

ENVENENAMIENTO POR RADIACIÓN

MARCO TEÓRICO



AUTOR: © PEDRO ZURITA MORENO



AUTOR Y EDICIÓN:

© PEDRO ZURITA MORENO

Policía Local Sanlúcar La Mayor (Sevilla)

Nº de Depósito Legal



© Reservados todos los derechos del Autor, queda prohibida cualquier copia total o parcial de esta obra para su inclusión en otras publicaciones, salvo autorización expresa de su autor.
Queda autorizada su impresión y difusión por cualquier tipo de medio.

INDICE

1.- Resumen.

2.- Introducción.

3.- Radioactividad y radiaciones ionizantes.

4.- Las armas radiológicas.

5.- Envenenamiento por radiación.

5.1.- Envenenamiento por Uranio.

5.2.- Envenenamiento por Polonio.

5.3.- Envenenamientos. Casos.

6.- Conclusiones

7.- Bibliografía

1.- Resumen.

La radiación que es emitida de modo natural por distintos elementos presentes en la tierra, es un tema que presenta particular interés, dado el hecho que debido a la evolución de las sociedades, ésta es utilizada con diversos fines, por lo que, en las páginas que continúan se desarrolla una investigación centrada de modo principal en el estudio de ésta, analizando sus orígenes, conceptualización y el modo como se encuentra compuesta con la finalidad de destacar los posibles efectos que podría ocasionar en los seres humanos ante su exposición, estudiando además cómo sus principales elementos, siendo estos el uranio y el polonio, se han convertido en instrumentos utilizados como un método de venganza, produciendo con ellos el envenenamiento de personas propiciando su posterior muerte.

2.- Introducción.

Los seres humanos desde que tuvo lugar su aparición en la tierra, sin tener para ello que escoger una teoría determinada respecto a dicha situación, por cuanto es conocido que hay dos grandes teorías contrapuestas en lo que se relaciona con el referido aspecto, divididas en lo que puede ser considerado en posiciones divergentes, pues mientras por una parte se considera que la existencia humana se debe a un proceso de creación sobrenatural, ejecutado por un ser superior pudiendo denominarse como teoría divina, en otro sentido, se encuentra aquella de acuerdo con la que los individuos han evolucionado a partir de otros seres vivos adaptándose a cada una de las situaciones que le ha correspondido vivir haciendo valer la selección natural o la posición del más apto, siendo defendida principalmente por Charles Darwin.

Ahora bien, sin importar cuál de las teorías anteriores tome cada individuo, es una realidad que los seres humanos se encuentran en la tierra y se mantienen ocupándola desde épocas antiguas, evolucionando a la par que lo hace el entorno en el cual se encuentran, pues a medida que pasa el tiempo la forma y modo de ejecutar las acciones se va modificando, adaptándose no sólo a cada lapso de tiempo en particular, sino a cada comunidad, pues en ellas difieren los métodos para ejecutar las distintas tareas que se propongan.

Además, en el proceso de interrelación constante de las personas es un hecho probable que surjan discrepancias respecto a la forma de cómo ejecutar una actividad determinada así como en cuanto pueda relacionarse con un tema en particular, ya que cada persona es no sólo independiente en sus pensamientos y raciocinio, sino en el modo de ejecutar las actividades, ya que no existe una forma única, exclusiva o excluyente de realizar un acto en particular.

De esta forma, al permitirse la ejecución de actividades de acuerdo con los métodos que posee cada individuo, se les está otorgando a estos las probabilidades de aprender cómo se ejecutan así como de incorporar alternativas para su elaboración, hecho que en un contexto general, no tiene porque causar perjuicio alguno a ninguno de los que hacen vida en la sociedad sobre todo aquellas que se han clasificado a lo largo de la historia como de corte democrática.

Pero lo que puede ser denominado como el libre desenvolvimiento de la personalidad amparado en la libertad de expresión que ha sido reconocido como un derecho de corte universal, amparado por distintos organismos internacionales, llevando a la ejecución de diversidad de tratados a los fines que sean incorporados dentro de la legislación interna de cada Estado, donde se encuentra por ejemplo la Declaración de los Derechos Humanos, que ha sido objeto de suscripción y ratificación por más de 190 países alrededor del mundo, no siempre es bien catalogado por los integrantes de las naciones, tanto a nivel interno como externo.

Es decir, que aunque ejercer las actividades de acuerdo a la libre convicción razonada, ejecutándolas con una metodología particular, bien sea porque la misma es propia de quien la realiza o porque es un aprendizaje que se ha transmitido a través de distintas generaciones, no siempre es bien percibida por los receptores del mensaje, hecho que si bien a un nivel que puede ser considerado como directo o básico puede causar inconvenientes por ejemplo entre aquel que emite un mensaje respecto a un hecho y el que lo recibe, ocasionándose inclusive altercados que pueden llegar a producir lesiones físicas, en un ámbito más amplio en el que, por ejemplo el mensaje o conducta es exteriorizado por aquel que desarrolla funciones de representación de un Estado, las consecuencias que ésta puede producir tanto en lo que se corresponde con los miembros de su propia sociedad incluyendo los grupos que le pueden ser adversos y aquellos que se encuentran fuera del Estado que se trate pueden llegar a producir consecuencias fatales.

Situaciones como la antes descrita, han dado lugar en la historia de la humanidad a grandes conflictos de tipo bélico, en los que ha quedado en clara evidencia la pugna por la obtención de beneficios particulares, bien sea que los mismos llevaran consigo el desempeño de actividades de grupos de países o personas, o fuesen practicados en solitario, tal como ocurrió en el desarrollo de la primera guerra mundial desarrollada entre los años 1914 y 1918, al igual que la segunda guerra mundial que se inició con las actividades desplegadas por Adolf Hitler desde Alemania en el año 1939 extendiendo los daños físicos y humanos a distintos países del mundo hasta su finalización en el año 1945, no sin antes dejar a su paso innumerables pérdidas de vidas tanto de civiles como de integrantes de las tropas combatientes, destacando dentro de los actos ejecutados por uno de los grupos combatientes, el lanzamiento de las bombas en las ciudades de Hiroshima y Nagasaki, las que fueron claves para lograr la rendición de Japón.

