

Problemas sanitarios de los contaminantes físicos

Obdulia MORENO ABRIL y Miguel ESPIGARES GARCÍA

Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Universidad de Granada. Facultad de Farmacia. Campus Universitario de Cartuja. 18071 Granada. España. Correo-e: omoreno@ugr.es

CONCEPTO DE CONTAMINACION FÍSICA

Se define como contaminación física las alteraciones del ecosistema producidas por la energía en sus distintas formas. Por ello, también se le conoce como *contaminación energética*.

Para comprender la contaminación física del ambiente hay que tener en cuenta dos consideraciones importantes:

1. Ninguna transformación de la energía es eficaz en el 100 % por lo que existen pérdidas de energía de baja calidad, que es contaminante.

2. Muchos de los procesos tecnológicos utilizados por el hombre no están suficientemente desarrollados, por lo que presentan grandes pérdidas energéticas y un escaso control.

Desde un punto de vista sanitario, como todo fenómeno de contaminación, afectará al hombre en un doble sentido:

a) Efecto directo: a través del daño que la contaminación física ejerce directamente sobre la salud de los individuos. Se podrá observar un efecto a corto plazo, cuando el grado de contaminación sea importante, o un efecto a medio y largo plazo, que desde un punto de vista epidemiológico respondería a una acumulación de riesgos.

b) Efecto indirecto: ya que, de acuerdo con el concepto ecológico de salud, cualquier alteración que la contaminación ejerza sobre el medio ambiente redundará negativamente en la salud del hombre.

Si hemos hablado de contaminación energética, sus diversos tipos derivarán de las distintas clases de energía con presencia en el ecosistema (Tabla 1).

CONTAMINACION POR ENERGÍA RADIANTE

De acuerdo con su naturaleza, las radiaciones se pueden agrupar en dos clases: electromagnéticas y corpusculares.

En las radiaciones electromagnéticas se trata de una propagación ondulatoria de energía eléctrica y

magnética, por lo que todas tienen la misma velocidad en el vacío ($c=300.000$ km/seg), caracterizándose por la longitud de onda y frecuencia.

Por el contrario, la radiación corpuscular es debida a la propagación de partículas (núcleos de helio, electrones, protones, neutrones, etc.), habitualmente dotados de gran velocidad, aunque siempre inferior a

Tabla 1. Contaminación energética. Principales agentes causales y efectos directos sobre el hombre.

Agentes causales	Efectos directos sobre el hombre
Radiaciones	
Electromagnéticas	
Radiofrecuencias	Lesiones hísticas
Radiación infrarroja	
Radiación visible	Cáncer cutáneo, quemaduras
Rayos ultravioletas	
Rayos X	Cáncer, alteraciones genéticas
Rayos gamma	
Corpusculares	
Alfa y beta	Cáncer, alteraciones genéticas
Neutrónicas	
Energía vibratoria	
Ruido y vibraciones	Molestias, alteraciones psíquicas, insomnio
Ultrasonidos	Lesiones hísticas
Contaminación térmica	Efectos sobre la termorregulación deshidratación
Energía eléctrica	Riesgos eléctrico
Energía interna de las moléculas	Quemaduras, traumatismos (sustancias inflamables y explosivas)
Energía potencial y cinética	Traumatismos, muerte accidentes, heridas

la de las radiaciones electromagnéticas.

Pero desde un punto de vista biológico, interesan más los efectos de las radiaciones que su naturaleza. Así, las radiaciones se consideran de dos tipos:

- Radiaciones ionizantes.
- Radiaciones no ionizantes.

Radiaciones corpusculares	Partículas que las constituyen
Alfa	Núcleos de helio (con 2 protones y 2 neutrones)
Beta	Electrones
Neutrónicas	Neutrones
Radiación cósmica	80% protones, 20% heliones

Las radiaciones de alta energía abandonan en los tejidos parte de ésta, separando electrones de los átomos sobre los que inciden y transformándolos en iones. Este mecanismo de ionización de las moléculas en el protoplasma celular altera los procesos bioquímicos, dando lugar a distintos procesos patológicos.

Las radiaciones de baja energía no son capaces de ionizar los átomos, por lo que el efecto biológico es menor, actuando más bien a través del efecto térmico y mecánico en los tejidos.

RADIACIONES IONIZANTES

Entre las radiaciones ionizantes más importantes pueden citarse las radiaciones alfa, beta, gamma, rayos X y rayos cósmicos.

La *radiación alfa* es una radiación corpuscular constituida por partículas alfa, que son núcleos de helio, es decir, partículas de masa atómica 4, formadas por dos protones y 2 neutrones, y por consiguiente por 2 cargas positivas. La radiación alfa es producida por los elementos radiactivos a gran velocidad (algo inferior a 20.000 km/seg) y posee una gran energía, aunque tiene poca capacidad de penetración, ya que es detenida por una hoja de papel o una lámina de aluminio de 0.1 mm de espesor. Por tanto, no suelen constituir un riesgo por vía externa, aunque sí por ingestión.

La *radiación beta*, también de naturaleza corpuscular, está constituida por electrones emitidos por las sustancias radiactivas, a velocidades próximas a la luz. Tienen, por tanto, carga negativa. La energía de las partículas beta es menor que la de las partículas alfa, pero tienen mayor capacidad de penetración, siendo absorbidas por una placa de aluminio de 5 mm de espesor o una de plomo de 1 mm. Esta radiación implica un riesgo de irradiación externa e interna.

