema Inmune debiera ser más sensible..

Consecuencias del calentamiento por radiación

El aumento de la temperatura es un fenómeno muy estudiado.

El organismo está acostumbrado a disipar el calor de la actividad muscular y las reacciones químicas. Cuando el calentamiento es leve, el sistema de termoregulación tiene la capacidad para mantener constante la temperatura; pero, si el aumento de temperatura es muy brusco, localizado y prolongado ($>1^{\circ}\text{C}$), el organismo no es capaz de compensarlo y puede haber sensaciones de malestar semejantes al cansancio que se siente después de un gran esfuerzo y zumbido en la cabeza (por estimulación de la membrana coclear)

Para evitar trastornos agudos, se limita la tasa de energía absorbida por los tejidos, estableciendo un límite para la Densidad de Potencia

Ej: para 1 Ghz $0,2 \text{ mWatt/cm}^2$ en lugares accesibles.

(valor 20 veces inferior al que provoca efectos)

Pero, no basta con tener en cuenta y prevenir los efectos debidos a una alta exposición, se deben considerar también los posibles efectos debidos a una exposición prolongada a las bajas dosis de radiación...

Tipos de efectos (determinísticos y estocásticos)

- ***En los efectos determinísticos la magnitud del efecto es proporcional a la magnitud de la exposición, y se puede definir un umbral por debajo del cual no se observan efectos.
(Ejemplo elevación de t° no controlada y radiodermatitis)***
- ***En el proceso estocástico la exposición determina la “probabilidad de ocurrencia de un efecto biológico” pero no su magnitud ni su severidad.
(Ejemplo inducción de cancer)***

Cancerogénesis

- ***Período de inducción***
- ***Período de latencia***
- ***Período de promoción***

Las RNI no tienen la energía necesaria para romper ligaduras ni para dañar el ADN

El mecanismo enzimático que se desarrolla para la reparación del ADN

Genotoxicidad indirecta

- *Sin embargo, en varios trabajos sobre linfocitos sanguíneos, expuestos a radiación de 800 MHz (Donner E.M.; Tice R, Garaj-Vrhovac y otros) se ha detectado un aumento muy significativo del porcentaje de células binucleadas y micronúcleos, lo que implica una evidencia clara de daño genético.*
- *También se han publicado trabajos que muestran daños en el ADN como ser la aparición de micronúcleos o moléculas de DNA fragmentadas (ensayo cometa).*
- *Una hipótesis, es que la radiación electromagnética puede afectar la capacidad y eficacia del proceso de reparación del ADN*
- *La perturbación del proceso de reparación es un mecanismo genotóxico indirecto.*

Cuál es el estado actual del conocimiento?

Proyecto REFLEX:

- *La exposición a campos electromagnéticos (CEM) con relación a la salud es un tema polémico... Hasta la fecha, los estudios epidemiológicos y en animales han generado datos contradictorios y de esta manera, incertidumbre sobre los posibles efectos nocivos para la salud.*
- *Esta situación ha provocado controversias en varias comunidades de todo el mundo debido a la omnipresencia de los CEM en todos lados.*
- *Nunca puede ser considerada como probada la relación de causalidad entre la exposición a los CEM y la enfermedad sin el conocimiento y la comprensión de los mecanismos básicos posiblemente desencadenados por los CEM.*

Proyecto REFLEX (sic)

- *Para buscar los mecanismos básicos, en el proyecto REFLEX se han empleado poderosas tecnologías desarrolladas en toxicología y biología molecular para investigar respuestas celulares y subcelulares de las células vivas expuestas a campos electromagnéticos in Vitro.*
- *Estudiaron a través de investigaciones focalizadas posibles efectos de los CEM sobre eventos celulares que controlan funciones clave, incluyendo aquellos involucrados en la carcinogénesis y en la patogénesis de enfermedades neurodegenerativas.*

Proyecto REFLEX (sic)

- *Los puntos fuertes del Proyecto REFLEX se basan en primer lugar en la adopción de una plataforma tecnológica común para las exposiciones a los EBF-CEM y RF-CEM que permiten la replicación de resultados positivos entre los socios que colaboran.*
- *En segundo lugar, en la adopción de las tecnologías post-genómicas (micro-grupos ADN y proteómica), que permiten examinar simultáneamente un gran número de posibles efectos celulares sin perjuicio de los mecanismos. aquellos involucrados en la carcinogénesis y en la patogénesis de enfermedades neurodegenerativas.*