Eventos como el anterior se han replicado a nivel interno de los Estados, tal como ocurrió con la guerra civil que azotó a España, entre los años 1936 y 1939, los cuales son resaltados a título meramente ilustrativo con la finalidad de evidenciar los actos que son capaces de desplegar los seres humanos por lograr sus objetivos, con independencia de si los mismos atienden a criterios económicos o sociales, por sólo referenciar algunos.

Sin embargo, los conflictos enunciados han tenido en común el uso de las armas, dentro de los distintos tipos de éstas que han podido crearse, destacándose entre otras cosas la utilización de aviones, tanques de guerra, ametralladoras y armas de distintas clases, pues no sólo fueron empleadas aquellas que requerían de proyectiles determinados para ocasionar un perjuicio, sino que se emplearon algunos tipos de mayor alcance, tal como ocurrió con la bomba atómica empleada por los Estados Unidos contra Japón con el objetivo de poner fin a la Segunda Guerra Mundial.

Ahora bien, es un hecho lamentable pero existente, que cada día son empleadas a nivel mundial una cantidad diversa de armas, con la finalidad de causar perjuicios a un Estado o nación determinada por ejemplo, sin importar que con ellas se lesionen a individuos que poco o nada tienen que ver con los conflictos que se están desarrollando, llegando a utilizar por ejemplo aquellas que son denominadas químicas por la capacidad de alcance que pueden llegar a tener en un corto período de tiempo empleando para ello los elementos que de mayor toxicidad poseen, lo que produce a quienes se encuentran en contacto con ella desde lesiones de carácter temporal hasta la muerte.

No obstante, las armas de tipo químico no son las únicas que son empleadas por quienes hacen de los conflictos una forma de vida, por cuanto cada uno de ellos de modo continuo se reinventa con la finalidad de obtener novedosos medios para causar perjuicios.

De esta forma tiene lugar el uso de armas de tipo radiológicas, en las que se emplean distintos compuestos con el objetivo de causar perjuicios graves a todos aquellos que se encuentren en contacto con ellos, siendo el polonio, uno de los principalmente empleados.

Es por lo antes expuesto, que en las páginas que continúan se desarrollará una investigación orientada en conocer el origen y uso que tienen las armas de tipo radiológico, en especial aquellas en las que el polonio es el principal ingrediente para causar lesiones que pueden llevar inclusive a la muerte de los individuos, por lo que se deben resaltar de igual manera las características que pueden presentar cada uno de ellos, así como los efectos que causan en los individuos, resaltando aquellos casos que han causado relevancia a nivel mundial, con el fin de poder establecer elementos que permitan reconocer su uso, evitando en el mayor grado posible el contacto con ellos para lograr ejecutar, en caso de ser necesario, las acciones que conlleven a minimizar los efectos que dicho tipo de armas radiológicas producen en los seres humanos.

3.- Radiactividad y radiaciones ionizantes.

3.1.- Desintegración radiactiva.

Todas las sustancias conocidas están formadas por átomos o combinaciones de ellos. El átomo es la parte más pequeña de un elemento químico que mantiene su identidad o sus propiedades y que no es posible dividir mediante procesos químicos. Todos los átomos de un mismo elemento son iguales, tienen la misma masa, y átomos de diferentes elementos tienen distinta masa.

El átomo tiene una estructura interna formada por un núcleo y una corteza o nube de electrones, con carga negativa, orbitando en torno al núcleo. El núcleo del átomo está formado por dos tipos de partículas: los protones, que tienen carga eléctrica positiva, y los neutrones, que no tienen carga eléctrica. En un átomo neutro, que es su estado habitual, el número de electrones es igual al número de protones.

Como las cargas eléctricas iguales se repelen, los protones tienen repulsión electromagnética, pero se mantienen unidos por la existencia de una fuerza más potente, denominada fuerza nuclear fuerte.

En condiciones normales de equilibrio, las partículas del núcleo del átomo permanecen fuertemente unidas, pero un exceso o una falta de neutrones puede romper ese equilibrio. Entonces se convierten en elementos inestables, con tendencia a transformarse en otros elementos.

Estas transformaciones, llamadas también desintegraciones, se producen liberando gran cantidad de energía en forma de radiaciones ionizantes (alfa, beta y/o gamma), y este fenómeno se conoce con el nombre de radiactividad, descubierta por Becquerel en 1896.

3.2.- Actividad.

Es el número de desintegraciones que tienen lugar cada segundo en una cantidad dada de material radiactivo. Se mide en unidades denominadas becquerelio (Bq), en honor a Henri Becquerel. Un becquerelio equivale a una desintegración atómica por segundo.

La actividad no depende del tamaño ni de la masa de una sustancia, depende del isótopo radiactivo. Una fuente de radiación del tamaño de una cerilla utilizada por ejemplo en la industria del acero, puede ser billones de veces más activa que un bidón de residuos radiactivos.

3.3.- Período de semidesintegración.

Cada elemento radiactivo tiene su propia vida. Algunos isótopos radiactivos sólo son activos durante períodos de tiempo muy cortos mientras que otros se mantienen activos durante miles de millones de años. En el transcurso de ese tiempo y en sucesivas desintegraciones, los elementos inestables se transforman en otros, para terminar convirtiéndose en elementos estables. De este modo, el uranio 235 se transforma en radón, antes de convertirse en plomo, que ya es estable. Cada paso se produce a un ritmo determinado.

El intervalo de tiempo necesario para que una determinada cantidad de un elemento se reduzca a la mitad por desintegración, se denomina periodo de semidesintegración o semivida. El periodo de semidesintegración es único e invariable para cada radionucleido, y puede variar de una fracción de segundo a billones de años.

La actividad de un radionucleído se va reduciendo en semidesintegraciones sucesivas, a 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, etc. del valor inicial. De esta forma es posible predecir la actividad futura que le queda a una sustancia concreta.

3.4.- Tipos de radiaciones ionizantes.