La *radiación gamma* es de naturaleza electromagnética teniendo una longitud de onda entre 10^{-5} y 10^{-3} . Es también producida por materiales radiactivos y, debido a su pequeña longitud de onda, tienen un gran poder de penetración, siendo capaces de atravesar el cuerpo humano y las materias de poca densidad, así como láminas de acero de hasta 10 cm. Sin embargo, puede ser fuertemente atenuada por espesores de

plomo de 12 mm. Frente a su alto poder de penetración, posee menor capacidad de ionización que las radiaciones alfa y beta.

Los *rayos X* son radiaciones electromagnéticas de corta longitud de onda, aunque mayor que en la radiación gamma, oscilando entre 10^{-3} y 10 nm. Tienen gran capacidad de penetración, por lo que se utilizan para diagnóstico. Su poder ionizante es débil, pero se efectúa durante un largo recorrido. Los rayos X constituyen el principal riesgo de irradiación por vía externa, produciéndose en los generadores de radiodiagnóstico, en los microscopios electrónicos, en los tubos catódicos de los televisores, etc.

Los *rayos cósmicos* son radiaciones del espacio exterior que consisten en mezclas de componentes corpusculares y electromagnéticos. Según su mayor o menor capacidad de penetración se clasifican en duros y blandos. La intensidad de los rayos cósmicos es baja en la biosfera, y junto a la radiación ionizante de las sustancias radiactivas naturales que se encuentran en el suelo y aguas, dan lugar a lo que se conoce como *radiación de fondo*.

Radiaciones ionizantes	Naturaleza	Capacidad de penetración	Capacidad de ionización
Alfa	Corpuscular	+	+++
Beta	Corpuscular	++	++
Gamma	Electromagnética	+++	+
Rayos X	Electromagnética	+++	+

DETECCIÓN Y MEDICIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

La medida de las radiaciones ionizantes comprende tres aspectos fundamentales:

Dosis de actividad

Generalmente, la cantidad de radiactividad se mide en curios. Un curio (*Ci*) corresponde a 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo. Dado que es una unidad muy grande, se utilizan otras más pequeñas como el milicurio ($mCi = 10^{-3} Ci$), microcurio ($\mu Ci = 10^{-6} Ci$) y el nanocurio ($nCi = 10^{-9} Ci$).

En el Sistema Internacional, la unidad es el Becquerel (*Bq*), que corresponde 1 desintegración por segundo. Esta unidad presenta la ventaja de ser mucho más pequeña que el curio, por lo que la Comisión Internacional para las Unidades Radiológicas ha decidido reemplazar éste por el Becquerel ($1 Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq$).

Dosis de exposición

Para los rayos X y gamma, la unidad es el Roentgen (*R*), que expresa la cantidad de radiación en términos de la ionización producida en el aire y representa una energía absorbida de 87 ergios por gramo de aire.

Dosis de absorción

Para las medidas de radiación de acuerdo con los efectos biológicos se utiliza habitualmente el *rad*, que equivale a 100 ergios de energía liberada por gramo de tejido o sustancia irradiada.

Esta unidad se ha reemplazado en el Sistema Internacional por el *Gray (Gy)*, equivalente a un julio de energía liberada por kilogramo. Como 1 Gy es igual a 100 rads, se utiliza frecuentemente el cGy que equivale a 1 rad.

A igualdad de dosis adsorbida, los efectos biológicos dependerán del tipo y de la intensidad de la radiación. Para estimar este riesgo, se utiliza la *dosis equivalente*, que resulta de multiplicar la dosis absorbida por un factor de ponderación de la radiación, el cual es proporcional al poder de ionización de cada radiación y, en consecuencia, al daño biológico que puede ocasionar.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica estableció los valores de estos factores: para los rayos gamma, rayos X y partículas beta (baja capacidad de ionización), es de 1, mientras que para las partículas alfa (alta capacidad ionizante) es de 20.

La unidad antigua es el *rem*. Una dosis de radiación expresada en rems es el producto de la misma dosis expresada en rads por la radiación equivalente. Así, por ejemplo, si un individuo recibe 10 rads de radiación alfa, como la dosis equivalente para ésta es 20, tendremos $10 \text{ rads} \times 20 = 200 \text{ rems}$.

La unidad de dosis equivalente en el Sistema Internacional es el *Sievert (Sv)*, con la siguiente equivalencia: $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$. Ciertos tejidos u órganos son más vulnerables y por ello se define la *dosis efectiva* como la dosis equivalente en función de la sensibilidad de cada órgano o tejido. En la práctica, las dosis de radiación suelen expresarse en milisievert (mSv), o microsievert (μSv).

Además, deberemos tener en cuenta la *intensidad de la dosis de radiación*, que expresa la cantidad recibida por unidad de tiempo. No es lo mismo recibir 1 mrem/hora (24 mrem/día) que recibir 1 mrem/día.

Para la detección y medida de las radiaciones ionizantes se utilizan distintos procedimientos: contador de Geiger-Muller, contadores de centelleo, cámaras de ionización, filmes fotográficos dosimétricos, etc.

FUENTES DE RADIACIÓN Y VÍAS DE INCORPORACIÓN AL ORGANISMO HUMANO

Fuentes naturales

Representan el 87 % de la exposición del hombre a las radiaciones.

Los rayos cósmicos son causantes de casi el 50 % de la exposición del hombre a la radiación natural externa. Estos irradian la tierra directamente e interactúan con la atmósfera, produciendo variaciones y materiales radiactivos adicionales.