Resultados del Proyecto REFLEX (sic)

- *Los datos obtenidos en el curso del proyecto REFLEX mostraron que los EBF-CEM tenían efectos genotóxicos sobre cultivos de células primarias de fibroblastos humanos y sobre otras líneas celulares.*
- *Estos resultados fueron obtenidos en dos laboratorios y confirmada en otros dos laboratorios fuera del proyecto REFLEX, mientras que tales efectos no pudieron ser observados en un nuevo laboratorio.*
- *Los EBF-CEM generaron roturas de la cadena de ADN en un nivel significativo para una densidad de flujo tan baja como $35 \mu T$.*
- *Hubo una fuerte correlación positiva entre la intensidad y la duración de la exposición a los EBF-CEM y el aumento de roturas en cadenas simples y dobles de ADN y en las frecuencias de micro núcleos.*
- *Sorprendentemente, este efecto genotóxico se observó solamente cuando las células fueron expuestas a EBF-CEM intermitentes, pero no a una exposición continua.*

Resultados del Proyecto REFLEX (sic)

- *La capacidad de respuesta de fibroblastos a los EBF-CEM aumentaba con la edad del donante y en presencia de defectos genéticos específicos de reparación.*
- *El efecto también difería entre los otros tipos de células examinadas. En particular, los linfocitos provenientes de donantes adultos no responden. También se observaron aberraciones cromosómicas, después de la exposición de fibroblastos humanos a los EBF-CEM.*
- *Los datos indican claramente un potencial clastogénico de los campos electromagnéticos intermitentes, que pueden dar lugar a considerable daño cromosómico sobre las células en proceso de división.*

Resultados del Proyecto REFLEX (RF)

- *Con respecto a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF), los datos mostraron que los RF-CEM produjeron efectos genotóxicos en fibroblastos, células granulosa y células HL60.*
- *Las células respondieron a una exposición a RF dentro de niveles SAR entre 0,3 y 2 W / kg con un aumento significativo en roturas simples y dobles de cadenas de ADN y en la frecuencia de micro núcleos.*
- *Se observaron aberraciones cromosómicas en fibroblastos después de la exposición a los RF-CEM.*
- *Los RF-CEM en un SAR de 1,5 W / kg regularon hacia abajo la expresión de genes neuronales en células precursoras neuronales y desreglaron la expresión de los primeros genes en células madre embrionarias p53 – deficientes, pero no en células originales.*
- *Los análisis proteómicos humanos sobre líneas de células endoteliales mostraron que la exposición a RF cambiaba la expresión y la fosforilación de muchas proteínas, en gran parte no identificadas.*

Resultados del Proyecto REFLEX (EBF y RF)

- Para los EBF-CEM y RF-CEM, los resultados de los análisis de la totalidad del genoma cDNA micro-matriz y proteómicos indicaron que los campos electromagnéticos pueden activar varios grupos de genes que desempeñan un papel en la división celular, la proliferación de las células y la diferenciación celular.
- Los análisis de la expresión de los genes presentados hacen que sea muy probable que los RF-CEM y EBF-CEM puedan cambiar la expresión de genes en las células humanas.
- A pesar de que los estudios in Vitro no permiten sacar conclusiones sobre cualquier riesgo para la salud, los resultados son un importante requisito previo para experimentos adicionales con el fin de dilucidar los cambios moleculares finos en una célula, causados por los CEM.

Resultados del Proyecto REFLEX (EBF y RF)

- Tomados en conjunto, los resultados del proyecto REFLEX fueron obtenidos exclusivamente con los estudios *in Vitro* y por lo tanto, *no son adecuados para llegar a la conclusión de que la exposición a RF- CEM por debajo de los límites de seguridad actualmente vigentes provoque un riesgo para la salud de las personas.*
- Sin embargo, acerca más esa hipótesis al rango de lo posible...!
- Además, ya no existe más ninguna justificación para sostener, que no tenemos conocimiento de los mecanismos fisiopatológicos que podrían ser la base del desarrollo de alteraciones funcionales y de cualquier tipo de enfermedades crónicas en animales y en el hombre. .

Resultados del Proyecto REFLEX (EBF y RF)

Por otra parte, los datos del Proyecto REFLEX proporcionan nueva información que se utilizará, así lo esperamos, para la evaluación del riesgo por parte de la OMS, IARC y el ICNIRP.