- **Partículas alfa (α):** son núcleos de helio-4 (constituidos por dos protones y dos neutrones) que se emiten en ciertas desintegraciones nucleares. Tienen gran masa en comparación con el resto de las radiaciones ionizantes. En el aire, la radiación alfa sólo puede recorrer un par de centímetros, y una hoja de papel o la misma piel del cuerpo humano son suficientes para protegernos de sus efectos. Por ello, no son peligrosas a menos que se incorporen al organismo (contaminación interna) a través de una herida abierta o sean ingeridas o inhaladas, siendo entonces, especialmente peligrosas, ya que liberan toda su energía hacia las células circundantes.

- **Partícula beta (β):** son electrones libres (beta negativos) o positrones (beta positivos, antipartícula del electrón) liberados en determinadas desintegraciones nucleares. Tienen una masa bastante menor que las partículas alfa lo que les confiere mayor poder de penetración que éstas. Traspasan láminas de papel pero se detienen ante láminas de metal, ventanas de metacrilato y prendas de ropa. Sin embargo pueden dañar la piel desnuda.

- **Rayos gamma (γ):** son radiaciones electromagnéticas (sin carga ni masa) muy penetrantes que se detienen mediante grandes muros de hormigón o plomo y que se diferencian de los rayos X sólo en su procedencia, los rayos gamma proceden de un núcleo mientras que los rayos X, proceden de las capas externas del átomo, donde se encuentran los electrones.

- **Neutrones:** este tipo de radiación es muy penetrante debido a que no tiene carga eléctrica. No son ionizantes por sí mismos, pero si golpean a otro núcleo pueden activarlo o causar la emisión de una partícula cargada o un rayo gamma, por lo que indirectamente sí producen radiación ionizante. Los neutrones tienen más capacidad de penetración que los rayos gamma y sólo puede detenerlos una gruesa barrera de hormigón, agua o parafina, o ser absorbidas con venenos neutrónicos (cadmio, boro y gadolimo).

3.5.- Interacción de las radiaciones ionizantes con la materia.

La radiación ionizante, cuando entra en contacto con la materia, suele arrancar electrones de los átomos circundantes mediante un proceso que se llama ionización, de forma directa como en el caso de las partículas cargadas, o indirecta, como por ejemplo es el caso de los fotones. Ésta es la razón por la que a estas radiaciones se las conoce con el nombre de radiaciones ionizantes.

Los procesos de interacción de la radiación con la materia son la causa de los efectos producidos por las radiaciones (en particular, los efectos biológicos producidos en seres vivos) y determinan las condiciones de propagación de la radiación en un medio material así como el diseño de los blindajes apropiados para cada tipo de radiación.

• **Las partículas α** al atravesar la materia tienen un recorrido prácticamente rectilíneo y al colisionar con los átomos provocan, en gran medida, ionización (arranca electrones y el átomo queda convertido en ión), y excitación, donde el electrón excitado vuelve a su estado inicial emitiendo radiación gamma. En un corto recorrido pierden toda la energía.

• **Las partículas β** tienen un poder de penetración mayor que las alfa. Su penetración máxima (alcance) disminuye de forma más o menos exponencial, debido a que como las partículas beta tienen diferentes energías, se detienen después de recorrer distancias variables en el medio. En su colisión con los átomos:

– Provocan ionización, aunque en menor medida que las partículas alfa.

– Provocan emisión de rayos X fluorescentes: cuando la energía de la radiación β es alta, puede despedir de su órbita un electrón interno. El hueco que deja es ocupado por otro electrón, emitiendo rayos X característicos de ese salto electrónico.

– Sufren dispersión y retrodispersión.

– La partícula β se ve frenada y desviada por el campo eléctrico de éste. La diferencia de energía se emite en forma de radiación electromagnética de espectro continuo, llamada Bremsstrahlung o radiación de frenado. La probabilidad de que suceda aumenta con la energía de la partícula y con el número atómico de los átomos del medio.

• **La radiación X y γ** son radiaciones electromagnéticas muy penetrantes. Al interactuar con la materia da lugar a electrones secundarios que provocan excitación e ionización en el medio que atraviesan (por eso son radiaciones indirectamente ionizantes).

3.6.- Ionización.

Cuando una partícula o fotón gamma choca con otro átomo, lo más probable es que reaccione con la órbita exterior de los electrones. Si se expulsa un electrón, el átomo perderá una carga negativa y pasará a cargarse positivamente. El átomo cargado se llama ión, y se dice que el átomo se ha ionizado. El hueco que queda en su órbita externa le hace químicamente reactivo. Si la reacción química tiene lugar en una célula viva, es probable que dañe a la célula y por ello cause efectos biológicos no deseables. Esta capacidad para causar ionización y los efectos biológicos que produce es la razón por la que deben adoptarse precauciones cuando se utiliza cualquier tipo de radiación ionizante.

Sabemos que la radiación ionizante es penetrante y, en algunos casos, puede pasar a través de objetos sólidos como el metal. A continuación se dan las distancias típicas de penetración:

- Partícula alfa: hasta 5 centímetros de aire. Produce una ionización muy intensa.
- Partícula beta: hasta 1 centímetro de aluminio.
- Radiación gamma: hasta varios metros de hormigón, o varios centímetros de plomo.
- Radiación X: semejante a la gamma.

Para detener la radiación alfa es suficiente una lámina de papel. Cuando el isótopo emisor de radiación alfa se encuentra en el exterior del cuerpo humano la radiación se frena en las capas exteriores de la piel y no es peligrosa, pero se convierte en peligrosa cuando penetra en el interior del organismo por ingestión, inhalación o a través de heridas, dado que deposita su energía en un espacio muy corto, lo que provoca graves daños, si se trata de radiación alfa de alta energía.

La radiación beta es algo más penetrante que la radiación alfa y es capaz de penetrar 1 o 2 cm en los tejidos vivos. Se frena con una lámina de aluminio. Como blindaje para este tipo de radiación se utilizan planchas de metacrilato.