La radiación interna es, por término medio, dos tercios de la dosis equivalente efectiva recibida por el hombre de fuentes naturales, procede de sustancias

radiactivas que se encuentran en el aire que respira, los alimentos que consume y el agua que bebe. El cuerpo humano contiene normalmente alrededor de 10000 Bq de radionucleidos naturales (^{40}K , ^{14}C y ^{226}Ra). Una pequeña parte proviene por radiación cósmica del carbono-14 y tritio (^3H). La mayoría procede de fuentes terrestres: potasio-40, uranio-238 y el torio-232.

En cuanto a la radiación terrestre, los principales materiales radiactivos presentes en los minerales son el potasio-40, el rubidio-87, y dos series de elementos radiactivos procedentes de la desintegración del uranio-238 y del torio-232, dos radionucleidos de larga vida que han existido en la Tierra desde su origen. Se encuentran en rocas y suelo, y en la mayoría de los materiales de construcción. La dosis media en España es de 0,49 mSv, pero puede aumentar hasta 1 mSv por año en áreas uraníferas.

La mitad de la dosis anual recibida por el hombre de la totalidad de fuentes naturales, es debida al radón-222 y sus productos de desintegración. Es un gas invisible, insípido e inodoro, siete veces y media más pesado que el aire, que procede de la desintegración del uranio-238 en el suelo. Estudios en mineros de uranio expuestos a altas dosis de este gas demostraron su relación con el cáncer de pulmón. Se estima que el radón y los productos obtenidos de su desintegración, representan el 50-70 % de la radiación natural para el hombre. Debido a sus características alcanza en las viviendas concentraciones mayores que en el ambiente exterior. El aislamiento térmico agrava la situación, al hacer más difícil la salida del gas. Los materiales de construcción más comunes, madera, ladrillos, y hormigón, desprenden relativamente poco radón. El granito es mucho más radiactivo, como también la piedra pómez. Un gran riesgo ofrece la inhalación de la radiactividad emitida por el agua rica en radón, especialmente en el baño. Sin embargo, el cáncer de pulmón no se produce por la exposición directa al radón. Este se desintegra originando una serie de compuestos de corta vida, que son particulados y quedan retenidos en las vías respiratorias tras su inhalación. Estos son los responsables, en función de la dosis de radiación, del riesgo de cáncer de pulmón.

La radiación procedente de los alimentos y bebidas se debe, principalmente al potasio-40, presente en la mayoría de los alimentos. Éste constituye la principal fuente de irradiación interna, aunque hay otros elementos como el plomo-210 y el polonio-210, que se concentran en el pescado y el marisco. Los niveles de potasio-40 varían con la masa muscular. Así los hombres jóvenes presentan dos veces más cantidad de este elemento que las mujeres de más edad.

Existen otras fuentes de radiaciones ionizantes: el carbón contiene trazas de radionucleidos primarios, por lo que su combustión produce la liberación al medio ambiente de estos elementos, además de concentrarse en las cenizas las sustancias radiactivas. La mayoría de los yacimientos de fosfatos en explotación, contienen altas concentraciones de uranio. La

extracción y transformación del mineral produce la liberación del radón, al tiempo que los fertilizantes obtenidos son radiactivos y contaminan los alimentos.

Fuentes artificiales

Durante las últimas décadas el hombre ha creado artificialmente varios cientos de radionucleidos. Todos ellos aumentan la radiación recibida tanto por el individuo como por la humanidad en su conjunto.

Las fuentes médicas son las más importantes fuentes de exposición del hombre a la radiación

Principales causas de exposición a las radiaciones (distribución porcentual considerando globalmente irradiación y contaminación).	
Radiación natural: 87 %	
Radon	47 %
Torio	4 %
Alimentación	12 %
Radiación gamma	14 %
Rayos cósmicos	10 %
Radiación artificial: 13 %	
Medicina	12 %
Nuclear	1 %
Descargas	0.1 %
Laboral	0.2 %
Accidentes	0.4 %
Varios	0.4 %

artificial. Se utilizan tanto para diagnóstico como para tratamiento. Puede decirse, en principio, que la radiación médica es beneficiosa, aunque al parecer las personas reciben a menudo dosis innecesariamente elevadas que pueden ser reducidas considerablemente sin pérdida de eficacia.

Las explosiones nucleares originan precipitación radiactiva procedente de la utilización de las armas nucleares. Contiene varios cientos de radionucleidos diferentes, pero tan sólo 4 contribuyen en más del 1 % a la dosis comprometida equivalente efectiva de la población mundial. Estos son, en orden decreciente de importancia, el carbono-14, cesio-137, circonio-95 y estroncio-90.

La producción de energía nuclear es, sin duda, la más controvertida de las fuentes artificiales de radiación, aunque su contribución real a la exposición del hombre sea muy reducida. El funcionamiento normal de las instalaciones nucleares emite muy poca radiación al medio ambiente, aunque constituyen un gran riesgo en casos de accidente.

Existen otras fuentes de radiación, tales como algunos artículos de consumo. Así, por ejemplo, relojes luminosos de pulsera y pared, detectores de humo, el torio en lentes de contacto, televisores en color, pantallas de ordenador, etc., que son en mayor o menor grado, una fuente de radiaciones ionizantes.

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Al considerar los efectos biológicos, hemos de establecer los conceptos de:

Irradiación o emisión externa: cuando la fuente de radiación es exterior al organismo.

Contaminación o emisión interna: cuando la fuente de radiación es interna, por ingestión de sustancias radiactivas.