Otro objetivo deseable debería ser la extensión de las investigaciones REFLEX a adecuados modelos animales y en estudios a realizarse en voluntarios humanos.

Bases científicas para establecer Criterios de Radioprotección

- a) Los estudios en seres humanos son obviamente los más relevantes pero existen limitaciones para efectuar irradiaciones cuyo riesgo es desconocido.*
- b) Los Experimentos con animales son valiosos porque involucran un organismo completo con sistemas de defensa y mitigación, aunque pueden ser distintos...*
- c) Estudios in-vitro: complementan los estudios in vivo para dilucidar mecanismos de interacción a nivel molecular, o celular y para determinar el "MODELO"*

Problemática de la experimentación

- ❑ *Es más probable que se publiquen datos cuando los resultados muestran efectos sobre la salud.*
- ❑ *Muchos investigadores consideran que cuando los resultados no dan evidencia de ningún efecto sobre la salud la información puede ser considerada trivial.*
- ❑ *Esto determina una posibilidad de parcialidad.*
- ❑ *En efectos determinísticos la relación causa / efecto puede ser fácilmente establecida y las relaciones cuantitativas pueden ser rápidamente determinadas.*
- ❑ *En cambio los efectos estocásticos, cuando los riesgos son pequeños y la incidencia natural es alta requieren estudios epidemiológicos extensos en poblaciones de un gran número de individuos....*

Criterios Básicos de experimentación

- *Relevancia científica y calidad de los métodos*
- *Algunos trabajos deben ser excluidos.*
- *Utilizar técnicas de “doble ciego”*
- *Condiciones ambientales controladas en forma permanente.*
- *La población homogénea de igual “sensibilidad” o dividir*
- *(el caso de adultos y niños)*
- *Grupos de estudio con peso estadístico adecuado.*
- *La exposición debe ser caracterizada en forma precisa siempre*
- *“protocolos de medición”*
- *Determinar cuales son los factores de confusión*
- *Poblaciones “blanco” o grupos de control realmente comparables*
- *Lo óptimo: Investigadores independientes trabajando en lugares diferentes con grupos de estudio y metodologías distintas.*
- *Toda la información (epidem., animal, in vitro) debe ser combinada.*

algunos problemas

- *la mayoría de los estudios se hacen en tiempos más cortos, con irradiación algo más intensa y en escala de laboratorio. La extrapolación de los resultados a la situación real es, naturalmente, objeto de muchísimas controversias.*
- *Se debe asegurar que la única diferencia entre el grupo blanco y el grupo de estudio es solamente el uso de un teléfono celular...*
- *Los participantes deben tener exactamente los mismos hábitos y costumbres y esto a veces es intrínsecamente imposible, pues pertenecen a grupos sociales distintos.*
- *En el hombre la frecuencia de resonancia está entre los 30 y 40 MHz y en los animales más pequeños la frecuencia de resonancia es naturalmente más alta pues corresponde a longitudes de onda mas pequeñas..! (300 MHz para el mono y 2500 MHz para un raton. La extrapolación es por lo tanto complicada.*

Dosimetría Interna

- *El desconocimiento del mecanismo de interacción dificulta la dosimetría y el establecimiento de la relación causa-efecto.*
- *Si no conocemos la estructura biológica-blanco de la radiación no podemos establecer cual es la magnitud física relevante.*
- *Un mismo campo electromagnético determina diferentes elementos reciban diferentes dosis.*
- *Si irradiamos un animal los diferentes órganos (piel, cerebro, huesos) van a absorber diferentes cantidades de energía.*
- *y si movemos al animal y le cambiamos su orientación en el campo las dosis van a variar (magnitudes vectoriales)*
- *Si el blanco es una estructura biológica (Ej: membrana celular) la evaluación es más compleja pues la intensidad del campo EM dentro del animal no se puede determinar con precisión y por lo tanto no podemos estimar con precisión la dosis...!*

Procesos de reparación y sistemas de defensa

- *El organismo dispone de diferentes procesos de reparación y protección que pueden eliminar o mitigar substancialmente cualquier efecto de la exposición a un agente externo nocivo.*
- *Tales procesos pueden ocurrir a nivel molecular, celular, orgánico, o pueden involucrar al organismo entero.*
- *Por esta razón la extrapolación al hombre de los efectos biológicos observado en los experimentos realizados con animales o in vitro deben tener en cuenta esta situación.*