La radiación X y gamma son radiaciones electromagnéticas. La radiación gamma procede del núcleo del átomo mientras que la radiación X procede de la zona de la corteza del átomo radiactivo. La radiación gamma es más penetrante que la X pero ambas pueden atravesar el cuerpo humano aunque depositan a su paso menos energía que la radiación alfa o la radiación beta. Para frenar o atenuar este tipo de radiación se utilizan planchas de metales pesados como por ejemplo el plomo, o muros de hormigón.

3.7.- ¿Qué efectos produce la radiación ionizante?.

Una de las reacciones más importantes que se produce al interaccionar la radiación ionizante con el cuerpo humano, es la radiólisis o rotura de los enlaces químicos de las moléculas, con la posibilidad de que se formen otras moléculas distintas de las originales.

El elemento más abundante en el medio vivo es el agua y la ionización de ésta puede dar lugar a la aparición de radicales libres que son moléculas altamente reactivas.

A su vez, estos radicales libres pueden, por ejemplo, combinarse entre sí para formar agua oxigenada, compuesto químico altamente oxidante que puede atacar y romper los enlaces químicos en moléculas complejas, como las que forman los cromosomas, dando lugar a la aparición de efectos biológicos.

La unidad básica del organismo vivo es la célula, en cuyo núcleo y concretamente en el ácido desoxirribonucleico (ADN) se encuentra codificada toda la información genética. Los efectos biológicos que produce la radiación son consecuencia de la transferencia de energía a los átomos y moléculas constituyentes de las células, dando lugar a ionizaciones. Cuando una radiación incide sobre una célula se producen ionizaciones que pueden afectar de forma directa o indirecta a la molécula de ADN. El efecto puede manifestarse bien en el propio individuo, denominándose efecto somático o bien en sus descendientes, denominándose entonces efecto hereditario.

En función de la forma en que la radiación produce un daño en la salud del individuo los efectos se denominan estocásticos o deterministas.

- Los efectos deterministas se deben a la muerte de las células. Si la dosis fuera lo suficientemente elevada, la pérdida celular podría ser tan importante que el tejido quedaría degradado funcionalmente. Por debajo de un umbral determinado (nivel de dosis), estos efectos no se producen, pero por encima de un determinado nivel de dosis (el umbral para efectos clínicos) el efecto se producirá. Además, su gravedad aumenta con la dosis recibida. Los umbrales asociados a estos efectos están frecuentemente en valores de dosis de unos pocos grays (Gy).

- La inducción de cáncer y los efectos hereditarios son efectos estocásticos, es decir, son de naturaleza probabilística (pueden o no producirse) y la probabilidad de que ocurran dependerá de la dosis recibida. Para este tipo de efectos, a falta de una evidencia científica clara, se ha adoptado una actitud conservadora de tal forma que en el campo de la protección radiológica se supone la hipótesis de que se pueden producir a cualquier nivel de dosis y no existe dosis umbral.

3.8.- Protección contra la radiación ionizante.

El uso de las radiaciones ionizantes en distintos campos de la industria, medicina, investigación, etc., ha supuesto un gran avance para la humanidad, pero también pueden producir daños. Por ello es necesario establecer medidas de protección para los trabajadores/as expuestos/as, y para la población en su conjunto.

A continuación se van a exponer los principios básicos de la protección radiológica, los riesgos que comportan las radiaciones ionizantes en base a la naturaleza de la fuente emisora de estas radiaciones, así como las medidas de protección radiológica a aplicar.

El ser humano además de estar expuesto a la radiación ionizante del fondo natural, también está expuesto a fuentes de radiación ionizante de origen artificial.

Aunque inicialmente la utilización de fuentes de radiaciones ionizantes artificiales supuso un gran avance en el desarrollo científico de la sociedad, muy pronto se pusieron de manifiesto los daños que su mal uso podía producir en la salud. Se hizo evidente la necesidad de establecer unas medidas de protección, lo que ha dado origen a la disciplina denominada protección radiológica.

La protección radiológica tiene como finalidad la protección de los individuos, de sus descendientes y de la humanidad en su conjunto, de los riesgos derivados de aquellas actividades que supongan la presencia de radiaciones ionizantes.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) –fundada en 1928 por la Sociedad Internacional de Radiología– es la autoridad científica independiente que, desde 1950, tiene asignada la misión de establecer la base científica y la doctrina y principios en que se sustenta la protección radiológica.

La ICRP considera que el objetivo principal de la protección radiológica es evitar los efectos biológicos deterministas y limitar al máximo la probabilidad de aparición de los efectos estocásticos.

Los efectos estocásticos son aquellos efectos que son más probables cuanto mayor es la cantidad de radiación recibida, pero cuya gravedad no depende de esa cantidad de radiación. Suelen ser efectos retardados, que pueden aparecer entre 5 y 30 años después de haber sufrido exposición, como el cáncer.

Los efectos deterministas son aquellos efectos que no ocurren a no ser que la dosis de radiación recibida supere un determinado nivel y cuya gravedad depende de la cantidad de radiación recibida. Suelen ser efectos inmediatos, como náuseas, vómitos, quemaduras en la piel.

En España, las normas de protección de los trabajadores/as expuestos/as y de los miembros del público contra los riesgos de las radiaciones ionizantes figuran en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes y el Consejo de Seguridad Nuclear es el único organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

3.9.- Principios básicos de protección radiológica.

Las normas de protección radiológica se sustentan en los siguientes principios:

- **Justificación:** toda práctica que implique la exposición a las radiaciones ionizantes debe suponer un beneficio para la sociedad. Deben considerarse los efectos negativos y las alternativas posibles.
- **Optimización:** todas las exposiciones a las radiación ionizante deben mantenerse a niveles tan bajos como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales (As Low As Reasonably Achievable, principio ALARA)
- **Limitación:** las dosis de radiación recibidas por las personas estarán, en cualquier caso, por debajo de los límites de dosis legalmente establecidos.

Se considera trabajador/a expuesto/a aquel/aquella que por razones de su trabajo está expuesto a las radiaciones ionizantes, con probabilidad de recibir 1/10 de los límites de dosis. Se define como miembro del público al resto de la población.

3.10.- Riesgos que comportan las radiaciones ionizantes.