La emisión interna es más peligrosa que la externa, ya que internamente podrán actuar las radiaciones de poco poder de penetración y gran poder de ionización. En general, los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes se pueden esquematizar de la siguiente forma:

1. Efectos sobre el hombre:

a) *Efecto directo*: El efecto directo sobre el hombre será debido a la exposición a la radiación natural y sobre todo será consecuencia del riesgo de irradiación profesional en la industria atómica, por la utilización de radioelementos en medicina, biología, industria, etc. y, finalmente, por el empleo de rayos X. Las manifestaciones patológicas resultantes de una radioexposición son de dos tipos:

Efectos a corto plazo: Son efectos somáticos, que únicamente implican al individuo radio expuesto y reciben el nombre de efectos *no estocásticos*. Estos efectos se pueden producir por radio exposición externa global o por radio exposición externa localizada.

Radioexposición externa global: los efectos dependen de la dosis de irradiación recibida. Cuando la dosis es de 50 Gy, 100% de letalidad; entre 50 y 10 Gy 90-100% de letalidad. En individuos menos gravemente expuestos, se producen hemorragias, gingivitis, estomatitis, alopecia, hipertermia, hipotensión, taquicardia, íleo paralítico y, a veces, lesiones cutáneas graves con destrucción hasta de la dermis. En la irradiación crónica las manifestaciones clínicas que pueden presentarse son malestar general, postración, fatiga y mareos; en la piel, atrofia, ulceraciones y tendencia a neoformaciones malignas; en los huesos, necrosis óseas, fracturas espontáneas y tumores (osteosarcomas); en los ojos, blefaritis, conjuntivitis, queratitis y cataratas; en los pulmones, a veces cáncer pulmonar; en la sangre, leucopenia y anemias de tipo hipercrómico de pronóstico grave, etc.

Radioexposición externa localizada: las manifestaciones patológicas varían según la región expuesta. Las lesiones del revestimiento cutáneo son las más frecuentes, estando precedidas de un eritema precoz y apareciendo en las horas que siguen a la

exposición y desapareciendo después. En función de la importancia de las dosis absorbidas, se observan diversas manifestaciones patológicas. Así, caída del cabello (dosis de 4 Gy), radiodermatitis eritematosa y exudativa (dosis de 16 a 20 Gy), lesiones oculares (a partir de un umbral de 2 Gy), lesiones en las gónadas (los testículos y los ovarios están entre los órganos más radiosensibles; la esterilidad aparece a partir de 0,3 Gy y puede hacerse definitiva más allá de los 5 Gy; en la mujer, la esterilidad aparece inmediatamente por destrucción de los ovocitos);

Efectos sobre el desarrollo embrionario: la radioexposición tiene un efecto nocivo sobre el desarrollo del feto, cuya gravedad se explica por el hecho de que los tejidos que componen el embrión solo tienen un número limitado de células, de suerte que la muerte de algunas células puede dar lugar a daños irreparables. La radio sensibilidad presenta un máximo entre la tercera y la cuarta semana de gestación y después decrece enseguida hasta la décima semana. Una exposición, incluso baja (0.1 Gy), durante este período, puede ser origen de malformaciones congénitas.

Efectos a largo plazo: Se distinguen dos tipos:

Somáticos, que interesan al individuo expuesto. Provocan cáncer.

Genéticos, que conciernen a su descendencia. Los efectos somáticos se producen para valores muy variados de dosis absorbidas. Pueden aparecer al cabo de meses o de años después de la radioexposición. Son muy diversos y afectan prácticamente a todos los órganos del cuerpo. Las manifestaciones patológicas consideradas habitualmente como efectos tardíos son: disminución de la duración de la vida, carcinogénesis y formación de cataratas.

- b) *Efecto indirecto:* originado fundamentalmente por fenómenos de bioconcentración, siendo en este caso causado por emisión interna.

2. Efectos sobre el medio ambiente: redundarán de forma indirecta sobre la salud, es decir, a través del efecto indirecto de las radiaciones ionizantes. El efecto indirecto sobre el hombre será debido a la presencia en el medio de isótopos radiactivos, que al integrarse en las cadenas alimentarias, serán ingeridos por el hombre, produciendo una emisión interna.

Desde un punto de vista de la sanidad ambiental, podemos dividir los isótopos radiactivos en tres grupos:

1. Radioisótopos que se encuentran en el medio natural y que contribuyen a la radiación de fondo, como por ejemplo, uranio-235 (vida media = 7×10^8 años; radiación alfa y gamma), radio-225 (vida media =

1620 años; radiación alfa y gamma), potasio-40 (vida media = 1.3×10^9 años; radiación beta y gamma), etc.

2. Radioisótopos de elementos metabólicamente importantes: son utilizados como trazadores, por ejemplo, carbono-14 (vida media = 5568 años; radiación beta), yodo-131 (vida media = 8 días; radiación beta y gamma), fósforo-32 (vida media = 14,5 días; radiación beta), etc., y producen radiación interna.

3. Radioisótopos que se producen en procesos de fisión y llegan al medio ambiente a través de la lluvia atómica o la eliminación de desechos radiactivos. Entre éstos tienen especial importancia el estroncio-90 (vida media = 28 años; radiación beta), el cesio-137 (vida media = 33 años; radiación beta y gamma) y el yodo-131 (vida media = 8 días; radiación beta y gamma).

El estroncio-90 se comporta como el calcio, de tal forma que se integra en el tejido óseo, entrando por tanto, en estrecho contacto con el tejido hematopoyético.

El cesio-137 se comporta como el potasio, siendo retenido por las células, al igual que ocurre con el yodo-131, que será almacenado en la glándula tiroides.

