

# ¿QUÉ ES LA RADIACIÓN?

## ¿CÓMO NOS AFECTA LA RADIACIÓN?

## ¿DE DÓNDE PROCEDE LA RADIACIÓN?



# INTRODUCCIÓN

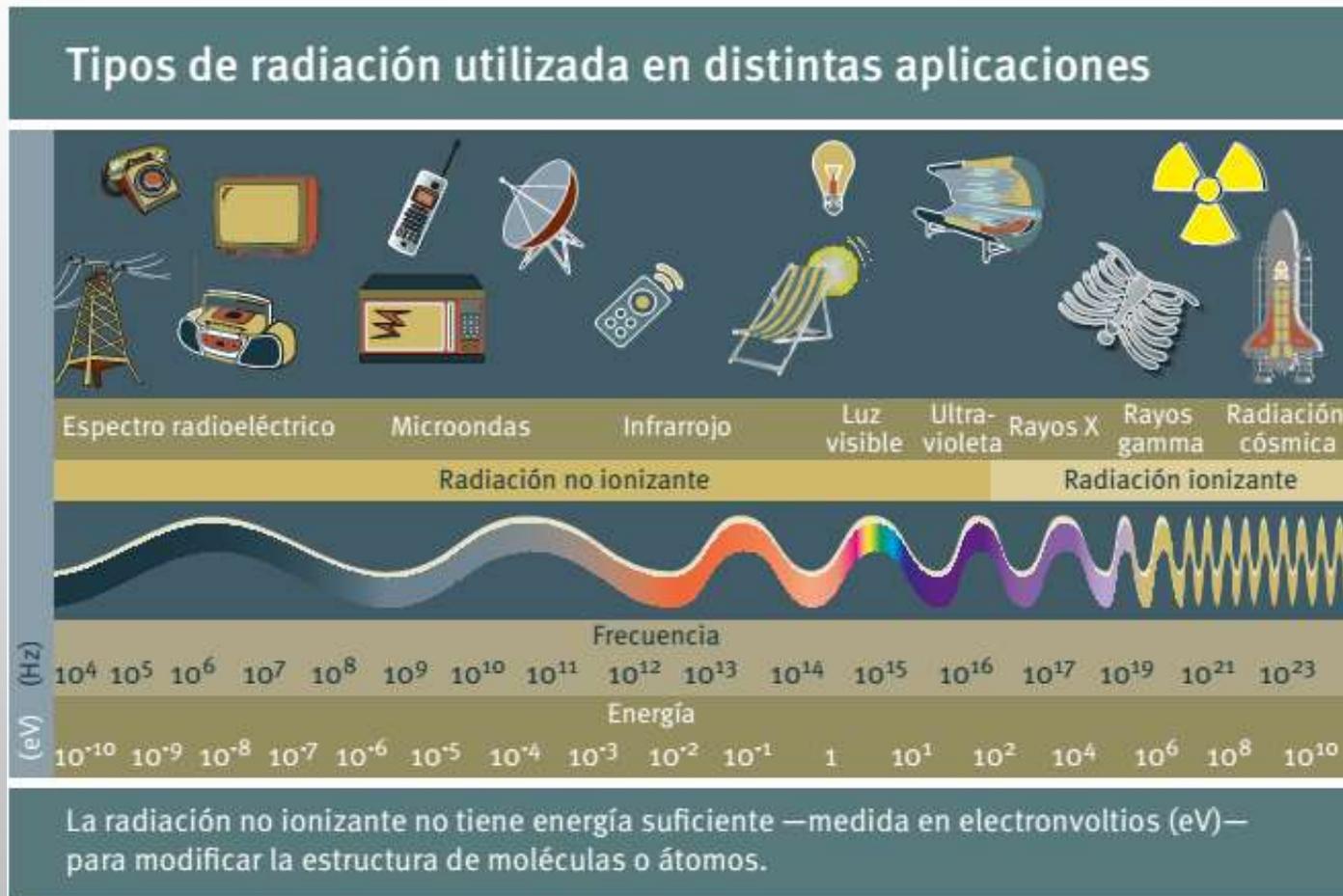
- EN PRIMER LUGAR, DEBEMOS DISTINGUIR ENTRE RADIACIÓN IONIZANTE Y NO IONIZANTE. LA RADIACIÓN IONIZANTE TIENE ENERGÍA SUFICIENTE PARA LIBERAR ELECTRONES DE UN ÁTOMO, DEJANDO POR TANTO EL ÁTOMO CARGADO, MIENTRAS QUE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE, COMO LAS ONDAS DE RADIO, LA LUZ VISIBLE O LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA, NO LO HACE. ESTA PUBLICACIÓN TRATA DE LOS EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN IONIZANTE PROCEDENTE DE FUENTES TANTO NATURALES COMO ARTIFICIALES. POR TANTO, LA PALABRA RADIACIÓN UTILIZADA A LO LARGO DE TODO EL DOCUMENTO, SE REFIERE ÚNICAMENTE A LA RADIACIÓN IONIZANTE.

# CLASIFICACIÓN DE LAS RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

LAS ONDAS O RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS SE PUEDEN CLASIFICAR EN:

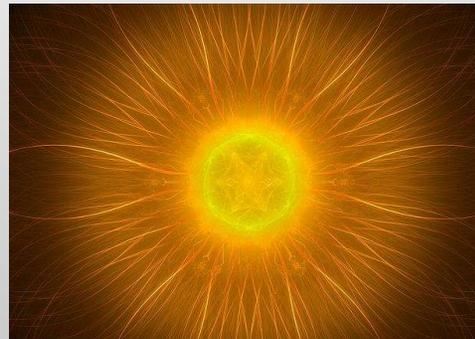
- RADIACIÓN NO IONIZANTE: NO TIENEN LA SUFICIENTE ENERGÍA COMO PARA ROMPER LOS ENLACES QUE UNEN LOS ÁTOMOS DEL MEDIO QUE IRRADIAN (ONDAS DE RADIO Y TV, MICROONDAS, LUZ VISIBLE, ETC.).
- RADIACIÓN IONIZANTE: TIENEN SUFICIENTE ENERGÍA COMO PARA PRODUCIR IONIZACIONES DE LOS ÁTOMOS DEL MEDIO O MATERIA QUE ES IRRADIADO. VAN DESDE LOS RAYOS X HASTA LA RADIACIÓN CÓSMICA.
- POR TANTO, LA PALABRA RADIACIÓN UTILIZADA A LO LARGO DE TODO EL DOCUMENTO, SE REFIERE ÚNICAMENTE A LA RADIACIÓN IONIZANTE.

# TIPOS DE RADIACIÓN



# ¿QUE ES LA RADIACIÓN?

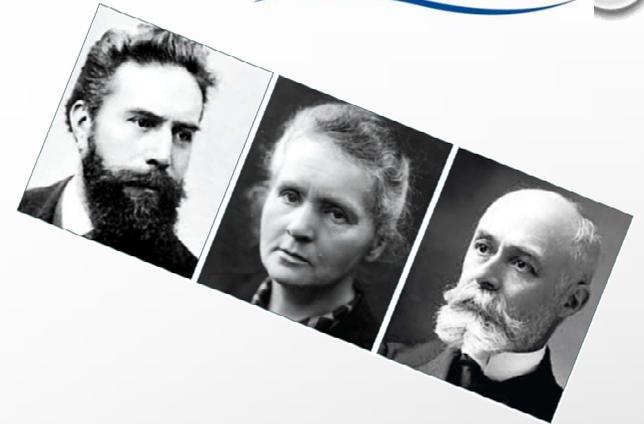
- PARA PODER HABLAR ACERCA DE LOS NIVELES, LOS EFECTOS Y LOS RIESGOS DE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN NECESITAMOS, EN PRIMER LUGAR, ABORDAR ALGUNOS ASPECTOS BÁSICOS DE LA CIENCIA RADIOLÓGICA. TANTO LA RADIATIVIDAD COMO LA RADIACIÓN QUE PRODUCE EXISTÍAN EN LA TIERRA MUCHO ANTES DE QUE SURGIESE LA VIDA. DE HECHO, HAN ESTADO PRESENTES EN EL ESPACIO DESDE EL COMIENZO DEL UNIVERSO Y EL MATERIAL RADIATIVO FORMA PARTE DE LA TIERRA DESDE SU ORIGEN. PERO LA HUMANIDAD NO DESCUBRIÓ ESTE ELEMENTAL FENÓMENO UNIVERSAL HASTA FINALES DEL SIGLO XIX, Y TODAVÍA ESTAMOS APRENDIENDO NUEVAS FORMAS DE UTILIZARLO



# HISTORIA

EN 1895, UN FÍSICO ALEMÁN, WILHELM CONRAD ROENTGEN, DESCUBRIÓ UNA RADIACIÓN, A LA QUE DENOMINÓ RAYOS X, QUE PODÍA SER UTILIZADA PARA ESTUDIAR EL CUERPO HUMANO. ESTE DESCUBRIMIENTO PRESAGIÓ LOS USOS MÉDICOS DE LA RADIACIÓN, QUE SE HAN IDO AMPLIANDO DESDE ENTONCES. ROENTGEN FUE GALARDONADO CON EL PRIMER PREMIO NOBEL EN FÍSICA EN 1901 EN RECONOCIMIENTO DE LOS EXTRA ORDINARIOS SERVICIOS QUE HABÍA PRESTADO A LA HUMANIDAD. UN AÑO DESPUÉS DEL DESCUBRIMIENTO DE ROENTGEN, UN CIENTÍFICO FRANCÉS, HENRI BECQUEREL, GUARDÓ EN UN CAJÓN ALGUNAS PLACAS FOTOGRÁFICAS JUNTO CON FRAGMENTOS DE UN MINERAL QUE CONTENÍA URANIO. CUANDO REVELÓ LAS PLACAS ENCONTRÓ, PARA SU SORPRESA, QUE HABÍAN SIDO AFECTADAS POR LA RADIACIÓN. ESTE FENÓMENO, QUE SE DENOMINA RADIATIVIDAD, SE PRODUCE CUANDO SE LIBERA ESPONTÁNEAMENTE ENERGÍA DE UN ÁTOMO Y SE MIDE EN UNIDADES QUE ACTUALMENTE SE DENOMINAN BECQUERELIOS (BQ) EN HONOR DE HENRI BECQUEREL. POCO DESPUÉS, UNA JOVEN QUÍMICA, MARIE SKŁODOWSKA-CURIE, LLEVÓ A CABO INVESTIGACIONES ADICIONALES Y FUE LA PRIMERA EN ACUÑAR LA PALABRA RADIATIVIDAD. EN 1898, ELLA Y SU ESPOSO PIERRE CURIE DESCUBRIERON QUE CONFORME EL URANIO EMITÍA RADIACIÓN, SE TRANSFORMABA MISTERIOSAMENTE EN OTROS ELEMENTOS, A UNO DE LOS CUALES DENOMINARON POLONIO EN HONOR A SU PATRIA Y A OTRO RADIO, EL ELEMENTO "BRILLANTE". MARIE CURIE, COMPARTIÓ EL PREMIO NOBEL DE FÍSICA EN 1903 CON PIERRE CURIE Y HENRI BECQUEREL. ELLA FUE LA PRIMERA MUJER EN GANAR EL PREMIO NOBEL POR SEGUNDA VEZ, EN 1911, POR SUS DESCUBRIMIENTOS EN RADIOQUÍMICA.

MINISTERIO DE SALUD  
GOBIERNO DE  
**EL SALVADOR**  
UNÁMONOS PARA CRECER

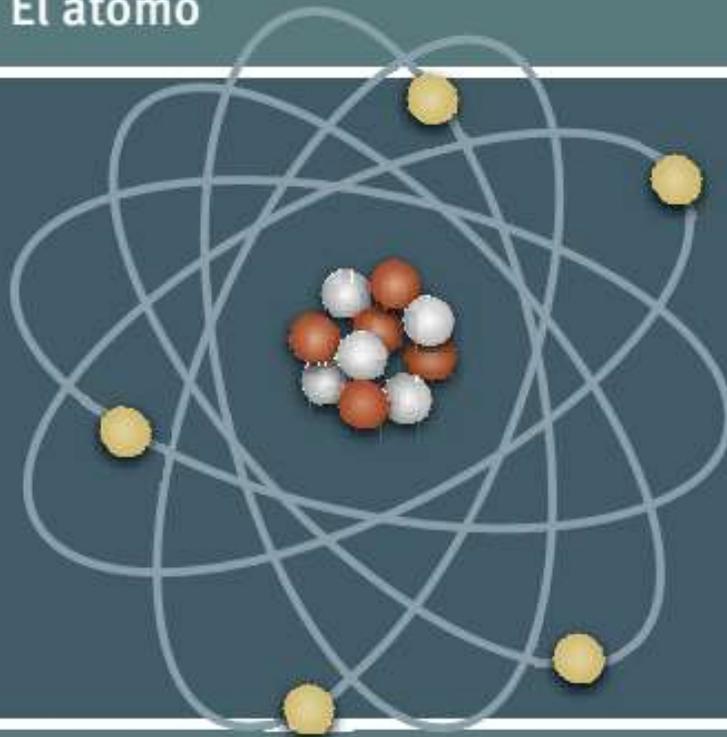


# FUNDAMENTOS

- LA BÚSQUEDA DE LOS CIENTÍFICOS ERA ENTENDER EL ÁTOMO Y, MÁS CONCRETAMENTE, SU ESTRUCTURA. AHORA SABEMOS QUE LOS ÁTOMOS TIENEN UN MINÚSCULO NÚCLEO CARGADO POSITIVAMENTE RODEADO POR UNA NUBE DE ELECTRONES CON CARGA NEGATIVA. EL NÚCLEO ES ALREDEDOR DE LA CIENTMILÉSIMA PARTE DEL TAMAÑO DE TODO EL ÁTOMO, PERO ES TAN DENSO QUE REPRESENTA CASI TODA LA MASA DEL ÁTOMO. EL NÚCLEO ES GENERALMENTE UN GRUPO DE PARTÍCULAS, PROTONES Y NEUTRONES, UNIDOS FUERTEMENTE ENTRE SÍ. LOS PROTONES TIENEN CARGA ELÉCTRICA POSITIVA MIENTRAS QUE LOS NEUTRONES NO TIENEN CARGA. LOS ELEMENTOS QUÍMICOS ESTÁN DETERMINADOS POR EL NÚMERO DE PROTONES EN SUS ÁTOMOS (P.EJ. EL BORO TIENE UN ÁTOMO CON 5 PROTONES Y EL URANIO TIENE UN ÁTOMO CON 92 PROTONES). LOS ELEMENTOS CON EL MISMO NÚMERO DE PROTONES PERO CON UN NÚMERO DIFERENTE DE NEUTRONES SE DENOMINAN ISÓTOPOS (P.EJ. EL URANIO-235, Y EL URANIO-238 QUE DIFIEREN EN TRES NEUTRONES EN SUS NÚCLEOS). UN ÁTOMO, CONSIDERADO COMO UN TODO, NORMALMENTE NO ESTÁ CARGADO NI POSITIVA NI NEGATIVAMENTE PORQUE TIENE EL MISMO NÚMERO DE ELECTRONES, CARGADOS NEGATIVAMENTE, QUE DE PROTONES, CARGADOS POSITIVAMENTE.