La ICRP utiliza el término “riesgo” como la probabilidad de que se produzca un efecto perjudicial teniendo en cuenta no sólo su probabilidad sino también la gravedad del suceso.

En función de la naturaleza de la fuente emisora de radiaciones ionizantes, los riesgos de la exposición a estas radiaciones pueden ser de dos tipos:

- **Irradiación externa:** puede ser producida por todas las fuentes de radiación: aceleradores, equipos de rayos X, fuentes encapsuladas y fuentes no encapsuladas.
- **Contaminación radiactiva:** puede ser producida por fuentes no encapsuladas o cuando una fuente encapsulada ha perdido su hermeticidad.

La irradiación o exposición es la acción de someter a una persona u objeto a las radiaciones ionizantes. Se habla de irradiación externa cuando la fuente de radiación es exterior al individuo.

La contaminación es la presencia indeseada de sustancias radiactivas en la superficie o en el interior de un cuerpo u organismo. En el primer caso se habla de contaminación externa y en el segundo de una contaminación interna.

Una persona sufrirá una contaminación externa cuando se depositen sobre su piel sustancias radiactivas, mientras que la contaminación interna se producirá cuando penetren isótopos radiactivos en el organismo, bien por inhalación, por ingestión o a través de heridas. Los isótopos radiactivos que han penetrado en el organismo producen a su vez irradiación.

Una persona irradiada por una fuente radiactiva exterior a ella sufre en sus tejidos los efectos biológicos de la radiación mientras está próxima a la fuente, pero bastará que se aleje suficientemente de ella para que cese la irradiación. Por el contrario, una persona contaminada continuará siendo irradiada en tanto no cese la contaminación, y ella misma puede actuar como fuente de contaminación o irradiación de otras personas.

La contaminación externa es fácilmente eliminable mediante lavado de la superficie contaminada, mientras que en la contaminación interna los efectos dependerán de la afinidad de los elementos radiactivos, que los hace depositarse en unos u otros órganos en función de las características metabólicas de los mismos; la permanencia de la actuación de esos elementos radiactivos depende, por una parte, de la capacidad de eliminación de esa sustancia por el organismo a través de las vías naturales, y, por otro, del período de semidesintegración del isótopo en cuestión.

3.11.- Medidas prácticas de protección radiológica.

En la práctica y con objeto de controlar la exposición a las radiaciones se aplican una serie de medidas que varían según exista (o no) riesgo de contaminación.

- Cuando una persona está sometida a la irradiación de una fuente externa, la dosis de radiación que recibe es igual al producto de la tasa de dosis (dosis recibida en la unidad de tiempo) por el tiempo durante el cual está expuesta a la radiación. Por tanto, a menos tiempo menos dosis.

La tasa de dosis en un punto es proporcional al flujo de radiación en él. Este flujo (y por tanto la tasa de dosis) decrece en forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Además, la radiación ionizante es atenuada al atravesar un espesor de material interpuesto entre emisor y receptor (blindaje).

Por tanto, la protección contra la irradiación por una fuente externa se consigue mediante la combinación de tres factores: tiempo de exposición, distancia y blindaje.

- Cuando existe riesgo de contaminación (por ejemplo, en el manejo de fuentes no encapsuladas) además de los factores anteriores de tiempo, blindaje y distancia hay que aplicar medidas adicionales. Estas medidas adicionales tienen por objeto evitar la dispersión de la contaminación, o que esa contaminación se deposite en la piel de una persona o, incluso, pueda llegar al interior de su organismo.

Se deben utilizar equipos de protección individual que sean adecuados a la posible contaminación. Así, en unas condiciones puede ser suficiente el uso de guantes de algodón y mascarilla de aerosoles, mientras que en casos extremos pueden necesitarse equipos autónomos de respiración, doble mono, calzas, guantes de algodón, guantes de plástico, etc.

En caso de contaminación externa del organismo, hay que eliminarla para evitar que ésta se convierta en contaminación interna. Las medidas consisten en quitar la ropa, almacenándola en bolsas de plástico, ducharse con agua tibia y jabón neutro, en el caso de que la contaminación sea difusa, o simplemente lavar las zonas contaminadas, en el caso de que éstas se reduzcan a áreas definidas.

Si existe la posibilidad de que se produzca dispersión de la contaminación al ambiente (material radiactivo en forma de aerosol, polvo o vapores) los trabajos se realizarán en el interior de una vitrina de extracción que, en caso necesario, puede incorporar filtros.

Si se efectúan trabajos en una zona contaminada con material radiactivo, siempre que sea posible se aplicarán previamente técnicas de descontaminación.

En este tipo de ambientes se deben prohibir actividades como por ejemplo comer, beber o fumar, ya que facilitaría la incorporación al interior del organismo de la contaminación allí existente.

3.12.- Normas generales de protección que deben ser establecidas a todas las prácticas que impliquen un riesgo derivado de las radiaciones ionizantes.

Finalmente, existen unas normas generales de protección que deben aplicarse en zonas donde exista riesgo de emisión de radiaciones ionizantes. Entre ellas destacaremos:

- Delimitación de zonas: el espacio en el que existan generadores de radiación o donde se manipulen o almacenen materiales radiactivos, debe estar perfectamente delimitado y señalizado. Los reglamentos establecen los criterios de clasificación de zonas y el tipo de señalización a utilizar en cada una de ellas.

Las zonas se señalizan con el símbolo internacional de radiactividad, trébol con puntas radiales (riesgo de irradiación externa) o con campo punteado (riesgo de contaminación). El color del trébol varía en función de la zona de que se trate: vigilada, controlada, de permanencia limitada, de permanencia reglamentada o de acceso prohibido.

- Formación del personal que va a trabajar con radiaciones ionizantes sobre los efectos de la radiación, las normas de protección y las precauciones a tomar durante el trabajo.

- Vigilancia médica basada en los principios generales de medicina del trabajo.

- Vigilancia radiológica mediante el uso de dosímetros.

4.- Las armas radiológicas.