Es cierto que, en el medio ambiente, la concentración de estos radionucleidos no es hoy en día muy grande, pero se han demostrado fenómenos de bioconcentración. Por ejemplo, las aves acuáticas tienen 250 veces la concentración de cesio-137 en los músculos y 500 veces la de estroncio-90 en los huesos, frente a la concentración de estos nucleidos en el agua. En estudios realizados se han determinado de 1-5 pCi de estroncio-90 en tejido óseo humano, habiéndose sugerido que estos niveles incidirán en el riesgo de producción de cáncer.

MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA LAS RADIACIONES IONIZANTES

El efecto directo sobre el hombre será fundamentalmente consecuencia de riesgos profesionales o accidentes nucleares, por lo que la prevención se basará fundamentalmente en las medidas de protección contra la irradiación externa, que se pueden esquematizar en las siguientes:

1. Alejamiento de la fuente.
2. Reducción del tiempo de exposición.
3. Empleo de pantallas protectoras.
4. Indumentaria de protección personal.
5. Señalización.

Todos estos aspectos se contemplan en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, aprobado en el Real Decreto 783/2001, y en él se establecen los límites anuales de dosis efectiva.

Para trabajadores expuestos: será de 100 mSv durante un período de cinco años consecutivos, con una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.

Límite de dosis equivalente para el cristalino: 150 mSv por año.

Límite de dosis equivalente para la piel: 500 mSv por año. Dicho límite se aplicará a la dosis promedia sobre cualquier superficie de 1 cm², con independencia de la dosis expuesta.

Límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos: 500 mSv por año.

Protección especial para mujeres embarazadas la dosis equivalente para el feto será tan baja, que no exceda 1 mSv, al menos desde la comunicación del embarazo hasta el final.

Límite para personas en formación y estudiantes:

Personas en formación y estudiantes mayores de 18 años igual que en los anteriores.

Personas en formación entre 16 y 18 años: 6 mSv por año.

Límite de dosis equivalente para el cristalino: 50 mSv por año.

Límite de dosis equivalente para la piel: 150 mSv por año. Dicho límite se aplicará a la dosis promedia sobre cualquier superficie de 1 cm², con independencia de la dosis expuesta.

Límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos: 150 mSv por año.

RADIACIONES NO IONIZANTES

Aunque la gama de radiaciones no ionizantes es muy amplia, podemos citar la *radiación ultravioleta* (UV) como la más importante.

Dentro del espectro de *radiación ultravioleta* se pueden distinguir tres regiones cuyos efectos biológicos difieren unos de otros: UV-A, cuya longitud de onda va de 315-400 nm, llamada también radiación ultravioleta larga o próxima; UV-B de 315 a 280 nm, y de 280 a 100 nm el UVC, llamada también ultravioleta lejana o radiación germicida.

Las fuentes de radiación UV serían naturales o artificiales. La radiación solar representa la fuente natural, si bien la intensidad decrece rápidamente por absorción en la capa de ozono estratosférica. Como fuentes artificiales podemos citar los arcos de descarga en medios gaseosos (lámparas de arco de vapor de mercurio), lámparas fluorescentes, arcos de electrodos de carbón, lámparas halógenas de cuarzo, soldadura oxiacetilénica, oxhídrica, etc.

En cuanto a los efectos, la absorción de radiación ultravioleta por moléculas da lugar a una modificación de la configuración electrónica, produciéndose un estado inestable. La capacidad de absorción dependerá de la naturaleza de las moléculas, siendo las más absorbentes las denominadas grupos cromóforos, los dobles enlaces de los compuestos orgánicos insaturados, anillos bencénicos, porfirinas, carotenos, purinas y

pirimidinas de los ácidos nucleicos, los aminoácidos tirosina y triptófano, los enlaces peptídicos, etc. En este nivel molecular tienen especial importancia las lesiones en el ADN y el efecto más importante es la formación de dímeros de timina, impidiéndose la síntesis correcta del ARNm y la replicación exacta del ADN.

Sobre el hombre, varios son los efectos que producen las radiaciones UV. Sobre la piel, el eritema se origina habitualmente como consecuencia de exposiciones al sol, dependiendo de la dosis recibida y de la longitud de onda de la radiación. El efecto máximo se produce a 254 nm (UVC) a las 12 horas, con un pico secundario a las 48 horas para radiaciones de 297 nm (UVB). Otro efecto de la radiación UV sobre el hombre es la aparición de *cáncer de piel*. El grado de daño dependerá de la intensidad, longitud de onda, poder de penetración y sensibilidad de la persona. Las UVA son las que más penetran, seguidas por las UVB y por último las UVC que se absorben en la epidermis. La piel se defiende de las radiaciones UV aumentando la pigmentación e incrementando la proliferación celular de la capa más superficial.

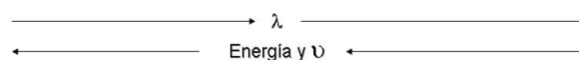
El principal efecto agudo provocado por las radiaciones UV es el eritema que puede tener diferente gravedad. El máximo efecto es producido por las radiaciones UVC; las radiaciones UVB son las más eritematosas; el aumento de la pigmentación es sobre todo debido a las radiaciones UVA: tras la exposición al sol la melanina migra hacia las células más superficiales de la piel. La radiación UV son catalizadores de una reacción productora de la melanina.

Las radiaciones UVB producen un incremento del grosor de la epidermis, lo que no ocurre con los rayos UVA, con lo cual el bronceado por lámparas de rayos UVA no protege frente a futuras exposiciones a radiaciones UV solares.