# EL ÁTOMO

## El átomo



Número atómico 5 - número de electrones  
Símbolo **B** - número de protones  
Nombre **BORO**

 electrón  protón  neutrón

El átomo está formado por un núcleo de neutrones (de carga nula) y protones (de carga positiva) rodeado de una nube de electrones (de carga negativa). En los átomos sin carga, el número de electrones y protones es igual, y representa el número atómico del elemento.

# FUNDAMENTOS

- ALGUNOS ÁTOMOS SON ESTABLES POR NATURALEZA, MIENTRAS QUE OTROS SON INESTABLES. LOS ÁTOMOS CON NÚCLEOS INESTABLES, QUE SE TRANSFORMAN ESPONTÁNEAMENTE, LIBERANDO ENERGÍA EN FORMA DE RADIACIÓN, SON CONOCIDOS COMO RADIONUCLEIDOS. DICHA ENERGÍA PUEDE INTERACTUAR CON OTROS ÁTOMOS E IONIZARLOS. LA IONIZACIÓN ES EL PROCESO MEDIANTE EL CUAL LOS ÁTOMOS PASAN A ESTAR CARGADOS POSITIVA O NEGATIVAMENTE DEBIDO A LA GANANCIA O PÉRDIDA DE ELECTRONES. LA RADIACIÓN IONIZANTE TIENE SUFICIENTE ENERGÍA PARA DESPLAZAR A LOS ELECTRONES FUERA DE SU ÓRBITA DANDO LUGAR A ÁTOMOS CARGADOS DENOMINADOS IONES. LA EMISIÓN DE DOS PROTONES Y DOS NEUTRONES SE DENOMINA DESINTEGRACIÓN ALFA Y LA EMISIÓN DE ELECTRONES, DESINTEGRACIÓN BETA. CON FRECUENCIA, EL NUCLEÍDO INESTABLE ESTÁ EN UN ESTADO TAN EXCITADO QUE LA EMISIÓN DE PARTÍCULAS NO ES SUFICIENTE PARA ESTABILIZARLO. ENTONCES, GENERA UNA INTENSA EMISIÓN DE ENERGÍA EN FORMA DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA, CONSTITUIDA POR FOTONES, QUE SE DENOMINA RAYOS GAMMA.

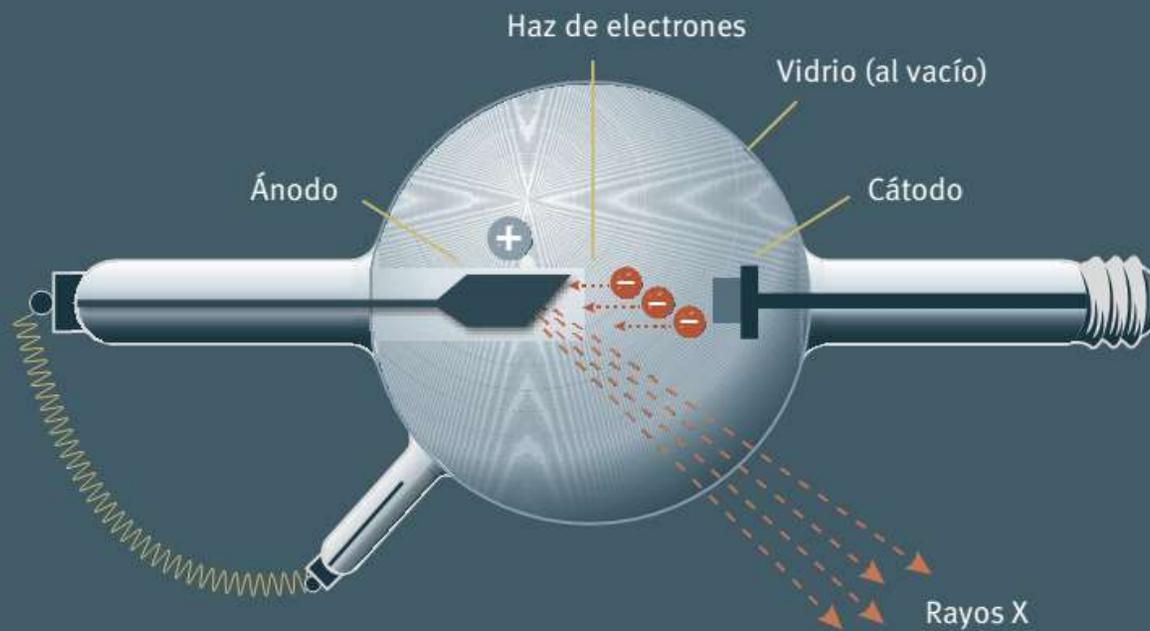
# FUNDAMENTOS

- LOS RAYOS X SON TAMBIÉN RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA COMO LOS RAYOS GAMMA, PERO CON MENOR ENERGÍA QUE LOS FOTONES. CUANDO SE DISPARA UN HAZ DE ELECTRONES EMITIDOS POR UN CÁTODO, SOBRE UN BLANCO DENOMINADO ÁNODO, AMBOS CONTENIDOS EN UN TUBO DE VIDRIO EN EL QUE SE HA HECHO EL VACIO, SE PRODUCE UN ESPECTRO DE RAYOS X CON DIFERENTES ENERGÍAS. EL ESPECTRO DE RAYOS X DEPENDE DEL MATERIAL QUE CONSTITUYE EL ÁNODO Y DE LA ENERGÍA DE ACELERACIÓN DEL HAZ DE ELECTRONES DE ESTE MODO, LOS RAYOS X PUEDEN SER GENERADOS ARTIFICIALMENTE EN EL MOMENTO EN QUE SE NECESITAN, LO CUAL ES MUY VENTAJOSO EN APLICACIONES MÉDICAS E INDUSTRIALES.



# FUNDAMENTOS

## Tubo de rayos X



# UNIDADES DE RADIACIÓN

- EN LA ACTUALIDAD, SABEMOS QUE LA ENERGÍA DE LA RADIACIÓN PUEDE DAÑAR LOS TEJIDOS VIVOS, Y LA CANTIDAD DE ENERGÍA QUE SE DEPOSITA EN EL TEJIDO VIVO SE EXPRESA EN TÉRMINOS DE UNA MAGNITUD DENOMINADA DOSIS. LA DOSIS DE RADIACIÓN PUEDE PROVENIR DE CUALQUIER RADIO NUCLEÍDO, O DE UNA SERIE DE RADIO NUCLEÍDOS, TANTO SI SE ENCUENTRAN FUERA DEL CUERPO O SI LO IRRADIAN DESDE SU INTERIOR, POR EJEMPLO, DESPUÉS DE SER INHALADOS O INGERIDOS. LAS MAGNITUDES DOSIMÉTRICAS SE EXPRESAN DE DIFERENTES MANERAS DEPENDIENDO DE QUE PARTES DEL CUERPO Y QUE PROPORCIÓN DEL MISMO SON IRRADIADOS, DE SI UNA O MUCHAS PERSONAS ESTÁN EXPUESTAS, Y DE LA DURACIÓN DE LA EXPOSICIÓN (POR EJEMPLO, LA EXPOSICIÓN AGUDA).

# UNIDADES DE RADIACIÓN

- LA CANTIDAD DE ENERGÍA DE RADIACIÓN ABSORBIDA POR KILOGRAMO DE TEJIDO SE DENOMINA DOSIS ABSORBIDA Y SE EXPRESA EN UNIDADES LLAMADAS GRAYS (GY) EN HONOR DEL FÍSICO INGLÉS, Y PIONERO EN RADIOBIOLOGÍA, HAROLD GRAY. PERO ESTO NO DA UNA VISIÓN COMPLETA PORQUE UNA DETERMINADA DOSIS DE PARTÍCULAS ALFA PUEDE HACER MUCHO MÁS DAÑO QUE LA MISMA DOSIS DE PARTÍCULAS BETA O DE RAYOS GAMMA. PARA COMPARAR LAS DOSIS ABSORBIDAS DE DIFERENTES TIPOS DE RADIACIÓN, DEBEN SER PONDERADAS POR SU POTENCIAL PARA PROVOCAR CIERTOS TIPOS DE DAÑOS BIOLÓGICOS. ESTA DOSIS PONDERADA SE DENOMINA DOSIS EQUIVALENTE QUE ES EVALUADA EN UNIDADES DENOMINADAS SIEVERTS (SV), EN HONOR DEL CIENTÍFICO SUECO ROLF SIEVERT. UN SIEVERT SON 1 000 MILI SIEVERTS, AL IGUAL QUE UN LITRO SON 1 000 MILILITROS O UN METRO SON 1 000 MILÍMETROS.



## Magnitudes de radiación

Magnitud física	
Actividad	Número de transformaciones nucleares de energía por unidad de tiempo. Se mide en desintegraciones por segundo y se expresa en becquerelios (Bq).
Dosis absorbida	Cantidad de energía depositada por la radiación en una unidad de masa de material, como un tejido u órgano. Se expresa en gray (Gy), que corresponden a julios por kilogramo.

# MAGNITUDES

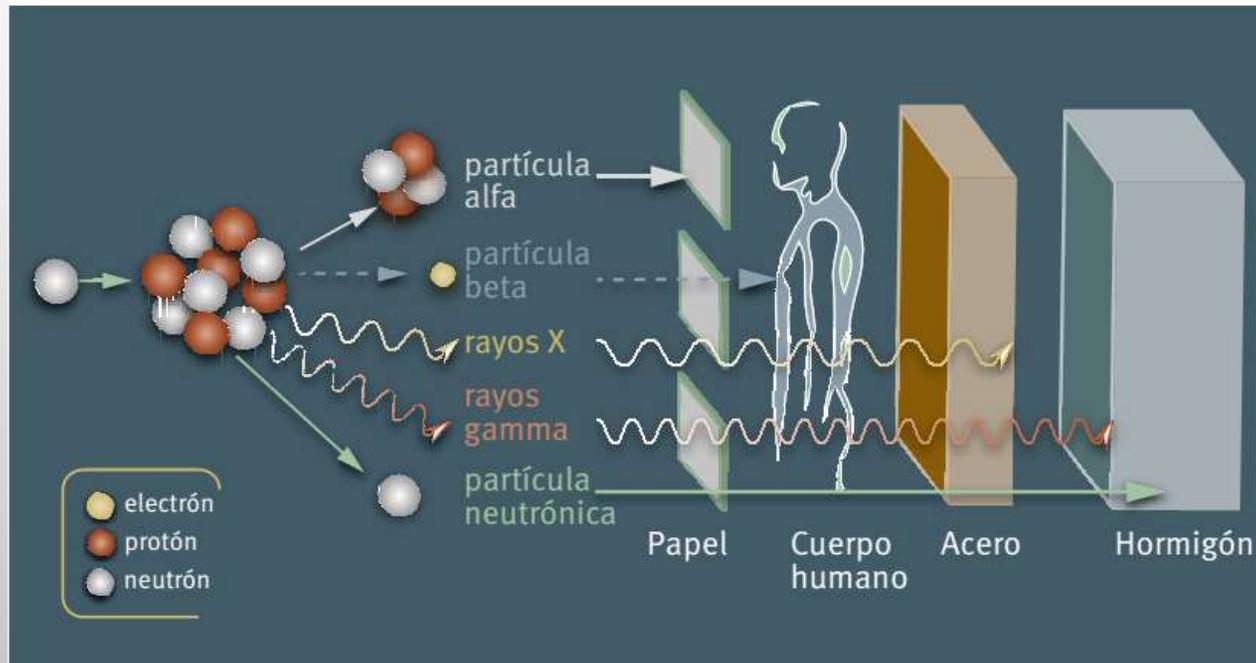
Magnitud calculada	
Dosis equivalente	<p>Dosis absorbida multiplicada por un factor de ponderación de la radiación (<math>w_R</math>), que tiene en cuenta los diferentes tipos de daño biológico que causa la radiación en un tejido u órgano. Se expresa en sievert (<math>Sy</math>), que corresponden a julios por kilogramo.</p>
Dosis efectiva	<p>Dosis equivalente multiplicada por un factor de ponderación de los tejidos (<math>w_T</math>), que tiene en cuenta la susceptibilidad de distintos tejidos y órganos al daño. Se expresa en Sievert (<math>Sv</math>), que corresponden a julios por kilogramo.</p>
Dosis efectiva colectiva	<p>Suma de todas las dosis efectivas recibidas por una población o grupo de personas expuestas a radiación. Se expresa en Sievert-persona (<math>Sv</math>-persona).</p>