Política nacional aconsejable

- Autoridad conjunta o control unificado***
- El Principio de Precaución***
- El principio ALARA***
- El derecho de información***
- Protección de los individuos más sensibles***
- Conservación y mejora de las alternativas menos contaminantes***
- Evaluación de nuevas tecnologías***
- Garantizar la investigación***
- Prever la formación de recursos humanos***
- Marco regulatorio y normativo***

Criterios de Protección contra las RNI

El objetivo de toda filosofía de protección es determinar primeramente la relación causa-efecto con el fin de establecer límites de exposición al agente dañino para limitar sus efectos a valores aceptables.

*Los límites establecidos tiene como **único objetivo evitar los efectos determinísticos** aunque las condiciones de exposición sean las más desfavorables.*

Como no se pueden determinar relaciones causa/efecto para efectos estocásticos se aplica el “principio de precaución” que incluye los criterios de justificabilidad y optimización aplicados en protección radiológica de las RI.

Niveles de Referencia

El “Manual de Seguridad para la Exposición a las Radiaciones Electromagnéticas” aprobado por el Ministerio de Salud Pública de la Nación (Res. 202/95) establece para para el rango de frecuencias de 400MHz a 2000 MHz (frecuencia de celulares), la densidad de potencia no debe superar $f / 2000$ mWatt / cm², en ningún lugar accesible para el público.

Equivale a 0,2 mWatt / cm² para 400MHz

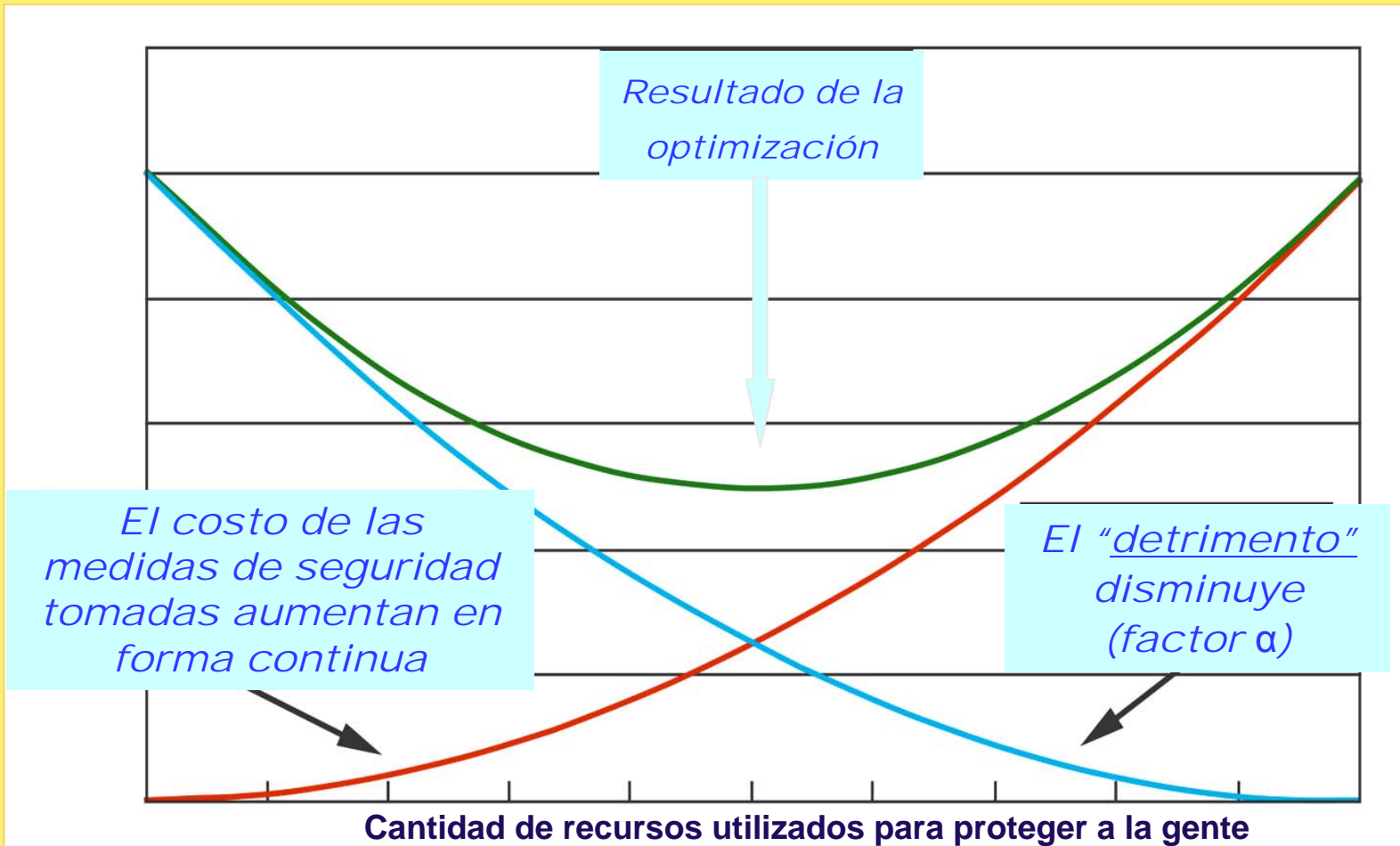
Este valor límite es 20 o 30 veces más bajo que el valor mínimo asociado con algún efecto conocido.