Los efectos más comunes a largo plazo son sequedad, manchas decoloradas, sobre todo

Tipos de radiaciones electromagnéticas

Radiaciones ionizantes			Radiaciones no ionizantes					
			Radiaciones ópticas			Campos electromagnéticos		
Rayos cósmicos	Ry	Rx	UV	Infrarrojo	Visible	Micro ondas	RF	Inferiores a RF



provocadas por rayos UVA. Las pecas, el lentigo (lunares) y el nevo son más frecuentes sobre todo en personas de piel blanca; estos últimos se asocian a un mayor riesgo de melanoma. La queratosis solar es una lesión precancerosa que se presenta sobre todo en personas expuestas a altos niveles de radiación solar; la queratosis solar aumenta el riesgo de piel no melanocítica.

El cáncer es el efecto crónico más grave, en el mundo se diagnostican 2 millones de cánceres no melanomas y 200.000 melanomas cada año, la disminución del ozono cada vez está empeorando más este hecho. Hay una serie de factores epidemiológicos que influyen como:

a) Es más frecuente la localización en zonas expuestas de la piel (cabeza, cuello, manos y, en las mujeres, piernas). El 90 % de los carcinomas basocelulares y el 50 % de los carcinomas espinocelulares se localizan en la cabeza y el cuello.

b) La incidencia es elevada en individuos de piel clara cuya actividad se desarrolla al aire libre, y es menos frecuente en razas de color oscuro.

c) Un factor de riesgo muy importante es la insuficiente aptitud en la reparación del ADN lesionado por las radiaciones UV, tal como ocurre en los individuos afectados de xeroderma pigmentoso.

Las radiaciones UV producen sobre el ojo queratitis y conjuntivitis, que son las primeras manifestaciones agudas tras una exposición intensa al sol o a fuentes artificiales, sobre todo arcos de soldadura. Los efectos a largo plazo: pterigion, cataratas, epitelomas malignos de la conjuntiva (no están tan probados que sean debidos al sol o a fuentes artificiales como los efectos agudos. Según la OMS el 20% de las cataratas producidas son debidas a la radiación UV. La radiación atraviesa la retina en muy poca proporción pero esta mínima cantidad puede causar serios daños.

También parece estar estudiado que la radiación ultravioleta induce un cierto grado de inmunosupresión; (frecuencia de herpes labial). Los fenómenos de fototoxicidad y fotoalergia, debido a la formación de nuevas sustancias con el concurso de la energía que aportan las radiaciones UV, aunque clínicamente se muestran como eritemas o erupciones. La exposición podría incrementar el riesgo de infecciones y disminuir la eficacia de las vacunas.

Las *frecuencias radiofónicas* y *microondas* son enormemente utilizadas por el hombre. Así, por ejemplo, en los hornos de microondas se utilizan longitudes de onda de 10-100 cm; en la radio AM, de 10000-100000 cm y en la radio de onda corta, de 1000-10000 cm.

El efecto primario de estas radiaciones no ionizantes será la liberación de *energía térmica* produciendo calentamiento. Con este fin se utilizan en medicina para tratamientos de diatermia. Pero, a parte del calentamiento general que pueden producir en todo el cuerpo, los órganos críticos son los ojos, produciéndose cataratas, y los testículos, originándose

esterilidad. Las microondas en el cristalino producen un aumento de permeabilidad, coagulación de proteínas e inhibición de la multiplicación de las células epiteliales. Estudios epidemiológicos sobre profesionales de sistemas de radar de alta potencia han confirmado el riesgo de padecer cataratas.

Se habla también de un efecto no térmico, debido a que se produce un campo eléctrico que daría lugar a cargas inducidas en el material absorbente, relacionándose con alteraciones del desarrollo embrionario, actividad de las proteínas, modificaciones genéticas, alteraciones del sistema nervioso y cardiovascular, etc., aunque no se poseen en la actualidad datos suficientes para confirmarlo.

CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Son las ondas electromagnéticas de baja frecuencia. Ocurren en la naturaleza y siempre han estado presentes en la tierra. Sin embargo en los últimos años han aumentado en gran medida las fuentes de CEM.

Según la OMS se pueden clasificar en:

- *Campos estáticos* (0 Hz): Corriente continua, resonancia magnética en medicina.
- *CEM de frecuencias extremadamente bajas* (0-300 Hz): Líneas de alta tensión, electrodomésticos, pantallas de visualización de datos.
- *RF* (300 Hz-300 GHz): Telefonía móvil, estaciones base, instalaciones de radio y televisión, radares y hornos microondas.

En Mayo de 1996 la OMS evaluó el riesgo de la exposición a CEM, no confirmando la existencia de efectos graves aunque existen numerosas lagunas, siendo necesario la existencia de estudios posteriores.

Campos estáticos

Sobre los sistemas biológicos suelen inducir cargas y corrientes eléctricas; no penetran en el organismo pero se perciben a través del vello cutáneo. Si estos campos son muy intensos pueden alterar el riego sanguíneo y modificar o estimular los músculos e impulsos nerviosos normales, no obstante en la vida diaria estas inducciones magnéticas tan fuertes no ocurren.

CEM de frecuencias extremadamente bajas (ELF)

La exposición a estos CEM se debe sobre todo a ciertas particularidades de los cables que conectan las viviendas a la línea de distribución eléctrica, se observaron casos de leucemia y cáncer cerebral en niños que habitaban cerca de una línea eléctrica. Estos casos no ocurrieron en adultos. En 1996 este hecho y la relación con el cáncer quedó escasamente probado.