Como se ha expuesto en el apartado anterior la exposición a la radiación de modo natural, se considera con cierto riesgo por el hecho de las consecuencias que pueden tener aquellos individuos que de forma cotidiana se exponen a ella, sin embargo, es diferente cuando la radiación es utilizada por parte de una persona o grupo de éstas como un instrumento para causar un daño o perjuicio determinado, tal como se describe a continuación.

Si bien es cierto que la radiación o radioactividad fue descubierta de una manera considerada casual, los usos que se le han dado con el paso del tiempo han conllevado a que de modo general sea concebido como un instrumento capaz de generar temor y perjuicios en la sociedad, sin embargo, su clasificación atiende de una manera genérica a ser un arma disruptiva más que destructiva.

En consonancia con lo anterior es oportuno mencionar que el criterio disruptivo tiende al hecho de ocasionar un perjuicio o lesión determinada en la sociedad a partir de la ejecución de determinadas conductas que no son consonantes con lo que se ha considerado como debido a lo largo del tiempo.

Ahora bien, para que la radiación sea empleada como un arma determinada deben darse a cabo distintas situaciones o circunstancias que se encuentran en una mayor proporción enfocadas en el tipo de perjuicio que se quiere causar, por lo que es mayor el grado de temor que genera en la población la posibilidad de su uso que la realidad de su ejecución y/o disposición como un arma en miras de un objetivo determinado.

Sin embargo, esto no quiere decir que las sustancias que contienen radioactividad no sean efectivamente utilizadas como una parte integrante de las armas de tipo nuclear con la finalidad de ampliar el poder de actuación de estas, ahora bien, las sustancias radiactivas pueden ser utilizadas como un arma particular y única, por cuanto al ser objeto de dispersión pueden causar distintos tipos de consecuencias para quienes se encuentran expuestos a ellos.

De esta forma entonces, son dos grandes grupos los tipos de armas radiológicas o radioactivas que pueden utilizarse, destacándose además que de modo general, las mismas no se han utilizado por parte de grupos militares, sino por aquellos grupos clasificados como terroristas.

Las armas nucleares con incorporación de elementos radiactivos, son las que liberan determinada cantidad de energía las cuales pueden incluso causar efectos perjudiciales en el individuo que lo recibe de modo inmediato, siendo la radiación que poseen clasificada como un efecto de tipo secundario.

Como segundo tipo es un contaminante, que puede estar contenido en dispositivos explosivos, los que al ser detonados propagan la radiación dentro de un espectro de acción determinado, afectando por tanto a los integrantes del área geográfica en la que se liberan, llegando inclusive a trasladarse a grandes distancias dependiendo de la capacidad de propagación que puede tener el elemento que lo contiene.

5.- Envenamiento por radiación.

Si bien, la radiación ha sido utilizada de modo mayoritario para actos que se consideran beneficiosos para los miembros de la sociedad, su uso o abuso también puede dar lugar a efectos perjudiciales para los individuos, adicionales a los que fueron señalados anteriormente, toda vez que se corresponde directamente con un envenenamiento por los elementos que lo contienen.

5.1.- Envenamiento por Uranio.

El uranio es el segundo elemento con mayor radiactividad presente en la tierra, pues se encuentra de modo natural en ésta, en elementos como el agua, el aire y las rocas, pudiendo inclusive ser liberado a través de erupciones de tipo volcánico.

Se encuentra formado por tres isotopos, cuyas características químicas son similares, pero las relacionadas con el aspecto radioactivo no lo son, siendo utilizado para distintos fines como la creación de plantas nucleares, municiones e inclusive en la fabricación de escudos para proteger contra los efectos ionizantes de las radiaciones.

En el mismo sentido se destaca que la exposición al uranio en su forma natural no genera un mayor nivel de riesgo para el individuo debido a su alta presencia en suelos cultivables y eventos similares; sin embargo una exposición a una alta concentración de éstos como aquellas que se corresponde con sitios de desechos de residuos industriales o en zonas cercanas a donde se encuentren situadas las minas de uranio, puede ocasionar en los individuos graves perjuicios por lo que se deben tomar como medidas preventivas las siguientes:

- Evitar ingerir alimentos de tierras cercanas a la ubicación de las minas de uranio, pues el nivel de concentración de éstas es elevado.
- Lavado de cualquier tipo de fruta u hortaliza que se encuentren en contacto con el uranio.

Lo antes expuesto, aunque son detallados como medidas de tipo sencillo, evitarían la ingesta de uranio, la cual puede producir fallos en los riñones de aquellos que lo ingieren en altas cantidades, lo que se traduce por tanto en la posibilidad de ocurrencia de fallos de tipo renal, cáncer y hasta la muerte de la persona.

De esta forma, que si bien el uranio se encuentra presente alrededor de casi la generalidad de actividades que son desplegadas por los individuos así como de los alimentos que consumen, la realidad es que su grado de radiación puede ocasionar distintos perjuicios en la persona, pudiendo ser de tipo reversible como de tipo irreversible y letal.

5.2.- Envenamiento por Polonio.

Antes de señalar la forma de cómo se desarrolla el proceso de envenenamiento por este material, es importante mencionar que el polonio es un elemento de tipo químico y radiactivo que se produce a través de un proceso considerado como natural en la tierra, pero en proporciones que pueden ser consideradas como bajas, el cual fue descubierto por los científicos Marie y Pierre Curie en el año 1898, siendo además denominado como polonio como un homenaje al país del que era originaria la científica, el que se correspondía con Polonia.

Asimismo debe agregarse entonces que el uso principal del polonio se encuentra enfocado en la producción de neutrones, lo que no quiere decir de modo alguno que no pueda ser utilizado por ejemplo en la eliminación de estática, el cual además está compuesto por un total de 27 isotopos, siendo a su vez el 210 el que se corresponde con el que tiene un mayor grado de presencia en la tierra.

De igual manera debe destacarse el hecho que el polonio identificado con el número 210 es aquel que posee un nivel más alto de emisión de partículas alfa, que son las que pueden causar un mayor perjuicio a quienes se encuentren en contacto con ellas toda vez que el grado de energía que son capaces de emitir no es fácilmente controlable y altamente perjudicial para quienes se encuentran en contacto con él, empleándose además en el desarrollo de células clasificadas como termoeléctricas, que son aquellas que se emplean en proyectos fuera del sistema solar.