# PODER DE PENETRACIÓN DE LA RADIACION

- LA RADIACIÓN PUEDE ADOPTAR LA FORMA DE PARTÍCULAS (INCLUYENDO PARTÍCULAS ALFA, PARTÍCULAS BETA Y NEUTRONES) O DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS (RAYOS GAMMA Y RAYOS X), TODOS CON DIFERENTE ENERGÍA. LAS DIFERENTES ENERGÍAS DE EMISIÓN Y TIPOS DE PARTÍCULAS TIENEN DISTINTO PODER DE PENETRACIÓN Y, POR TANTO, CAUSAN DIFERENTES EFECTOS SOBRE LA MATERIA VIVA. PUESTO QUE LAS PARTÍCULAS ALFA ESTÁN CONSTITUIDAS POR DOS PROTONES CARGADOS POSITIVAMENTE Y DOS NEUTRONES, SON LAS QUE POSEEN MAYOR CARGA DE TODOS LOS TIPOS DE RADIACIÓN. ESTA MAYOR CARGA IMPLICA QUE INTERACCIONAN EN MAYOR MEDIDA CON LOS ÁTOMOS CIRCUNDANTES. DICHA INTERACCIÓN REDUCE RÁPIDAMENTE LA ENERGÍA DE LA PARTÍCULA Y POR LO TANTO REDUCE EL PODER DE PENETRACIÓN. LAS PARTÍCULAS ALFA PUEDEN SER DETENIDAS, POR EJEMPLO, POR UNA HOJA DE PAPEL. LAS PARTÍCULAS BETA, CONSTITUIDAS POR ELECTRONES CON CARGA NEGATIVA, LLEVAN MENOS CARGA Y, POR TANTO, SON MÁS PENETRANTES QUE LAS PARTÍCULAS ALFA. LAS PARTÍCULAS BETA PUEDEN ATRAVESAR UNO O DOS CENTÍMETROS DE TEJIDO VIVO.

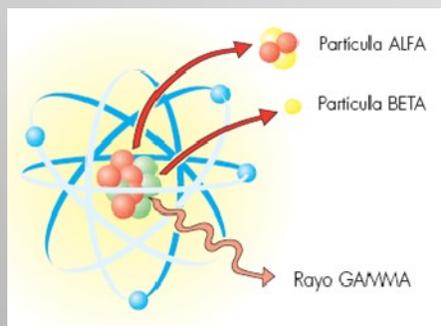
# PODER DE PENETRACIÓN DE LA RADIACIÓN

Poder de penetración de diferentes tipos de radiación



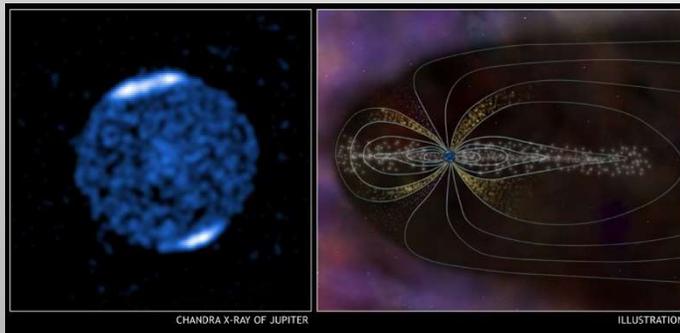
# PODER DE PENETRACIÓN DE LA RADIACIÓN

- LOS RAYOS GAMMA Y LOS RAYOS X SON SUMAMENTE PENETRANTES Y PUEDEN ATRAVESAR MATERIALES MENOS DENSOS QUE UNA GRUESA PLANCHA DE ACERO. LOS NEUTRONES PRODUCIDOS ARTIFICIALMENTE SON EMITIDOS POR UN NÚCLEO INESTABLE COMO RESULTADO DE LA FISIÓN ATÓMICA O LA FUSIÓN NUCLEAR. LOS NEUTRONES TAMBIÉN PUEDEN EXISTIR DE FORMA NATURAL COMO UN COMPONENTE DE LA RADIACIÓN CÓSMICA. DEBIDO A QUE LOS NEUTRONES SON PARTÍCULAS ELÉCTRICAMENTE NEUTRAS, TIENEN UN ELEVADO PODER DE PENETRACIÓN CUANDO INTERACCIONAN CON MATERIALES O TEJIDOS.



## ¿CÓMO NOS AFECTA LA RADIACIÓN?

- ANTES DE BRINDAR MÁS DETALLES SOBRE LOS EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN, DEBEMOS RECORDAR A LOS PIONEROS EN LA CIENCIA DE LA RADIACIÓN QUE YA HEMOS PRESENTADO. POCO DESPUÉS DE SU DESCUBRIMIENTO, EL MISMO HENRI BECQUEREL SUFRIÓ EL PEOR DE LOS INCONVENIENTES DE LA RADIACIÓN —EL EFECTO QUE PUEDE CAUSAR SOBRE LOS TEJIDOS VIVOS—; UN VIAL DE RADIO QUE HABÍA COLOCADO EN SU BOLSILLO DAÑÓ SU PIEL.
- **WILHELM CONRAD ROENTGEN**, QUIEN DESCUBRIÓ LOS RAYOS X EN EL AÑO 1895, MURIÓ DE CÁNCER DE INTESTINO EN 1923. MARIE CURIE, TAMBIÉN EXPUESTA A LA RADIACIÓN DURANTE SU CARRERA PROFESIONAL, MURIÓ DE UNA ENFERMEDAD HEMATOLÓGICA EN 1934.



## ¿CÓMO NOS AFECTA LA RADIACIÓN?

- FIGURA EN REGISTROS QUE A FINALES DE LA DÉCADA DE LOS 50, AL MENOS 359 DE LAS PRIMERAS PERSONAS QUE TRABAJABAN CON RADIACIÓN (PRINCIPALMENTE MÉDICOS, Y OTROS CIENTÍFICOS) YA HABÍAN MUERTO A CAUSA DE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN, DADO QUE DESCONOCÍAN LA NECESIDAD DE USAR PROTECCIÓN.
- NO RESULTA SORPRENDENTE QUE LAS PERSONAS ENCARGADAS DE IRRADIAR A LOS PACIENTES HAYAN SIDO LAS PRIMERAS EN DESARROLLAR RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES CONTRA LA RADIACIÓN. EL COMITÉ INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN CONTRA LOS RAYOS X Y EL RADIO, DEL CUAL ROLF SIEVERT FUE EL PRIMER PRESIDENTE ELECTO, FUE CREADO DURANTE EL SEGUNDO CONGRESO INTERNACIONAL DE RADIOLOGÍA LLEVADO A CABO EN ESTOCOLMO EN EL AÑO 1928. DESPUÉS DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL DICHO COMITÉ FUE REESTRUCTURADO A FIN DE CONSIDERAR NUEVOS USOS DE LA RADIACIÓN FUERA DEL ÁREA DE LA MEDICINA, Y DESDE ENTONCES LLEVA EL NOMBRE DE COMISIÓN INTERNACIONAL EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA. POSTERIORMENTE, ROLF SIEVERT FUE EL CUARTO PRESIDENTE DE UNSCEAR ENTRE LOS AÑOS 1958 Y 1960
- — TIEMPOS EN LOS QUE PREPONDERABA UN INTERÉS PARTICULAR SOBRE LOS EFECTOS GENÉTICOS EN LOS SERES HUMANOS A CAUSA DE LAS PRUEBAS DE ARMAMENTO NUCLEAR—.

# ¿CÓMO NOS AFECTA LA RADIACIÓN?

- CON UNA CRECIENTE CONCIENCIACIÓN SOBRE LOS RIESGOS ASOCIADOS A LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN, EL SIGLO VEINTE FUE ESCENARIO DEL DESARROLLO DE INTENSAS INVESTIGACIONES SOBRE LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN TANTO EN LOS SERES HUMANOS COMO EN EL MEDIOAMBIENTE. LA EVALUACIÓN MÁS IMPORTANTE RESPECTO A LOS GRUPOS DE POBLACIÓN EXPUESTOS ES EL ESTUDIO REALIZADO SOBRE APROXIMADAMENTE 86 500 SUPERVIVIENTES A LOS BOMBARDEOS ATÓMICOS EN HIROSHIMA Y NAGASAKI EN EL AÑO 1945, A FINES DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL (EN LO SUCESIVO DENOMINADOS SUPERVIVIENTES A LOS BOMBARDEOS ATÓMICOS). ADEMÁS, SE HAN OBTENIDO DATOS FIABLES SOBRE EL TEMA, DE LA EXPERIENCIA CON PACIENTES IRRADIADOS Y CON TRABAJADORES INVOLUCRADOS EN EXPOSICIONES ACCIDENTALES (POR EJEMPLO, EL ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR DE CHERNOBYL); Y DE EXPERIMENTOS EN LABORATORIO SOBRE ANIMALES Y CÉLULAS.



# EFECTOS SOBRE LOS SERES HUMANOS

- DESDE EL DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN, MÁS DE UN SIGLO DE INVESTIGACIÓN HA PRODUCIDO UNA VASTA INFORMACIÓN SOBRE LOS MECANISMOS BIOLÓGICOS MEDIANTE LOS CUALES LA RADIACIÓN PUEDE AFECTAR A LA SALUD. SE CONOCE QUE LA RADIACIÓN PUEDE PRODUCIR EFECTOS A NIVEL CELULAR, CAUSANDO SU MUERTE O ALTERACIÓN, USUALMENTE DEBIDO AL DAÑO DIRECTO SOBRE LAS CADENAS DE ÁCIDO DESOXIRIBONUCLEICO (ADN) EN UN CROMOSOMA. CUANDO EL NÚMERO DE CÉLULAS MUERTAS O DAÑADAS ES LO SUFICIENTEMENTE ELEVADO, PODRÍA RESULTAR EN UNA DISFUNCIÓN DEL ÓRGANO E INCLUSO LA MUERTE. OTRO DAÑO PUEDE AFECTAR AL ADN SIN DESTRUIR LA CÉLULA, Y USUALMENTE SE REPARA POR COMPLETO; PERO EN AQUELLOS CASOS EN LOS QUE NO SE PRODUCE DICHA REPARACIÓN, LA ALTERACIÓN RESULTANTE CONOCIDA COMO MUTACIÓN CELULAR SE VERÁ REFLEJADA EN LAS DIVISIONES CELULARES SUBSECUENTES, Y PODRÍA POR ÚLTIMO DERIVAR EN CÁNCER. SI LAS CÉLULAS MODIFICADAS SON AQUELLAS QUE TRANSMITEN INFORMACIÓN HEREDITARIA A LOS DESCENDENTES, PUEDEN SURGIR TRASTORNOS GENÉTICOS. LA INFORMACIÓN SOBRE MECANISMOS BIOLÓGICOS Y EFECTOS HEREDITARIOS SE OBTIENE COMÚNMENTE DE EXPERIMENTOS EN LABORATORIO.

# EFECTOS SOBRE LOS SERES HUMANOS



# EFFECTOS SOBRE LOS SERES HUMANOS

LOS EFECTOS TEMPRANOS EN LA SALUD SON CAUSADOS POR UN DAÑO/MUERTE CELULAR EXTENSO; COMO POR EJEMPLO, QUEMADURAS EN LA PIEL, PÉRDIDA DE CABELLO O TRASTORNOS EN LA FERTILIDAD. ESTOS EFECTOS EN LA SALUD SE CARACTERIZAN POR UN UMBRAL RELATIVAMENTE ALTO QUE DEBE EXCEDERSE EN UN CORTO PERÍODO DE TIEMPO PARA QUE APAREZCA EL EFECTO. LA SEVERIDAD DEL EFECTO AUMENTA CON EL INCREMENTO DE LA DOSIS UNA VEZ QUE EL UMBRAL HAYA SIDO SOBREPASADO.

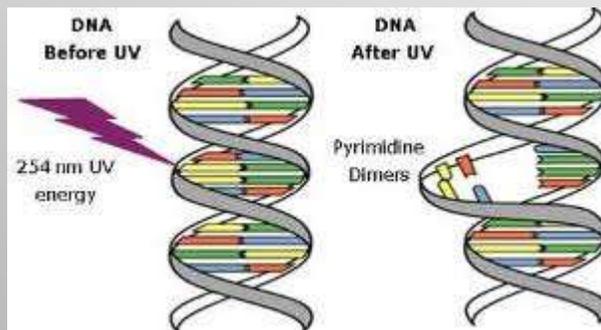
## Exposición accidental en la medicina

La radioterapia supone la administración de dosis altas a los pacientes. Por ello, es prioritario prevenir los efectos agudos.