CEM de radiofrecuencias

Se incluyen en este apartado a las microondas y radiofrecuencias, pues ambas causan efectos similares, tanto térmicos como no térmicos.

Los efectos biológicos dependen de la frecuencia de la radiación (a menor frecuencia mayor profundidad) y de la intensidad de la potencia, medida en vatios/m².

Los campos de radiofrecuencias procedentes del sol tienen frecuencias muy bajas. Aproximadamente el 1% de la población de grandes ciudades recibe radiofrecuencias superiores a 10 W/m².

El problema y la gran preocupación surge como consecuencia de los teléfonos móviles (190 millones) y las estaciones de base. Sin embargo de acuerdo con las mediciones realizadas en todo el mundo, emiten valores muy pequeños, del orden de la milésima de los límites máximos de exposición permitidos.

Para los teléfonos móviles se determina la *tasa de absorción específica* (SAR), que sería la cantidad de energía de RF que es absorbida por los tejidos en el cuerpo humano y se expresa en W/kg.

La cantidad de radiofrecuencia absorbida disminuye al aumentar la distancia, y el efecto primario sería liberación de energía térmica, produciendo calentamiento en todo el organismo o sobre órganos más sensibles, como el ojo (cataratas), o testículos (esterilidad).

Se han establecido los valores de SAR para los teléfonos móviles comercializados en EE.UU. y Europa (www.sarvalues.com).

CONTAMINACIÓN POR ENERGÍA VIBRATORIA

Se denomina movimiento ondulatorio el originado cuando se propaga un movimiento vibratorio en un medio elástico, produciéndose ondas que son un estado de perturbación de dicho medio, en el que las partículas repiten la vibración del foco, transmitiendo a lo largo del medio elástico la energía mecánica vibratoria. La contaminación física por energía vibratoria se producirá por los tres tipos siguientes:

1. Ruido.
2. Vibraciones.
3. Ultrasonidos.

RUIDO

Podemos definirlo sencillamente como "sonido no deseado". El oído humano excepcionalmente bueno presenta una gama de audición de 35 a 20000 Hz, aunque se considera una audición normal la limitada entre 80 y 15000 Hz.

Pero, aparte de la frecuencia, tendremos que tener en cuenta la intensidad, que es la potencia por unidad de superficie. Como no es fácil de medir directamente, lo que medimos es la presión eficaz del sonido. La presión mínima audible es de 2×10^{-4} microbares, mientras que las máximas soportables son superiores a 200 microbares. Para facilitar el manejo de un margen tan amplio de valores de presión, se ha hecho habitual la utilización de niveles de presión sonora, en lugar de

presiones sonoras. La unidad usual de nivel de presión sonora es el decibelio (dB).

La medida del ruido se realiza mediante el sonómetro, que detecta el nivel sonoro expresado en decibelios. No obstante, la sensibilidad auditiva varía con la frecuencia, por lo que en los sonómetros es necesario introducir escalas de compensación que corrijan los niveles para cada frecuencia. Normalmente se utilizan tres tipos de escala: A, B y C. La escala que se asemeja más al comportamiento humano es la escala A. En todo caso, cuando se expresa el número de decibelios medidos, se suele expresar la escala utilizada. Por ejemplo, dB(A) o bien dB(B).

Además del sonómetro, se emplea el dosímetro de ruidos, que relaciona los niveles de presión sonora con los tiempos de exposición a dichos niveles para dar un valor de la dosis de ruido.

En cuanto a los efectos, el ruido provocará en el hombre una serie de manifestaciones muy diferentes.

Efectos auditivos

Pérdida de la audición: explosiones o ruidos intensos pueden romper el tímpano o dañar las estructuras del oído medio o interno; una exposición prolongada al ruido intenso destruye las células ciliadas del oído interno dependiendo de la frecuencia y del nivel sonoro. Para determinar la pérdida de audición se realiza la audiometría mediante aparatos denominados audiómetros. Las personas sometidas a ruidos de una determinada frecuencia sufren una pérdida de audición para esa gama de frecuencias.

Dolor: el ruido puede provocar dolor auricular si se trata de una gran presión acústica. En el límite, la membrana del tímpano puede llegar a romperse. El límite del dolor se sitúa para una persona normal en 170 dB, pero cuando existe inflamación, baja hasta los 80-90 dB.

Efectos no auditivos

Interferencia con la comunicación: el ruido puede interferir en la conversación, el uso del teléfono, etc. A nivel profesional, repercute en la eficacia del trabajo, además de que puede provocar que no sean oídas señales acústicas de alarma, gritos, etc.

Sueño: se ve perturbado por la exposición al ruido. En estudios realizados con individuos expuestos al ruido, los encefalogramas muestran alteraciones frente a los normales. Los individuos jóvenes suelen ser menos propensos a las alteraciones del sueño que las personas de mayor edad, siendo las mujeres de mediana edad las más sensibles.

Efectos inespecíficos: producción de estrés, aumento de la presión arterial, sobresaltos ante ruidos intensos, efectos sobre el equilibrio (nistagmo, vértigo, etc.), fatiga, etc.

Manifestaciones clínicas: una alta y continua exposición al ruido puede originar náuseas, cefaleas, irritabilidad, inestabilidad, agresividad, etc.

Incomodidad o malestar: es decir, un sentimiento de disgusto ante un factor conocido que produce cierto desagrado.

Efectos sobre el trabajo: por las razones expuestas anteriormente.