Aclarado lo anterior debe destacarse que la principal forma de exposición a la toxicidad que emite el polonio se corresponde con el contacto de este de modo directo con el organismo, bien sea que se produzca su inhalación, ingestión, o bien que la piel se encuentre expuesta por una herida determinada o sea suministrado de modo líquido a través de forma intravenosa, siendo esta última forma de contacto por lo general realizada en un ambiente médico determinado.

Debe adicionarse el hecho de que sin importar la forma como entre en contacto el polonio con el individuo, dicho agente se ubica de modo primario en los glóbulos rojos de la sangre, pudiendo estar presente en esta hasta un lapso de ochenta días, el cual puede variar en atención a cada persona así como al grado en el que se hubiese tenido contacto con él, por lo que si la dosis con la que se estuvo en contacto es baja, la misma puede ser eliminada a través de las secreciones como orina, las heces o el sudor, pues a través de cada uno de ellos, el organismo de modo natural desecha todas aquellas sustancias que le son ajenas.

Pero si la dosis, bien sea inhalada o ingerida de modo líquido, puede causar daños perjudiciales en la persona que se trate, los cuales tienden a agravarse por la rapidez de su propagación en el torrente sanguíneo, a la par de la dificultad para denotar su presencia de un modo expedito, por lo que, no se le puede aplicar a la persona un tratamiento para minimizar los daños que el polonio está ocasionando en el organismo.

Dentro de los principales síntomas que produce el envenenamiento radiactivo por polonio se encuentran los siguientes:

- Molestias de tipo gastrointestinal, toda vez que el estómago es uno de los puntos focales de alojamiento del polonio, siendo además el único que se exterioriza en el supuesto que la exposición al polonio sea corta.
- Pérdida del cabello, toda vez que el polonio va debilitando la base de éste.
- Diarreas excesivas, las cuales son una consecuencia directa de las molestias que de tipo gastrointestinal exteriorizan las personas.
- Fallo de los riñones y el hígado, los cuales dejan de ejercer sus funciones de modo directo.
- El organismo se torna lento, lo que conlleva además a que la ingesta de comida no pueda producirse de la manera debida, lo que sin lugar a dudas trae consigo la pérdida de funciones de los órganos que finalmente conlleva a la muerte.

Ahora si bien los síntomas antes descritos se producen con relativa rapidez frente a la gran ingesta de polonio, produciendo el envenenamiento pleno del cuerpo del individuo, la realidad es que en primer lugar los mismos tienden a aparecer dentro del lapso de las cuarenta y ocho horas siguientes a aquellas en las que se tuvo contacto con el polonio y los síntomas que producen se extienden por largos periodos de tiempo, lo que conlleva a que aunque la aparición de estos ocurra con relativa rapidez, la muerte final del individuo se produce de un modo lento y doloroso.

Uno de los casos más populares comprobados de muerte por envenenamiento por polonio en el mundo, se corresponde con el asesinato de Alexander Litvinenko, quien en vida fuese agente ruso acusado de disidencia, manifestando de modo publico que su envenenamiento se debía a un encargo realizado por el Presidente de Rusia Vladimir Putin.

Al parecer el día 3 de noviembre del año 2006, el espía se reunió con distintas personas, ingiriendo en dicho momento una taza de té, lo que motivó que tiempo después empezara a sentir determinados síntomas por lo que debió recurrir a recibir cuidados médicos, sin embargo días después de su ingreso los médicos que lo trataban a través de un examen de orina se percataron de la presencia de dicho elemento radiactivo en su organismo pero el daño que el mismo había causado era irreversible ya que la alta dosis que ingirió, produjo daños letales a su médula espinal de modo primario, afectando con posterioridad a los intestinos y al resto de los órganos, hasta provocar un colapso masivo de ello.

Este hecho que por su trascendencia continúa siendo investigado por las autoridades británicas llegando a dictaminar que la responsabilidad material del asesinato del agente se puede atribuir a los supuestos amigos que se reunieron con él, pero lo relacionado con la calificación de autores intelectuales, se le atribuye al Gobierno de Rusia.

5.3.- Envenenamientos. Casos.

5.3.1.- Aleksei Navalny, político ruso.

Aleksei Navalny sólo había desayunado un té. Volvía a Moscú después de un viaje a Siberia cuando comenzó a sentirse mal durante el vuelo, tan mal que el avión tuvo que hacer un aterrizaje de emergencia. El dirigente opositor ruso de 44 años, estaba en coma cuando lo internaron en el Hospital de Omsk, en Siberia.

La primera hipótesis de los médicos que lo atendieron ese día, el 20 de agosto, fue que había sufrido una intoxicación, dijo la portavoz de Navalny, Kira Yarmish, que se manifestó convencida de que el té que tomó el dirigente estaba envenenado. Sin embargo, ninguno de los dos laboratorios rusos que buscaron rastros de sustancias tóxicas encontró nada. Los médicos dijeron entonces que Navalny pudo haber sufrido un *“trastorno metabólico”* por falta de azúcar en la sangre.

No era la primera vez que el opositor sufría algún tipo de trastorno o ataque sospechoso. En abril de 2017 le lanzaron a la cara un químico antiséptico que le dejó la piel manchada de un color verde azulado y le causó una quemadura química en el ojo derecho. Navalny publicó en Twitter su foto con la piel manchada y escribió: *“Parece divertido, pero duele como el infierno”*.

En otra ocasión, después de haber estado en la cárcel por liderar protestas no autorizadas, sufrió una inflamación en la cara y problemas oculares. Los médicos concluyeron que se trató de una reacción alérgica, pero el dirigente, que nunca había sufrido otra antes, denunció que había sido envenenado.

Con esos antecedentes, sus colaboradores y su esposa, Julia Navalnaya, pusieron en duda las respuestas que recibieron del hospital de Omsk, y pidieron que les permitieran trasladar al político a Alemania, que le ofreció asilo. El hospital les negó el permiso con el argumento de que suponía un riesgo para el paciente.