# EFFECTOS SOBRE LOS SERES HUMANOS

- LA CAPACIDAD DE LA RADIACIÓN DE DAÑAR DIRECTAMENTE AL ADN CELULAR SE UTILIZA DE MANERA DELIBERADA PARA MATAR CÉLULAS MALIGNAS CON RADIACIÓN EN EL TRATAMIENTO PARA EL CÁNCER CONOCIDO COMO RADIOTERAPIA. LA CANTIDAD TOTAL DE RADIACIÓN APLICADA EN LA RADIOTERAPIA VARÍA SEGÚN EL TIPO Y ESTADIO DEL CÁNCER A SER TRATADO. LA DOSIS TÍPICA PARA EL TRATAMIENTO LOCALIZADO DE TUMORES SÓLIDOS VARÍA ENTRE LOS 20 Y 80 GY, LO CUAL PODRÍA PONER EN RIESGO AL PACIENTE EN CASO DE RECIBIRLA EN UNA SOLA DOSIS. POR CONSIGUIENTE, A FIN DE CONTROLAR EL TRATAMIENTO, LAS DOSIS DE RADIACIÓN SE APLICAN EN FRACCIONES REPETIDAS CON UN VALOR MÁXIMO DE 2 GY. ESTE FRACCIONAMIENTO PERMITE QUE LAS CÉLULAS DE LOS TEJIDOS NORMALES SE RECUPEREN, MIENTRAS QUE LAS CÉLULAS TUMORALES MUEREN POR SER MENOS EFICIENTES EN SU REPARACIÓN TRAS LA EXPOSICIÓN.



# EFECTOS TARDÍOS EN LA SALUD

- LOS EFECTOS TARDÍOS EN LA SALUD OCURREN MUCHO TIEMPO DESPUÉS DE LA EXPOSICIÓN. EN GENERAL, LA MAYOR PARTE DE LOS EFECTOS TARDÍOS, SON TAMBIÉN EFECTOS ESTOCÁSTICOS; ES DECIR, EFECTOS CUYA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEPENDE DE LA DOSIS DE RADIACIÓN RECIBIDA. SE CREE QUE ÉSTOS SE DEBEN A LAS ALTERACIONES EN EL MATERIAL GENÉTICO DE UNA CÉLULA DESPUÉS DE UNA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN. ALGUNOS EJEMPLOS DE EFECTOS TARDÍOS SON LOS TUMORES SÓLIDOS Y LA LEUCEMIA EN PERSONAS IRRADIADAS, Y TRASTORNOS GENÉTICOS EN LA DESCENDENCIA DE PERSONAS EXPUESTAS A LA RADIACIÓN. LA FRECUENCIA DE OCURRENCIA —PERO NO LA SEVERIDAD— DE ESTOS EFECTOS EN UNA POBLACIÓN PARECE AUMENTAR CON EL AUMENTO DE LA DOSIS.



# EFECTOS TARDÍOS EN LA SALUD

- LOS ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS SON DE GRAN IMPORTANCIA PARA COMPRENDER LOS EFECTOS TARDÍOS EN LA SALUD TRAS UNA EXPOSICIÓN RADIOLÓGICA. LOS MISMOS UTILIZAN MÉTODOS ESTADÍSTICOS QUE COMPARAN LA OCURRENCIA DE UN EFECTO (COMO EL CÁNCER) EN UNA POBLACIÓN EXPUESTA, RESPECTO A UNA POBLACIÓN NO EXPUESTA. EN CASO DE HALLAR UN AUMENTO CONSIDERABLE EN LA POBLACIÓN EXPUESTA, PODRÍA INDICAR QUE SE ENCUENTRA RELACIONADA CON LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN PARA LA POBLACIÓN EN GENERAL

# EFECTOS TARDÍOS EN LA SALUD

- EL ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO DE LOS SUPERVIVIENTES A LOS BOMBARDEOS ATÓMICOS ES LA EVALUACIÓN A LARGO PLAZO MÁS IMPORTANTE REALIZADA SOBRE POBLACIONES EXPUESTAS A LA RADIACIÓN. ESTE ES EL ESTUDIO MÁS EXHAUSTIVO DEBIDO A LA GRAN CANTIDAD DE PERSONAS INVOLUCRADAS —NÚMERO ESENCIALMENTE REPRESENTATIVO DE LA POBLACIÓN GENERAL— QUE RECIBIÓ UNA AMPLIA VARIEDAD DE DOSIS DISTRIBUIDAS DE MANERA BASTANTE UNIFORME EN EL CUERPO. LAS ESTIMACIONES DE LAS DOSIS RECIBIDAS POR ESTE GRUPO SON TAMBIÉN RELATIVAMENTE CONOCIDAS. HASTA EL MOMENTO, EL ESTUDIO HA REVELADO UNOS POCOS CIENTOS DE CASOS DE CÁNCER MÁS DE LOS QUE SE PODRÍAN ESPERAR EN DICHO GRUPO SI NO HUBIERAN SIDO EXPUESTOS A LA RADIACIÓN. YA QUE MUCHOS DE LOS SUPERVIVIENTES A LOS BOMBARDEOS ATÓMICOS SE ENCUENTRAN AÚN CON VIDA, LOS ESTUDIOS CONTINÚAN A FIN DE COMPLETAR LA EVALUACIÓN.

# EFECTOS TARDÍOS EN LA SALUD

## CÁNCER

- EL CÁNCER ES RESPONSABLE DE AL MENOS 20 POR CIENTO DE TODAS LAS MUERTES Y ES LA CAUSA DE MUERTE MÁS COMÚN EN LOS PAÍSES INDUSTRIALIZADOS, DESPUÉS DE LAS AFECCIONES CARDIOVASCULARES. SE ESTIMA QUE APROXIMADAMENTE CUATRO DE CADA DIEZ INDIVIDUOS DE LA POBLACIÓN EN GENERAL PADECERÁ CÁNCER DURANTE SU VIDA, AÚN SIN EXPOSICIÓN RADIOLÓGICA. EN LOS ÚLTIMOS AÑOS, LOS CÁNCERES MÁS COMUNES ENTRE LOS HOMBRES HAN SIDO DE PULMÓN, PRÓSTATA, COLON, ESTÓMAGO E HÍGADO; MIENTRAS QUE ENTRE LAS MUJERES HAN SIDO LOS CÁNCERES DE MAMA, COLON, PULMÓN, CUELLO UTERINO Y ESTÓMAGO. EL DESARROLLO DE UN CÁNCER ES UN PROCESO COMPLEJO, EL CUAL CONSISTE EN VARIOS ESTADIOS. UN FENÓMENO INICIADOR QUE PROBABLEMENTE AFECTE A UNA SOLA CÉLULA PARECE COMENZAR EL PROCESO, PERO SE NECESITA UNA SERIE DE OTROS EVENTOS ANTES DE QUE LA CÉLULA SE TRANSFORME EN MALIGNA Y EL TUMOR SE DESARROLLE. EL CÁNCER SÓLO SE MANIFIESTA MUCHO DESPUÉS DEL PRIMER DAÑO, TRAS UN PERÍODO DE LATENCIA.

# EFECTOS TARDÍOS EN LA SALUD

- LA PROBABILIDAD DE SUFRIR CÁNCER DESPUÉS DE UNA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN ES UNA GRAN PREOCUPACIÓN, Y PODRÍA CALCULARSE PARA UN GRUPO DETERMINADO SI ÉSTE FUERA IRRADIADO A UN NIVEL SUFICIENTEMENTE ALTO DE RADIACIÓN QUE CAUSE UN INCREMENTO EN LA OCURRENCIA QUE SUPERE LAS INCERTIDUMBRES ESTADÍSTICAS Y DE OTRO TIPO. SIN EMBARGO, LA CONTRIBUCIÓN REAL DE LA RADIACIÓN COMO CAUSA DEL CÁNCER SIGUE SIENDO INCIERTA. LA LEUCEMIA, EL CÁNCER DE TIROIDES Y EL ÓSEO APARECEN A LOS POCOS AÑOS DE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN, MIENTRAS QUE LA MAYORÍA DE LOS CÁNCERES DE OTRO TIPO NO SE MANIFIESTAN HASTA PASADA UNA DÉCADA, O A MENUDO VARIAS, DESPUÉS DE LA EXPOSICIÓN. SIN EMBARGO, NINGÚN TIPO DE CÁNCER ES CAUSADO ÚNICAMENTE POR LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN, RESULTANDO IMPOSIBLE DISTINGUIR A LOS TUMORES RADIO-INDUCIDOS DE AQUELLOS QUE SURGEN POR OTRAS RAZONES. NO OBSTANTE, ES IMPORTANTE ESTIMAR LA PROBABILIDAD DE CONTRAER CÁNCER COMO CONSECUENCIA DE CIERTAS DOSIS DE RADIACIÓN A FIN DE BRINDAR UNA BASE CIENTÍFICA SÓLIDA PARA ESTABLECER LÍMITES DE EXPOSICIÓN.

# EFECTOS EN LOS NIÑOS

- LOS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA DEPENDEN DE DIVERSOS FACTORES FÍSICOS. DEBIDO A SUS DIFERENCIAS ANATÓMICAS Y FISIOLÓGICAS, EL IMPACTO DE LA EXPOSICIÓN RADIOLÓGICA SOBRE INFANTES O ADULTOS ES DIFERENTE. ADEMÁS, PUESTO QUE LOS NIÑOS TIENEN CUERPOS MÁS PEQUEÑOS Y SE ENCUENTRAN MENOS BLINDADOS (PROTEGIDOS) POR CAPAS DE TEJIDOS, LA DOSIS QUE RECIBEN SUS ÓRGANOS INTERNOS ES MÁS ALTA QUE EN EL CASO DE LOS ADULTOS PARA UNA DETERMINADA EXPOSICIÓN EXTERNA. ASIMISMO, LOS NIÑOS SON MÁS BAJOS QUE LOS ADULTOS, POR LO QUE PODRÍAN RECIBIR MAYORES DOSIS DE LOS RADIONUCLEIDOS DEPOSITADOS EN EL SUELO. EN LO QUE RESPECTA A LA EXPOSICIÓN INTERNA EN LOS NIÑOS, LOS RADIONUCLEIDOS CONCENTRADOS EN UNO DE SUS ÓRGANOS IRRADIAN A OTROS (MÁS DE LO QUE IRRADIARÍAN EN UN ADULTO) DEBIDO A QUE LOS NIÑOS TIENEN CUERPOS MÁS PEQUEÑOS, Y POR CONSIGUIENTE SUS ÓRGANOS SE ENCUENTRAN MÁS CERCA.

# EFECTOS EN LOS NIÑOS

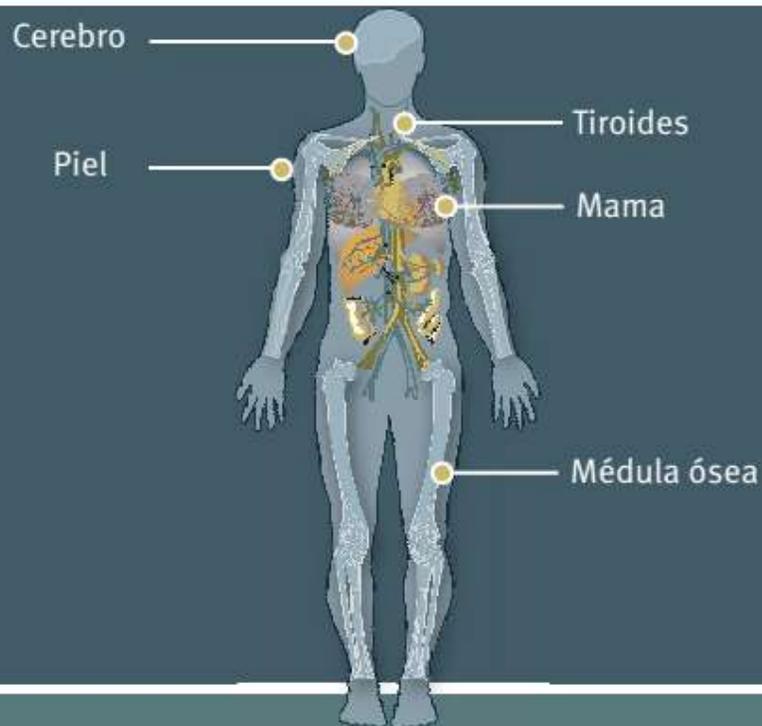
- EXISTEN MUCHOS OTROS FACTORES ASOCIADOS A LA EDAD EN RELACIÓN AL METABOLISMO Y LA FISIOLOGÍA QUE CONFORMAN UNA DIFERENCIA SUSTANCIAL EN DOSIS PARA DIFERENTES EDADES. DIVERSOS RADIONUCLEIDOS SON DE PARTICULAR INTERÉS EN RELACIÓN A LA EXPOSICIÓN INTERNA EN NIÑOS. LOS ACCIDENTES QUE INVOLUCRAN LA EMISIÓN DE YODO-131 RADIATIVO PUEDEN SER SIGNIFICATIVAS FUENTES DE EXPOSICIÓN DE LA TIROIDES. PARA UNA DETERMINADA INCORPORACIÓN, LA DOSIS PARA TIROIDES DE UN NIÑO ES APROXIMADAMENTE NUEVE VECES MAYOR QUE PARA UN ADULTO. LOS ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE EL ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR DE CHERNOBYL HAN CONFIRMADO LA RELACIÓN ENTRE EL CÁNCER DE TIROIDES Y EL YODO-131, EL CUAL SE CONCENTRA PRINCIPALMENTE EN DICHO ÓRGANO.