Los valores utilizados en otras países son muy variables dependiendo del factor de seguridad utilizado

Principio de Precaución

- ◆ La exposición se justifica cuando los beneficios son importantes...
 - ◆ Se deben tener en cuenta la magnitud de los beneficios que proporcionan las RNI a nivel económico y social para la sociedad en que vivimos.
 - ◆ No se aceptan los riesgos aunque aun no estén cuantificados si los beneficios no son evidentes.
-
- ◆ De todas formas es complejo hacer una evaluación costo-beneficio cuando no todos los riesgos están debidamente cuantificados y debemos hacer una estimación subjetiva.
 - ◆ ¿Como fundamentamos que el beneficio es más importante que ese riesgo aun desconocido?

Proceso típico de optimización



Para mejorar la Radioprotección se deben utilizar mayores recursos para mejorar las medidas de seguridad utilizadas..!!!

Considerando los valores establecidos por el IARC que determinan que la exposición de una población a campos de baja frecuencia superiores a $0.4 \mu\text{T}$ ocasionan una duplicación de la frecuencia de leucemia infantil.

Utilizando los valores aplicados a la vida humana en los cálculos de optimización para radiaciones ionizantes resulta que:

Factor α para EBF-CEM = $100 \text{ U\$S} / \mu\text{T. vida hombre}$

Factor que puede ser utilizado para comparar diferentes alternativas de protección o disminución de la intensidad de los CEM independientemente de su valor absoluto

celulares y antenas

- ◆ **Las antenas que sirven de base al sistema de comunicación emiten radiación de mayor potencia (10 a 100 Watt) en forma continua. Un teléfono inalámbrico, en cambio, emite radiación de muy baja potencia (0,2 a 0,5 Watt) y en forma discontinua**
- ◆ **Sin embargo la exposición a la radiación es mucho mayor en un usuario de un celular que la de una persona que vive en las cercanías de una antena de transmisión**

La dosis decrece con el cuadrado de la distancia, las antenas son fuertemente anisotrópicas y hay blindajes

De todas formas se debe puntualizar que los usuarios de celulares “eligen” voluntariamente exponerse a una fuente a cambio de recibir el beneficio del servicio... y Ellos pueden decidir cual es la magnitud de la exposición a la que estarán expuestos.

En cambio los pobladores vecinos expuestos a un CEM generados por una antena, no están en condiciones de decidir cual es la exposición que van a recibir... y por otra parte no reciben “necesariamente” los beneficios del servicio que se presta a otros.

De todas formas es muy posible que en el futuro los usuarios y pobladores sean los mismos.....!!

Debido a esta situación muchas veces la evaluación indica que es más conveniente aumentar la densidad de la red celular disminuyendo la potencia individual de cada radio-base que aumentar la potencia de los celulares...

Ocurre que cuando la señal es baja el celular aumenta su potencia de emisión con el considerable aumento de la dosis que recibe la cabeza y por otra parte al aumentar la conectividad por densidad de red se puede bajar la potencia de las antenas disminuyendo las dosis individual y colectiva de los vecinos afectados.

O sea que se baja la dosis de los portadores de celulares y las dosis colectivas de la población



Gracias..!
rtouzet@cnea.gov.ar