Medidas preventivas

- 1.- Insonorización de la fuente
- 2.- Aislamiento del medio transmisor
 - Ventanas dobles
 - Insonorización de las viviendas
 - Absorbentes de ruidos
- 3.- Protección del receptor: Cascos CEE 86/188

VIBRACIONES

Son movimientos alternativos o de vaivén de las partículas de un medio elástico a ambos lados de la posición de equilibrio. Aunque el sonido produce vibraciones, no todas las vibraciones producen sonido, como ocurre, por ejemplo, con los denominados infrasonidos (frecuencia inferior a 16 Hz) o con muchas vibraciones mecánicas. Por esta razón pueden considerarse independientemente del sonido.

El rango de frecuencias de vibración de interés para el hombre empieza en los 3 Hz y puede llegar hasta varios millones. A frecuencias inferiores a 3 Hz, el cuerpo humano no presenta movimiento relativo interno. El hombre puede estar expuesto a la vibración a través del contacto con sólidos vibrantes o por interceptación de ondas sonoras. Los efectos de las vibraciones sobre el hombre son principalmente *mecánicos*, secundariamente *térmicos* y muy rara vez *químicos*. La estimulación mecánica se detecta por los sistemas auditivo y vestibular, así como por receptores mecánicos de la piel e internos. Como consecuencia de las vibraciones se produce una anulación de ciertos reflejos, como, por ejemplo, el rotuliano. También las vibraciones producen efectos más generales, como cambios en la presión sanguínea, respiración y glándulas endocrinas.

Por otra parte, existe una respuesta psicológica, ya que las vibraciones pueden afectar el carácter del individuo, rendimiento en el trabajo, etc. Los problemas más importantes vendrán dados al producirse la invalidez por alteraciones vasculares, por herramientas manuales con efectos conocidos como "dedos blandos", "manos muertas", "enfermedad del martillo neumático", etc., que se caracterizan por dolor, entumecimientos y cianosis.

ULTRASONIDOS

Los sonidos de frecuencias superiores a los audibles por el hombre, es decir, por encima de 16 kHz (16000 Hz), pero que, a diferencia de las radiaciones electromagnéticas, no pueden propagarse en el vacío. Son muy ampliamente utilizados en la industria, en dispositivos comerciales y de seguridad, en medicina con fines diagnósticos, terapéuticos o quirúrgicos, etc.

Cuando los ultrasonidos son absorbidos por la materia, se transforman en calor y, también, en los medios líquidos se produce el fenómeno de la cavitación, al originarse sucesivamente zonas de sobre presión y depresión. La exposición del hombre a los ultrasonidos transmitidos por el aire afectan el umbral de percepción auditiva, aunque se pueden también presentar efectos como desequilibrio de los electrolitos, fatiga, cefaleas, náuseas, irritabilidad, etc. Por otra parte la cavitación en medio líquido puede afectar la síntesis de macromoléculas, producir alteraciones ultra estructurales de las células y de la actividad de la superficie celular.

Para la prevención de estos efectos ya se han establecido o propuesto límites de exposición profesional a los ultrasonidos en varios países, señalándose una presión acústica máxima admitida para frecuencias superiores a 20 kHz. Igualmente existe en algunos países una reglamentación que prevé un nivel máximo a la salida de los aparatos terapéuticos de ultrasonidos.

Con respecto a la población en general, aunque los ultrasonidos son utilizados en numerosos productos (telémetros, mandos a distancia de televisión, alarmas contra robo, etc.), no se conocen los efectos sanitarios que puedan estar produciendo.

ENERGIA TERMICA

La fuente principal es por procesos industriales, y puede tener efectos directos sobre el hombre actuando sobre la termorregulación y deshidratación. Los accidentes ambientales producidos por el calor son:

- Hiperpirexia o golpe de calor
- Agotamiento por el calor
- Insolación
- Calambres
- Quemaduras de la piel

La hiperpirexia por el calor, o golpe de calor, se presenta cuando la temperatura y humedad relativa son altas, escaso el movimiento del aire, el trabajo es duro, con trajes inapropiados o se ha ingerido alcohol. Para su prevención se recomienda tomar diariamente 100 mg de vitamina C, utilizar trajes adecuados, no ingerir alcohol, evitar la fatiga y no descuidar la ingestión de agua y sal.

Todo este grupo de enfermedades o accidentes producidos por el calor no solamente son influenciados por el ambiente externo, sino que a ellos se une el estado metabólico interno. También influyen factores como la edad o la obesidad.

La falta de energía térmica en ambientes fríos, también da lugar a: ceguera actínica, congelación localizada y reducción generalizada de la temperatura corporal.

BIBLIOGRAFÍA

Ley 37/2003, de 17 noviembre, del Ruido. BOE 18 noviembre 2003.

Ordenanzas Municipales. (Granada 12-2-1981).

Radiation and Environmental Health Unit. Protection of the human environmental WHO. Geneva. 2003.

Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE 178 de 26 de julio de 2001.

Real Decreto 1513/2005, del 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

Reglamento de Actividades Molestas Insalubre y Peligrosas. D 2414/61 (BOE 7diciembre).

Sáenz Gonzalez, MC; Sacristán Salgado, A y Mateos Campos, R. Problemas sanitarios de los contaminantes físicos. En Piédrola Gil et als. (eds.). Medicina Preventiva y Salud Pública, 10ª ed. Barcelona, Masson, 2001.

U.S. Environmental Protection Agency. Coalición Nacional de Organizaciones Hispanas de Servicios (COSSMHO). Documento de la Agencia de los Estados Unidos para la Protección Ambiental Número 402-K93-005 septiembre del 1993.