# EFFECTOS EN LOS NIÑOS

- LOS ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS HAN DEMOSTRADO QUE TRAS UNA MISMA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN, LOS JÓVENES MENORES A 20 AÑOS SUELEN SER DOS VECES MÁS PROPENSOS A DESARROLLAR LEUCEMIA QUE LOS ADULTOS; Y QUE LOS NIÑOS MENORES A 10 AÑOS SON PARTICULARMENTE VULNERABLES. OTROS ESTUDIOS SUGIEREN QUE LOS NIÑOS SON DE TRES A CUATRO VECES MÁS PROPENSOS A MORIR DE LEUCEMIA QUE LOS ADULTOS. ASIMISMO, EXISTEN OTROS ANÁLISIS QUE HAN INDICADO QUE LAS JÓVENES EXPUESTAS ANTES DE LOS 20 AÑOS TIENEN EL DOBLE DE PROBABILIDAD DE DESARROLLAR CÁNCER DE MAMA QUE LAS MUJERES ADULTAS. LOS NIÑOS TIENEN MÁS PROBABILIDAD QUE UN ADULTO DE DESARROLLAR CÁNCER DESPUÉS DE UNA EXPOSICIÓN, PERO PODRÍA NO APARECER HASTA MÁS TARDE EN LA VIDA CUANDO ALCANCEN UNA EDAD EN LA CUAL, NORMALMENTE, EL CÁNCER SE MANIFIESTA.

# EFFECTOS EN LOS NIÑOS

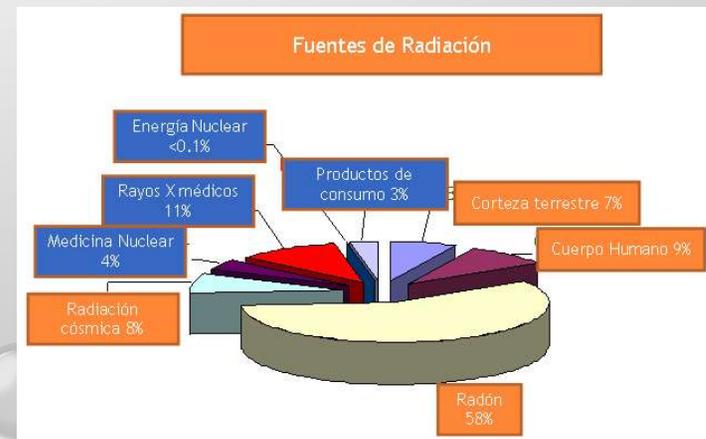
## Órganos especialmente radiosensibles de los niños



Los niños y adolescentes menores de 20 años expuestos a radiación tienen alrededor del doble de probabilidades de contraer un **tumor cerebral** que los adultos expuestos a la misma dosis. Se ha observado un riesgo similar de **cáncer de mama** entre las niñas y adolescentes menores de 20 años expuestas a radiación.

## ¿DE DÓNDE PROCEDE LA RADIACIÓN?

- LA RADIACIÓN PROCEDE DE MUCHAS FUENTES DIFERENTES Y NOS ENCONTRAMOS CONSTANTEMENTE EXPUESTOS A ELLA. TODAS LAS ESPECIES DE NUESTRO PLANETA HAN EXISTIDO Y EVOLUCIONADO EN AMBIENTES CON EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN NATURAL DE FONDO; Y MÁS RECIENTEMENTE, LOS HUMANOS Y OTROS ORGANISMOS TAMBIÉN HEMOS ESTADO EXPUESTOS A FUENTES ARTIFICIALES DESARROLLADAS DURANTE EL ÚLTIMO SIGLO. MÁS DEL 80 POR CIENTO DE NUESTRA EXPOSICIÓN PROVIENE DE FUENTES NATURALES, Y SÓLO EL 20 POR CIENTO RESTANTE PROVIENE DE FUENTES ARTIFICIALES PROPIAS DE LA ACTIVIDAD HUMANA —PRINCIPALMENTE DE LAS APLICACIONES RADIOLÓGICAS UTILIZADAS EN MEDICINA. EN LA PRESENTE PUBLICACIÓN, LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN SE CLASIFICARÁ SEGÚN EL ORIGEN DE SUS FUENTES, ENFOCÁNDOSE EN LO QUE RECIBE EL PÚBLICO EN GENERAL. ASIMISMO, CON FINES REGULATORIOS (PROTECCIÓN RADIOLÓGICA) LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN SE ABORDARÁ PARA DIFERENTES GRUPOS. POR CONSIGUIENTE, SE BRINDARÁ AQUÍ INFORMACIÓN ADICIONAL SOBRE LOS PACIENTES —EXPUESTOS DEBIDO AL USO MÉDICO DE LA RADIACIÓN— Y A LOS INDIVIDUOS EXPUESTOS EN SUS LUGARES DE TRABAJO.



## ¿DE DÓNDE PROCEDE LA RADIACIÓN?

- LA RADIACIÓN TAMBIÉN PUEDE CATEGORIZARSE SEGÚN EL MODO EN QUE NOS IRRADIA. LAS SUSTANCIAS RADIATIVAS Y LA RADIACIÓN EN EL MEDIOAMBIENTE PUEDEN IRRADIAR NUESTRO CUERPO DESDE EL EXTERIOR —EXTERNAMENTE—; O TAMBIÉN DESDE EL INTERIOR —INTERNAMENTE— AL INHALAR LAS SUSTANCIAS DEL AIRE, INGERIRLAS MEDIANTE ALIMENTOS O AGUA, O AL ABSORBERLAS POR LA PIEL O POR NUESTRAS HERIDAS. CONSIDERADAS EN CONJUNTO, LAS DOSIS POR EXPOSICIÓN INTERNA O EXTERNA SON MUY SIMILARES.





# FUENTES CÓSMICAS

- LOS RAYOS CÓSMICOS CONFORMAN UNA GRAN FUENTE NATURAL DE EXPOSICIÓN EXTERNA A LA RADIACIÓN. LA MAYORÍA DE ESTOS RAYOS SE ORIGINAN EN EL ESPACIO INTERESTELAR —ALGUNOS DE ELLOS EMITIDOS DURANTE ERUPCIONES SOLARES. ESTOS IRRADIAN LA TIERRA DE MANERA DIRECTA E INTERACTÚAN CON LA ATMÓSFERA PRODUCIENDO ASÍ DISTINTOS TIPOS DE RADIACIÓN Y MATERIAL RADIATIVO. ASIMISMO, SON LA FUENTE DOMINANTE DE RADIACIÓN EN EL ESPACIO EXTERIOR. MIENTRAS QUE LA ATMÓSFERA Y EL CAMPO MAGNÉTICO DE NUESTRO PLANETA REDUCEN CONSIDERABLEMENTE LA RADIACIÓN CÓSMICA, ALGUNAS PARTES DE SU TERRITORIO SE ENCUENTRAN MÁS EXPUESTAS QUE OTRAS. DEBIDO A QUE EL CAMPO MAGNÉTICO DESVÍA LA RADIACIÓN CÓSMICA HACIA LOS POLOS, ÉSTOS RECIBEN MÁS RADIACIÓN QUE LAS REGIONES ECUATORIALES.



**Figura2.** La interacción de un rayo cósmico de altísima energía con núcleos de la atmósfera, produce una enorme cantidad de partículas que se propagan hacia la tierra.

# FUENTES CÓSMICAS

## Dosis anuales por radiación cósmica\*

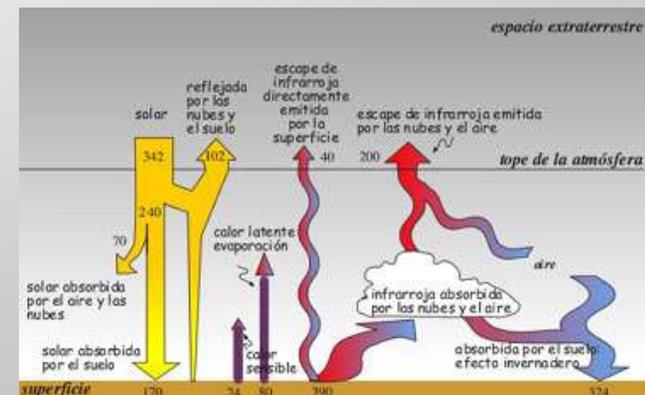


\* Exposición hipotética de 1 año.

# FUENTES TERRESTRES

## SUELO

- TODO LO QUE SE ENCUENTRA EN Y SOBRE LA TIERRA CONTIENE RADIONUCLEIDOS PRIMIGENIOS. ESTOS RADIONUCLEIDOS DE VIDA EXTREMADAMENTE LARGA, QUE SE ENCUENTRAN EN EL SUELO, (COMO EL POTASIO-40, URANIO-238 Y TORIO-232) JUNTO CON LOS RADIONUCLEIDOS EN LOS QUE ÉSTOS DECAEN (TALES COMO EL RADIO-226 Y EL RADÓN-222) HAN EMITIDO RADIACIÓN DESDE ANTES QUE NUESTRO PLANETA TOMARA SU FORMA ACTUAL. UNSCEAR ESTIMA QUE CADA PERSONA EN EL MUNDO RECIBE, EN PROMEDIO, UNA DOSIS EFECTIVA CERCANA A LOS 0,48 MSV ANUAL COMO EXPOSICIÓN EXTERNA POR FUENTES TERRESTRES.



# FUENTES TERRESTRES

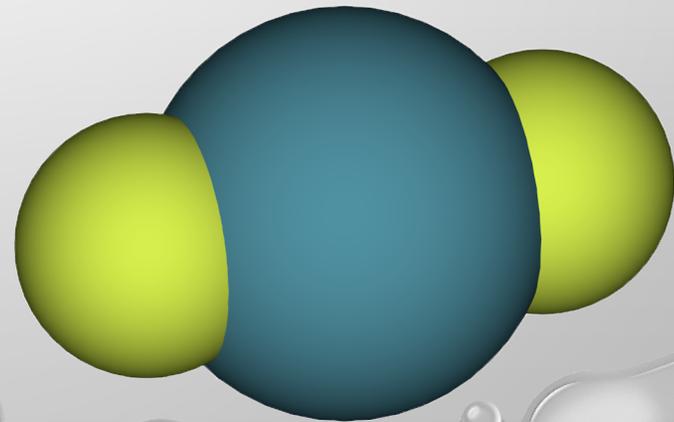
## SUELO

- LA EXPOSICIÓN EXTERNA VARÍA CONSIDERABLEMENTE ENTRE UN LUGAR Y OTRO. ESTUDIOS REALIZADOS EN FRANCIA, ALEMANIA, ITALIA, JAPÓN Y ESTADOS UNIDOS, POR EJEMPLO, SUGIEREN QUE APROXIMADAMENTE EL 95 POR CIENTO DE SUS POBLACIONES VIVE EN ÁREAS DONDE LA DOSIS PROMEDIO ANUAL AL AIRE LIBRE OSCILA ENTRE LOS 0,3 Y 0,6 MSV. SIN EMBARGO, EN ALGUNAS REGIONES DE ESTOS MISMOS PAÍSES LOS HABITANTES PUEDEN RECIBIR DOSIS SUPERIORES A 1 MSV ANUAL; Y EN OTROS LUGARES DEL MUNDO LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN QUE PROVIENE DE FUENTES TERRESTRES ES AÚN MÁS ELEVADA. POR EJEMPLO, EN LA COSTA SUDOESTE DE KERALA EN INDIA, UNA EXTENSA FRANJA DE 55 KM. DENSAMENTE POBLADA CONTIENE ARENAS RICAS EN TORIO Y SUS HABITANTES RECIBEN EN PROMEDIO 3,8 MSV AL AÑO. DEL MISMO MODO, SE CONOCEN OTRAS REGIONES CON ALTOS NIVELES DE FUENTES NATURALES TERRESTRES DE RADIACIÓN EN BRASIL, CHINA, REPÚBLICA ISLÁMICA DE IRÁN, MADAGASCAR Y NIGERIA.

# FUENTES TERRESTRES

## GAS RADÓN

- EL RADON-222 ES UN RADIONUCLEIDO EN FORMA DE GAS QUE NORMALMENTE EMANA DEL SUELO. ÉSTE ES PRODUCTO DE UNA SERIE DE DECAIMIENTOS DE URANIO-238 PRESENTE EN LAS ROCAS Y EN EL SUELO DE NUESTRO PLANETA. CUANDO SE LO INHALA, PARTE DE LOS PRODUCTOS DE CORTA VIDA QUE GENERA SU DECAIMIENTO (PRINCIPALMENTE POLONIO-218 Y -214) SON RETENIDOS EN LOS PULMONES E IRRADIAN LAS CÉLULAS EN EL TRACTO RESPIRATORIO CON PARTÍCULAS ALFA. EL RADÓN ES, POR CONSIGUIENTE, UNA CAUSA PRINCIPAL DEL CÁNCER DE PULMÓN TANTO PARA INDIVIDUOS FUMADORES COMO PARA LOS NO FUMADORES. NO OBSTANTE, LOS PRIMEROS SON MUCHO MÁS VULNERABLES DEBIDO A LA FUERTE INTERACCIÓN ENTRE EL ACTO DE FUMAR Y LA EXPOSICIÓN AL RADÓN.



# FUENTES TERRESTRES

## GAS RADÓN

- EL RADÓN SE ENCUENTRA PRESENTE EN TODA LA ATMÓSFERA, Y PUEDE FILTRARSE DIRECTAMENTE EN LOS EDIFICIOS POR MEDIO DE SÓTANOS Y PISOS, DONDE SU CONCENTRACIÓN —CANTIDAD DE ACTIVIDAD EN TÉRMINOS DE DECAIMIENTOS POR TIEMPO EN UN VOLUMEN DETERMINADO DE AIRE— PUEDE AUMENTAR. CUANDO SE UTILIZA CALEFACCIÓN EN LAS VIVIENDAS, EL AIRE CALIENTE ASCIENDE Y SE ESCAPA DE LA PARTE SUPERIOR POR MEDIO DE VENTANAS Y RAJADURAS, LO CUAL GENERA UNA BAJA PRESIÓN EN LA PLANTA BAJA Y SÓTANO. ESTE HECHO GENERA UNA SUCCIÓN ACTIVA DEL RADÓN QUE SE ALOJA EN EL SUBSUELO A TRAVÉS DE RAJADURAS Y FILTRACIONES (POR EJEMPLO, ALREDEDOR DE LAS ENTRADAS DE LAS TUBERÍAS DE SERVICIO) EN LA PARTE INFERIOR DE LA VIVIENDA.



# FUENTES TERRESTRES

## GAS RADÓN

- EL PROMEDIO MUNDIAL DE CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN INTERIORES ES DE APROXIMADAMENTE 50 BQ/M<sup>3</sup>; SIN EMBARGO, DICHA CIFRA OCULTA LA GRAN VARIABILIDAD QUE EXISTE ENTRE UN LUGAR Y OTRO. EN GENERAL, LAS CONCENTRACIONES NACIONALES PROMEDIO VARÍAN AMPLIAMENTE ENTRE VALORES MENORES A 10 BQ/MEN CHIPRE, EGIPTO Y CUBA, HASTA OTROS MAYORES A 100 BQ/MEN REPÚBLICA CHECA, FINLANDIA Y LUXEMBURGO. EN ALGUNOS PAÍSES COMO CANADÁ, SUECIA Y SUIZA EXISTEN VIVIENDAS CON CONCENTRACIONES DE RADÓN DE ENTRE 1 000 Y 10 000 BQ/M. NO OBSTANTE, LA CANTIDAD DE VIVIENDAS CON TAN ELEVADO NIVEL DE CONCENTRACIÓN ES MUY PEQUEÑA. CIERTOS FACTORES QUE CAUSAN DICHA VARIACIÓN SON: LA GEOLOGÍA SUBYACENTE DEL LUGAR, LA PERMEABILIDAD DEL SUELO, EL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Y LA VENTILACIÓN DE LAS EDIFICACIONES.

# FUENTES TERRESTRES



# FUENTES TERRESTRES

## GAS RADÓN

- LA VENTILACIÓN, LA CUAL DEPENDE DEL CLIMA, RESULTA SER UN FACTOR CLAVE. SI LOS EDIFICIOS SE ENCUENTRAN VENTILADOS CORRECTAMENTE, COMO SUELE SER EN UN CLIMA TROPICAL, ES IMPROBABLE QUE LA ACUMULACIÓN DE RADÓN SEA ABUNDANTE. POR EL CONTRARIO, LAS CONCENTRACIONES DE RADÓN PUEDEN AUMENTAR CONSIDERABLEMENTE EN LOS LUGARES QUE TIENDEN A ESTAR MENOS VENTILADOS. POR CONSIGUIENTE, EL EFECTO DE UNA VENTILACIÓN LIMITADA ES MUY IMPORTANTE AL MOMENTO DE DISEÑAR EDIFICIOS CON EFICIENCIA ENERGÉTICA. EN MUCHOS PAÍSES SE HAN LLEVADO A CABO EXHAUSTIVOS PROGRAMAS DE MEDICIÓN QUE HAN CONFORMADO EN EL BASE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS A FIN DE REDUCIR LAS CONCENTRACIONES DE RADÓN EN INTERIORES. EL NIVEL DE RADÓN EN AGUA ES USUALMENTE MUY BAJO, PERO ALGUNOS SUMINISTROS TIENEN CONCENTRACIONES MUY ALTAS; POR EJEMPLO, POZOS PROFUNDOS UBICADOS EN HELSINKI, FINLANDIA Y HOT SPRINGS EN ARKANSAS, ESTADOS UNIDOS. EL RADÓN EN AGUA PUEDE CONTRIBUIR A UN INCREMENTO EN LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN AIRE, PARTICULARMENTE EN EL CUARTO DE BAÑO AL TOMAR UNA DUCHA. SIN EMBARGO, UNSCEAR HA LLEGADO A LA CONCLUSIÓN DE QUE LA CONTRIBUCIÓN DE DOSIS DE RADÓN QUE SE INGIERE AL BEBER ES MENOR A LA DOSIS QUE SE INCORPORA POR INHALACIÓN. ASIMISMO, UNSCEAR ESTIMA QUE LA DOSIS EFECTIVA ANUAL PROMEDIO DE RADÓN ES DE 1,3 MSV, LA CUAL REPRESENTA CASI LA MITAD DE LA DOSIS QUE EL PÚBLICO RECIBE POR FUENTES NATURALES.

## FUENTES EN ALIMENTOS Y BEBIDAS

- LOS ALIMENTOS Y LAS BEBIDAS PODRÍAN CONTENER —ENTRE OTROS— RADIONUCLEIDOS PRIMIGENIOS QUE PRINCIPALMENTE PROVIENEN DE FUENTES NATURALES. LAS ROCAS Y LOS MINERALES PRESENTES TANTO EN SUELO COMO EN AGUA CONTIENEN RADIONUCLEIDOS QUE PUEDEN TRANSFERIRSE DESDE ÉSTOS A LAS PLANTAS, Y LUEGO A LOS ANIMALES. DE ESTE MODO, LAS DOSIS VARÍAN SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE RADIONUCLEIDOS TANTO EN AGUA COMO EN ALIMENTOS, Y LOS HÁBITOS ALIMENTICIOS LOCALES.

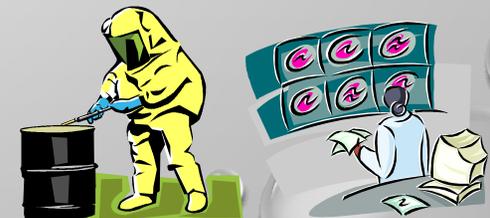


## FUENTES EN ALIMENTOS Y BEBIDAS

- POR EJEMPLO, LOS PECES Y MOLUSCOS TIENEN NIVELES RELATIVAMENTE ALTOS DE PLOMO-210 Y POLONIO-210, POR LO QUE LAS PERSONAS QUE LOS INGIEREN EN GRANDES CANTIDADES PODRÍAN RECIBIR CIERTAS DOSIS MAYORES A LA POBLACIÓN QUE NO LOS CONSUME. DEL MISMO MODO, LOS HABITANTES DE REGIONES ÁRTICAS QUE CONSUMEN GRANDES CANTIDADES DE CARNE DE RENO TAMBIÉN RECIBEN DOSIS COMPARATIVAMENTE MÁS ALTAS. EL RENO EN DICHA ZONA CONTIENE CONCENTRACIONES DE POLONIO-210 RELATIVAMENTE ALTAS, ACUMULADAS EN EL LIQUEN DEL QUE SE ALIMENTAN. UNSCEAR ESTIMA QUE LA DOSIS EFECTIVA PROMEDIO POR FUENTES NATURALES TANTO EN ALIMENTOS COMO EN BEBIDAS ES DE 0,3 MSV DEBIDO, FUNDAMENTALMENTE, AL POTASIO-10 Y A LA SERIE DE RADIONUCLEIDOS DEL URANIO-238 Y TORIO-232.

# FUENTES ARTIFICIALES

- LOS USOS DE LA RADIACIÓN HAN AUMENTADO DE MANERA SIGNIFICATIVA EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS, CUANDO LOS CIENTÍFICOS APRENDIERON A UTILIZAR LA ENERGÍA DEL ÁTOMO PARA UNA AMPLIA VARIEDAD DE PROPÓSITOS, DESDE LOS MILITARES A LAS APLICACIONES MÉDICAS (POR EJEMPLO, EL TRATAMIENTO DEL CÁNCER), Y DESDE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD HASTA APLICACIONES DOMÉSTICAS (POR EJEMPLO, EN DETECTORES DE HUMO). ÉSTAS Y OTRAS FUENTES ARTIFICIALES DE RADIACIÓN SE SUMAN A LA DOSIS DE RADIACIÓN RECIBIDA POR LAS FUENTES NATURALES, INDIVIDUALES Y PARA LA POBLACIÓN MUNDIAL.



# APLICACIONES MÉDICAS

## Dosis efectivas medias por persona en los Estados Unidos (2007)

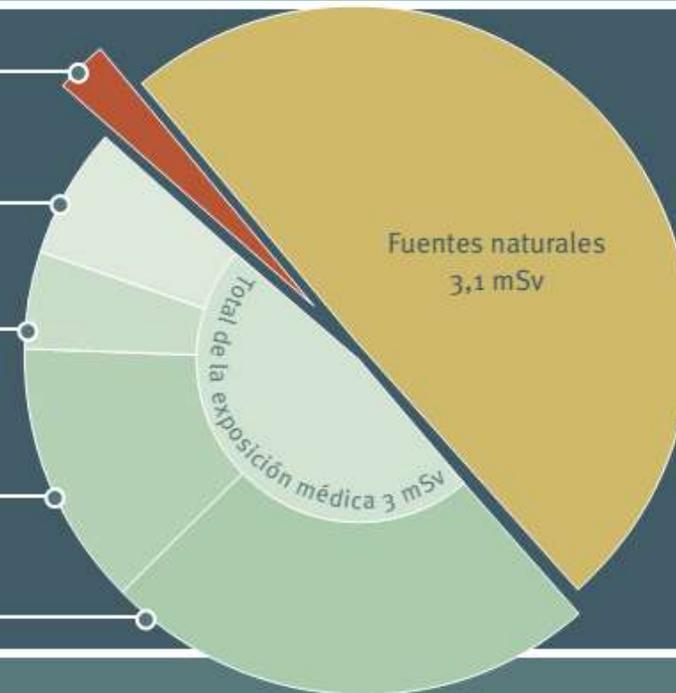
Todas las demás 0,14 mSv

Intervenciones radiológicas  
0,40 mSv

Radiografía de diagnóstico  
0,30 mSv

Medicina nuclear  
0,80 mSv

Tomografías CT 1,5 mSv



# APLICACIONES MÉDICAS

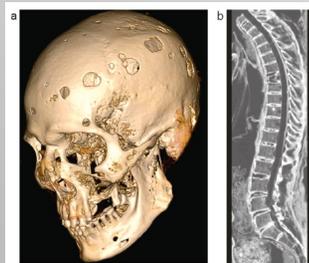
- EL AUMENTO DE LA URBANIZACIÓN, JUNTO CON UNA MEJORA GRADUAL DEL NIVEL DE VIDA, INEVITABLEMENTE SIGNIFICA QUE MÁS PERSONAS PUEDEN ACCEDER A LA ASISTENCIA MÉDICA. COMO CONSECUENCIA, LA DOSIS A LA POBLACIÓN DEBIDA A LA EXPOSICIÓN MÉDICA CONTINÚA AUMENTANDO EN TODO EL MUNDO. UNSCEAR HA ESTADO RECABANDO PERIÓDICAMENTE INFORMACIÓN SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS DIAGNÓSTICOS Y TERAPÉUTICOS. DE ACUERDO CON LA ENCUESTA PARA EL PERÍODO DE 1997 A 2007, ALREDEDOR DE 3,6 MIL MILLONES DE PROCEDIMIENTOS MÉDICOS RADIOLÓGICOS SE REALIZAN ANUALMENTE EN TODO EL MUNDO, EN COMPARACIÓN CON LOS 2,5 MILLONES EFECTUADOS EN EL PERÍODO CUBIERTO POR DE LA ENCUESTA ANTERIOR, DE 1991 A 1996, LO QUE SUPONE UN INCREMENTO DE CASI EL 50 POR CIENTO. LAS PRINCIPALES CATEGORÍAS GENERALES DE LA PRÁCTICA MÉDICA QUE INVOLUCRAN LA RADIACIÓN SON LA RADIOLOGÍA (QUE INCLUYE LOS PROCEDIMIENTOS DE INTERVENCIÓN), LA MEDICINA NUCLEAR Y LA RADIOTERAPIA. OTROS USOS, NO INCLUIDOS EN LAS INVESTIGACIONES PERIÓDICAS DE UNSCEAR ABARCAN LOS PROGRAMAS DE CRIBADO MÉDICO Y LA PARTICIPACIÓN VOLUNTARIA EN PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN MÉDICA, BIOMÉDICA, DIAGNÓSTICA O TERAPÉUTICA.

# APLICACIONES MÉDICAS

- LA **RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA** ES EL ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES OBTENIDAS POR MEDIO DE RAYOS X, TALES COMO EN LA RADIOGRAFÍA SIMPLE (POR EJEMPLO, RADIOGRAFÍAS DE TÓRAX O DENTALES), FLUOROSCOPIA (POR EJEMPLO, CON PAPILLA O CON ENEMA DE BARIO) Y LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC). UNSCEAR NO ANALIZA LAS MODALIDADES DE IMAGEN QUE UTILIZAN RADIACIÓN NO IONIZANTE, COMO SON LA ECOGRAFÍA O LA TOMOGRAFÍA DE RESONANCIA MAGNÉTICA. LA RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA UTILIZA PROCEDIMIENTOS MÍNIMAMENTE INVASIVOS, GUIADOS POR IMÁGENES, PARA EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DE ENFERMEDADES (POR EJEMPLO, PARA GUIAR UN CATÉTER EN UN VASO SANGUÍNEO).

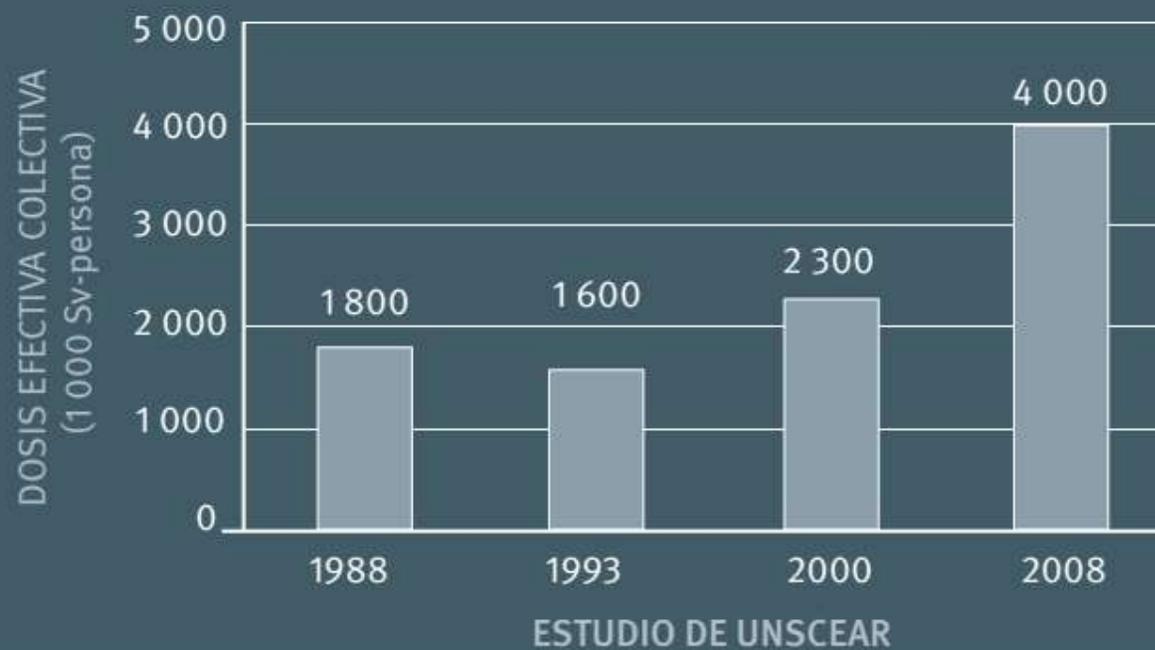
# APLICACIONES MÉDICAS

- DEBIDO A LA MAYOR UTILIZACIÓN DE LA **TC** Y A QUE LA DOSIS RECIBIDA POR CADA EXAMEN ES CONSIDERABLE, LA DOSIS EFECTIVA MEDIA GLOBAL DE LOS PROCEDIMIENTOS DE DIAGNÓSTICO RADIOLÓGICOS CASI SE DUPLICÓ, DE 0,35 MSV EN 1988 A 0,62 MSV EN EL AÑO 2007. DE ACUERDO CON EL ESTUDIO MÁS RECIENTE DE UNSCEAR, LA TC REPRESENTA ACTUALMENTE EL 43 POR CIENTO DE LA DOSIS COLECTIVA TOTAL DEBIDA A LOS PROCEDIMIENTOS RADIOLÓGICOS. ESTOS NÚMEROS VARÍAN DE UNA REGIÓN A OTRA. ALREDEDOR DE DOS TERCIOS DE TODOS LOS PROCEDIMIENTOS RADIOLÓGICOS SON RECIBIDOS POR EL 25 POR CIENTO DE LA POBLACIÓN MUNDIAL, QUE VIVE EN LOS PAÍSES INDUSTRIALIZADOS. PARA EL RESTANTE 75 POR CIENTO DE LA POBLACIÓN MUNDIAL, LA FRECUENCIA ANUAL DE LOS PROCEDIMIENTOS SE HA MANTENIDO ESTABLE, INCLUSO PARA LOS EXÁMENES DE RAYOS X DENTALES SIMPLES.



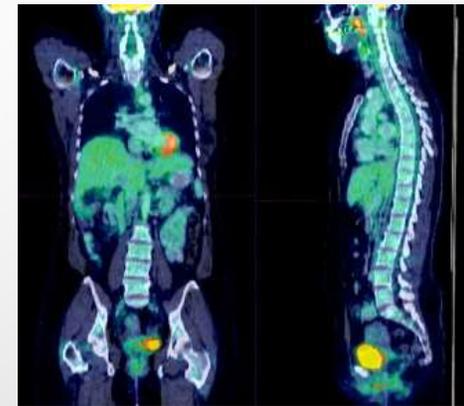
# APLICACIONES MÉDICAS

Exposición mundial causada por la radiología (1988–2008)



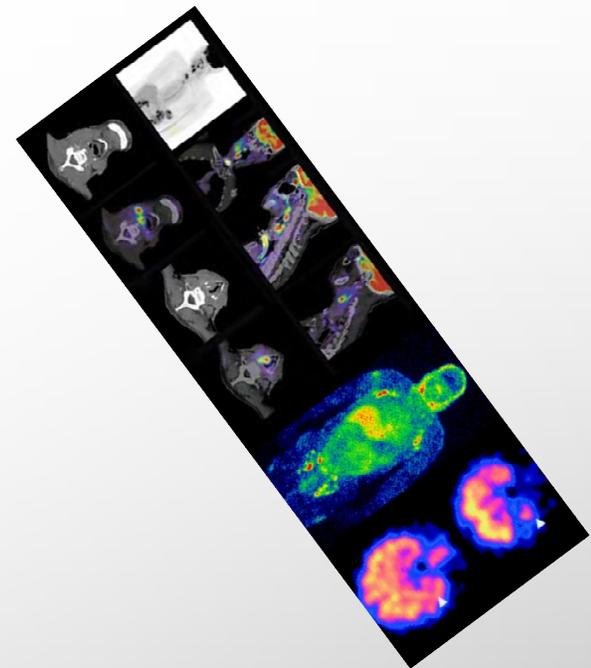
# APLICACIONES MÉDICAS

- **LA MEDICINA NUCLEAR** ES LA INTRODUCCIÓN DE SUSTANCIAS RADIATIVAS NO SELLADAS (ESTO ES, QUE SON SOLUBLES, Y NO ENCAPSULADAS) EN EL CUERPO, PRINCIPALMENTE PARA OBTENER IMÁGENES QUE PROPORCIONAN INFORMACIÓN SOBRE LA ESTRUCTURA O LA FUNCIÓN DE UN ÓRGANO Y MENOS FRECUENTEMENTE UTILIZADOS PARA TRATAR CIERTAS ENFERMEDADES, COMO EL HIPERTIROIDISMO Y EL CÁNCER DE TIROIDES. GENERALMENTE, UN RADIONÚCLIDO SE MODIFICA QUÍMICAMENTE PARA FORMAR UN RADIOFÁRMACO QUE GENERALMENTE SE ADMINISTRA POR VÍA INTRAVENOSA O POR VÍA ORAL. ÉL RADIOFÁRMACO SE DISPERSA EN EL CUERPO DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS O QUÍMICAS, LO QUE HACE POSIBLE EL ANÁLISIS. POR LO TANTO, LA RADIACIÓN EMITIDA POR EL RADIONÚCLIDO DENTRO DEL CUERPO SE ANALIZA, PARA PRODUCIR IMÁGENES DE DIAGNÓSTICO O SE USA PARA TRATAR ENFERMEDADES.



# APLICACIONES MÉDICAS

- EL NÚMERO DE PROCEDIMIENTOS DE DIAGNÓSTICO DE MEDICINA NUCLEAR EN TODO EL MUNDO AUMENTÓ DE ALREDEDOR DE 24 MILLONES EN 1988 A CERCA DE 33 MILLONES EN 2007. ESTO PRODUJO UN AUMENTO SIGNIFICATIVO DE LA DOSIS EFECTIVA COLECTIVA ANUAL, DE 74 000 A 202 000 SV-PERSONA. LAS APLICACIONES TERAPÉUTICAS MODERNAS DE MEDICINA NUCLEAR TAMBIÉN ESTÁN AUMENTANDO, ALCANZANDO UNOS 0,9 MILLONES DE PACIENTES CADA AÑO EN TODO EL MUNDO. UNA VEZ MÁS, EL USO DE LA MEDICINA NUCLEAR ES MUY DESIGUAL, EL 90 POR CIENTO DE LOS EXÁMENES SE REALIZAN EN LOS PAÍSES INDUSTRIALIZADOS.



# APLICACIONES MÉDICAS

- **LA TERAPIA CON RADIACIÓN** (TAMBIÉN LLAMADA RADIOTERAPIA) USA LA RADIACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE DIVERSAS ENFERMEDADES, POR LO GENERAL EL CÁNCER, AUNQUE TAMBIÉN PARA TRATAR TUMORES BENIGNOS. LA RADIOTERAPIA EXTERNA SE REFIERE AL TRATAMIENTO USANDO UNA FUENTE DE RADIACIÓN QUE ESTÁ FUERA DEL CUERPO DEL PACIENTE, Y SE LLAMA TELETERAPIA. PARA ESTO SE UTILIZA UNA MÁQUINA QUE CONTIENE UNA FUENTE DE RADIACIÓN DE ALTA ACTIVIDAD (POR LO GENERAL COBALTO-60), O SE USA UNA MÁQUINA DE ALTO VOLTAJE QUE PRODUCE LA RADIACIÓN (POR EJEMPLO, UN ACELERADOR LINEAL). EL TRATAMIENTO TAMBIÉN PUEDE REALIZARSE COLOCANDO FUENTES RADIATIVAS METÁLICAS O SELLADAS, DE FORMA TEMPORAL O PERMANENTE, DENTRO DEL CUERPO DEL PACIENTE; ESTO SE LLAMA BRAQUITERAPIA.

# APLICACIONES MÉDICAS

- A NIVEL MUNDIAL, SE ESTIMA QUE 5,1 MILLONES DE PACIENTES FUERON TRATADOS ANUALMENTE CON RADIOTERAPIA DURANTE EL PERÍODO DE 1997 A 2007, FRENTE A UN ESTIMADO DE 4,3 MILLONES EN 1988. ALREDEDOR DE 4,7 MILLONES FUERON TRATADOS MEDIANTE TELETERAPIA Y 0,4 MILLONES CON BRAQUITERAPIA. EL 25 POR CIENTO DE LA POBLACIÓN MUNDIAL, QUE VIVE EN LOS PAÍSES INDUSTRIALIZADOS, RECIBIÓ EL 70 POR CIENTO DE LOS TRATAMIENTOS DE RADIOTERAPIA Y EL 40 POR CIENTO DE TODOS LOS PROCEDIMIENTOS DE BRAQUITERAPIA REALIZADOS EN TODO EL MUNDO.



# ACCIDENTES EN APLICACIONES MÉDICAS

- ALGUNAS APLICACIONES MÉDICAS DE LA RADIACIÓN (POR EJEMPLO, LA RADIOTERAPIA, LA RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA Y LA MEDICINA NUCLEAR) IMPLICAN LA ADMINISTRACIÓN DE DOSIS ALTAS A LOS PACIENTES. CUANDO SE APLICA DE FORMA INCORRECTA, PUEDE CAUSAR DAÑOS GRAVES O INCLUSO LA MUERTE. LAS PERSONAS EN RIESGO INCLUYEN NO SÓLO A LOS PACIENTES, SINO TAMBIÉN A LOS MÉDICOS Y DEMÁS PERSONAL CERCANO. EL ERROR HUMANO HA SIDO LA CAUSA MÁS COMÚN DE ESTOS ACCIDENTES. ALGUNOS EJEMPLOS SON LA ADMINISTRACIÓN DE UNA DOSIS INCORRECTA DEBIDO A ERRORES DE PLANIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO, NO UTILIZAR LOS EQUIPOS ADECUADAMENTE, LA EXPOSICIÓN AL ÓRGANO EQUIVOCADO O, EN OCASIONES INCLUSO AL PACIENTE EQUIVOCADO. A PESAR DE QUE LOS ACCIDENTES DE RADIOTERAPIA GRAVES SON POCO FRECUENTES, SE HAN REGISTRADO MÁS DE 100. UNSCEAR HA ANALIZADO 29 ACCIDENTES REGISTRADOS DESDE 1967 QUE CAUSARON 45 MUERTES Y 613 HERIDOS. SIN EMBARGO, ES PROBABLE QUE NO SE HAYAN REPORTADO ALGUNAS MUERTES Y NUMEROSAS LESIONES. NO SÓLO LA SOBREEXPOSICIÓN, TAMBIÉN LA SUBEXPOSICIÓN PUEDE TENER SERIAS CONSECUENCIAS, CUANDO LOS PACIENTES RECIBEN DOSIS DE RADIACIÓN INSUFICIENTE PARA TRATAR UNA ENFERMEDAD QUE AMENZA LA VIDA. LOS PROGRAMAS DE GARANTÍA DE CALIDAD AYUDAN A MANTENER LAS PRÁCTICAS CON ESTÁNDARES ALTOS Y CONSISTENTES CON EL FIN DE MINIMIZAR EL RIESGO DE ACCIDENTES DE ESTE TIPO.

# APLICACIONES INDUSTRIALES Y OTRAS APLICACIONES

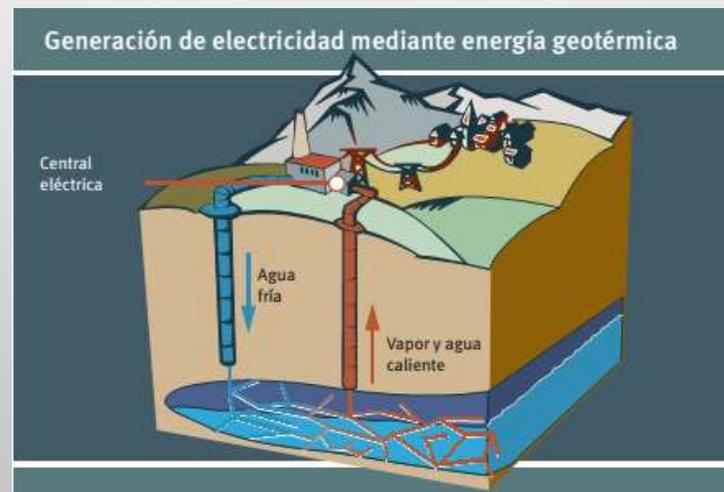
- LAS FUENTES DE RADIACIÓN SE UTILIZAN EN UNA AMPLIA GAMA DE APLICACIONES INDUSTRIALES. ÉSTAS INCLUYEN LA IRRADIACIÓN INDUSTRIAL, USADA PARA LA ESTERILIZACIÓN DE PRODUCTOS MÉDICOS Y FARMACÉUTICOS, PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS ALIMENTOS Y PARA LA ERRADICACIÓN DE PLAGAS DE INSECTOS; LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL, QUE ES UTILIZADA PARA EXAMINAR SI HAY DEFECTOS DE LAS UNIONES METÁLICAS SOLDADAS; LOS EMISORES ALFA O BETA, QUE SE UTILIZAN EN COMPUESTOS LUMINISCENTES PARA LAS MIRAS DE ARMAS, Y COMO FUENTES DE LUZ DE BAJO NIVEL EN SEÑALES DE SALIDA DE EMERGENCIA, E ILUMINACIÓN DE MAPAS; LAS FUENTES RADIATIVAS O MÁQUINAS DE RAYOS X EN MINIATURA UTILIZADOS EN LA EXCAVACIÓN DE POZOS, PARA MEDIR LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LOS POZOS PERFORADOS, PARA LA EXPLORACIÓN DE GAS Y PETRÓLEO; LAS FUENTES RADIATIVAS UTILIZADAS EN LOS DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DE ESPESORES, HUMEDAD, DENSIDAD Y NIVELES DE MATERIALES; Y OTRAS FUENTES RADIATIVAS SELLADAS UTILIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN AUNQUE GENERALIZADA, LA PRODUCCIÓN DE RADIONUCLEIDOS PARA SU USO EN LAS PRÁCTICAS INDUSTRIALES Y MÉDICAS PRODUCE NIVELES MUY BAJOS DE EXPOSICIÓN DEL PÚBLICO EN GENERAL. SIN EMBARGO, EN CASO DE ACCIDENTES, PUEDEN CONTAMINARSE ÁREAS MÁS LOCALIZADAS, Y ORIGINAR ALTOS NIVELES DE EXPOSICIÓN.

# MATERIALES RADIATIVOS NATURALES (NORM)

- HAY ALGUNOS TIPOS DE INSTALACIONES EN TODO EL MUNDO QUE, SI BIEN NO GUARDAN RELACIÓN CON EL USO DE LA ENERGÍA NUCLEAR, PUEDEN EXPONER A LA POBLACIÓN A LA RADIACIÓN DEBIDO AL AUMENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIALES RADIATIVOS NATURALES (NORM) EN SUS PRODUCTOS INDUSTRIALES, SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS. LA MÁS IMPORTANTE DE ESTAS INSTALACIONES INVOLUCRA A LA MINERÍA Y EL PROCESAMIENTO DE MINERALES, LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA EXTRACCIÓN Y EL PROCESAMIENTO DE MINERALES TAMBIÉN PUEDEN INCREMENTAR LOS NIVELES DE NORM. ESTAS ACTIVIDADES INCLUYEN LA MINERÍA Y FUNDICIÓN DE METALES; LA PRODUCCIÓN DE FOSFATOS; LA MINERÍA DE CARBÓN Y LA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DEL CARBÓN; LA EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO Y GAS; LA INDUSTRIA DEL ÓXIDO DE TITANIO Y TIERRAS RARAS; LA INDUSTRIA DEL CIRCONIO Y LA CERÁMICA; Y LAS APLICACIONES QUE UTILIZAN RADIONÚCLIDOS DE ORIGEN NATURAL (POR LO GENERAL ISÓTOPOS DE RADIO Y DE TORIO).EL CARBÓN, POR EJEMPLO, CONTIENE TRAZAS DE RADIONÚCLIDO ELEMENTALES. LA COMBUSTIÓN LIBERA ESTOS RADIONÚCLIDOS AL MEDIOAMBIENTE DONDE PUEDEN PRODUCIR EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS. ESTO SIGNIFICA QUE POR CADA GIGAVATIO-AÑO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR LAS CENTRALES ELÉCTRICAS A BASE DE CARBÓN DEL MUNDO, SE CALCULA QUE LA DOSIS COLECTIVA DE LA POBLACIÓN MUNDIAL AUMENTA ALREDEDOR DE 20 SV-PERSONA ANUALMENTE. ADEMÁS, LAS CENIZAS VOLANTES (UN RESIDUO GENERADO EN LA COMBUSTIÓN) SE HAN UTILIZADO COMO MATERIAL DE RELLENO Y EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, PERO SU UTILIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS CAUSA EXPOSICIÓN

## MATERIALES RADIATIVOS NATURALES (NORM)

- A LA RADIACIÓN, TANTO POR IRRADIACIÓN DIRECTA COMO POR INHALACIÓN DE RADÓN. POR OTRA PARTE, LA DISPOSICIÓN DE CENIZAS VOLANTES PUEDE AUMENTAR LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN EN LOS ALREDEDORES DE LOS VERTEDEROS. LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD MEDIANTE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA ES OTRA FUENTE DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN DEL PÚBLICO EN GENERAL. LOS DEPÓSITOS SUBTERRÁNEOS DE VAPOR Y AGUA CALIENTE SON APROVECHADOS PARA GENERAR ELECTRICIDAD O PARA LA CALEFACCIÓN DE LOS EDIFICIOS. LAS ESTIMACIONES DE LAS EMISIONES PROCEDENTES DE LA UTILIZACIÓN DE ESTA TECNOLOGÍA EN ITALIA Y LOS ESTADOS UNIDOS, SUGIEREN QUE SE PRODUCE ALREDEDOR DEL 10 POR CIENTO DE LA DOSIS COLECTIVA ANUAL POR GIGAVATIO-AÑO DE ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR LAS CENTRALES ELÉCTRICAS DE CARBÓN. LA ENERGÍA GEOTÉRMICA ACTUALMENTE TIENE UNA CONTRIBUCIÓN RELATIVAMENTE PEQUEÑA A LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ENERGÍA Y, POR LO TANTO, A LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN.



# EXPOSICIÓN MEDIA DE LA POBLACIÓN Y DE LOS TRABAJADORES

- EN GENERAL, LA EXPOSICIÓN DEL PÚBLICO POR RADIACIÓN PROVENIENTE DE FUENTES NATURALES DOMINA LA EXPOSICIÓN TOTAL. UNSCEAR ESTIMÓ LA DOSIS EFECTIVA ANUAL PROMEDIO PARA UN INDIVIDUO EN ALREDEDOR DE 3 MSV. EN PROMEDIO, LA DOSIS ANUAL DEBIDA A FUENTES NATURALES DE RADIACIÓN ES DE 2,4 MSV, Y DOS TERCIOS DE ELLA PROVIENEN DE SUSTANCIAS RADIATIVAS PRESENTES EN EL AIRE QUE RESPIRAMOS, LOS ALIMENTOS QUE COMEMOS Y EL AGUA QUE BEBEMOS. LA PRINCIPAL FUENTE DE EXPOSICIÓN DEBIDA A FUENTES ARTIFICIALES ES LA RADIACIÓN USADA EN LA MEDICINA, CON UNA DOSIS EFECTIVA MEDIA ANUAL INDIVIDUAL DE 0,62 MSV. LA EXPOSICIÓN RADIOLÓGICA MÉDICA VARÍA POR REGIÓN, PAÍS Y POR EL SISTEMA DE SALUD LOCAL. UNSCEAR HA ESTIMADO LA DOSIS EFECTIVA ANUAL PROMEDIO DEBIDA A LAS APLICACIONES MÉDICAS DE LAS RADIACIONES, EN LOS PAÍSES INDUSTRIALIZADOS DE 1,9 MSV Y EN LOS PAÍSES NO INDUSTRIALIZADOS DE 0,32 MSV. SIN EMBARGO, ESTOS VALORES PUEDEN VARIAR CONSIDERABLEMENTE (POR EJEMPLO, EN LOS ESTADOS UNIDOS ES DE 3 MSV, MIENTRAS QUE EN KENIA ES DE SOLAMENTE DE 0,05 MSV).



# EXPOSICIÓN MEDIA DE LA POBLACIÓN Y DE LOS TRABAJADORES

## Exposición media del público, por fuente de radiación\*

### Fuentes naturales | 2,4 mSv

Alimentos — 0,29 mSv

Rayos cósmicos — 0,39 mSv

El suelo — 0,48 mSv

Radón — 1,3 mSv

### Fuentes artificiales | 0,65 mSv

Centrales nucleares — 0,0002 mSv

Accidente de Chernobyl — 0,002 mSv

Radiactividad residual de ensayos de armas nucleares — 0,005 mSv

Medicina nuclear — 0,03 mSv

Radiología — 0,62 mSv

\* Estimaciones redondeadas de la dosis efectiva recibida por una persona en el curso de 1 año (media mundial).

## EXPOSICIÓN EN EL ÁREA DE TRABAJO

- LAS DOSIS CAUSADAS POR FUENTES CÓSMICAS SON PARTICULARMENTE IMPORTANTES PARA LAS PERSONAS QUE VIAJAN CON FRECUENCIA COMO LOS PILOTOS Y LA TRIPULACIÓN DE CABINA, QUIENES RECIBEN UN PROMEDIO DE 2–3 MSV ANUALES. ASIMISMO, SE HAN CALCULADO LAS DOSIS PARA CIERTAS MISIONES AL ESPACIO EXTERIOR. LAS DOSIS INFORMADAS PARA MISIONES CORTAS DE ESTE TIPO OSCILARON ENTRE 2–27 MSV SEGÚN LA ACTIVIDAD SOLAR. SIN EMBARGO, EN UNA MISIÓN DE CUATRO MESES A LA ESTACIÓN ESPACIAL INTERNACIONAL QUE ÓRBITA LA TIERRA A 350 KM, UN ASTRONAUTA RECIBE UNA DOSIS EFECTIVA CERCANA A LOS 100 MSV.



## EXPOSICIÓN MEDIA DE LA POBLACIÓN Y DE LOS TRABAJADORES

- LA ESTIMACIÓN ACTUAL DEL NÚMERO TOTAL DE LOS TRABAJADORES VIGILADOS ES DE APROXIMADAMENTE 23 MILLONES EN TODO EL MUNDO, DE LOS CUALES ALREDEDOR DE 10 MILLONES ESTÁN EXPUESTOS A LAS FUENTES ARTIFICIALES. TRES DE CADA CUATRO TRABAJADORES EXPUESTOS A LAS FUENTES ARTIFICIALES TRABAJAN EN EL SECTOR MÉDICO, CON UNA DOSIS EFECTIVA ANUAL POR TRABAJADOR DE 0,5 MSV. LA EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE LA DOSIS EFECTIVA ANUAL MEDIA POR TRABAJADOR MUESTRA UN AUMENTO EN LA EXPOSICIÓN POR FUENTES NATURALES, DEBIDO PRINCIPALMENTE A LA MINERÍA, Y UNA DISMINUCIÓN EN LA EXPOSICIÓN POR FUENTES ARTIFICIALES, DEBIDA PRINCIPALMENTE A ADECUADA IMPLANTACIÓN DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.