Varias instituciones y organizaciones civiles pidieron información sobre el caso. El Tribunal Europeo de Derechos Humanos solicitó el informe médico y los detalles del tratamiento que recibía Navalny. Amnistía Internacional había denunciado: *“La administración del hospital debe facilitar el acceso pleno a la información sobre su tratamiento a su familia y a los médicos que esta elija. Se tuvo noticia de que no se ha permitido al médico elegido por la familia ver los resultados de las pruebas realizadas ni se le ha informado del tratamiento que se le está administrando. Dadas las suposiciones sobre un posible envenenamiento, este hecho no hace más que aumentar las sospechas”*.

Finalmente el hospital accedió y Navalny fue trasladado en un vuelo chárter a Alemania. El 23 de agosto, Navalny llegó al Hospital Universitario La Charité de Berlín. Después de examinarlo, los médicos de ese centro manifestaron que las pruebas clínicas sugerían *“una intoxicación por una sustancia que pertenece al grupo de los inhibidores de colinesterasa”*. De inmediato comenzó a recibir tratamiento con un antídoto, la atropina. El hospital pidió entonces ayuda al ejército alemán para investigar si se utilizó algún agente químico contra Navalny y surgieron nuevos hallazgos.

Según informó el portavoz del gobierno alemán, Stefen Seibert, los análisis concluyeron, *“sin lugar a dudas”*, que el político ruso fue envenenado con una sustancia que se utiliza para producir armas químicas y que se emparenta con el novichok, un agente nervioso creado en Rusia. Esos resultados fueron notificados a la Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPAQ), que en 2019 y a causa del ataque a un ex espía ruso, agregó el novichok a su lista de sustancias prohibidas.

Más tarde, la canciller alemana en su día, Ángela Merkel, declaró en una conferencia de prensa: *“Esperamos que el gobierno ruso aclare estos hechos. Se plantean ahora preguntas muy graves que sólo puede y debe responder el gobierno ruso. La situación de Aleksei Navalny ha despertado interés mundial. El mundo espera una respuesta”*. La gobernante dijo que este es un *“crimen contra derechos y valores fundamentales”* y afirmó que trataría el caso con la Unión Europea y la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN): *“Estudiaremos conjuntamente y a la luz de la respuesta rusa, decidiremos sobre una reacción común adecuada”*.

La OTAN trató este asunto. Su secretario general, Jens Stoltenberg, dijo después que *“los aliados de la OTAN estuvieron de acuerdo en que Rusia ahora tiene serias preguntas que responder”*. Dijo también que *“el gobierno ruso debe cooperar completamente con la OPAQ [Organización para la Prohibición de las Armas Químicas] en una investigación imparcial internacional”* y revelar a esa organización los detalles de su programa sobre el novichok. *“Cualquier uso de armas químicas muestra una total falta de respeto por la vida humana y es una violación inaceptable de las normas y reglas internacionales”*, agregó.

La Comisión de Asuntos Internacionales de la Duma, la cámara de diputados rusa, había manifestado su intención de investigar, pero dirigió las sospechas hacia el exterior, hacia la posibilidad de que potencias extranjeras estuvieran involucradas y que tuvieran como objetivo desacreditar al gobierno ruso. Dicha Comisión manifestó que una declaración como la que hizo el gobierno alemán *“sobre el posible envenenamiento de Navalny debe ir obligatoriamente acompañada de pruebas concretas y sólidas”*.

“Lo que ocurre en torno a Navalny demuestra cada vez más que se trata de una acción planificada contra Rusia cuyo fin es imponer sanciones e intentar contener el desarrollo de nuestro país”, dijo el presidente de la Duma, Viacheslav Volodin. *“Yo me andaría con cuidado a la hora de hablar de acusaciones contra el Estado ruso”*, dijo, a su vez, Dmitri Peskov, el portavoz del presidente Vladimir Putin.

Mientras tanto, Navalny seguía en coma inducido, en una situación grave pero estable. Si bien su vida no corría peligro, los médicos habían advertido que podía sufrir secuelas, en particular en el sistema nervioso.

El dirigente ha sido la cara visible de numerosas protestas, algunas multitudinarias, contra el gobierno ruso, y ha acusado públicamente de corrupción a figuras vinculadas con el Ejecutivo de Putin. Una muestra de la incomodidad que causa Navalny es que las autoridades rusas evitan nombrarlo. Incluso al momento del ataque, cuando su salud lo convirtió en noticia, Peskov, se refería a él frente a periodistas como *“el paciente”*. No es la primera vez que los europeos y sus aliados se enfrentan a Rusia por un caso similar. En los últimos años hubo varios episodios de dirigentes políticos, millonarios y ex espías rusos que fueron intoxicados o sufrieron muertes dudosas. Una y otra vez las sospechas se dirigieron hacia Moscú y en cada caso Rusia negó las acusaciones y denunció que es blanco de una campaña de desprestigio.

5.3.2.- Viktor Yus, ex gobernante ucraniano.

En 2018, el ex presidente ucraniano Viktor Yushchenko relató a la BBC lo que vivió en 2004, cuando competía por ese cargo con el candidato preferido de Rusia, Viktor Yanukovich. *“Cuando regresé a mi casa y besé a mi esposa, lo primero que me dijo fue tus labios tienen sabor metálico”*, recordó. *“Había ido a una cena con el director y el vicedirector del servicio de seguridad de Ucrania. Según la investigación, el veneno fue agregado al arroz que sirvieron en la mesa”*, dijo.

Yushchenko fue internado en un hospital en Viena y allí se confirmó que había sufrido una intoxicación. Los síntomas se agravaron, se le hinchó la cara y después todo el cuerpo. La piel de su rostro muestra todavía las marcas.

5.3.3.- Anna Politkovskaya, periodista y militante por los derechos humanos rusa.

Como periodista, Anna Politkovskaya fue premiada por varios de sus trabajos. Escribió *La Rusia de Putin*, un libro crítico hacia el gobierno ruso y varios textos sobre el conflicto en Chechenia y lo que ocurría allí durante la Segunda Guerra Mundial. Denunció crímenes de guerra cometidos contra trabajadores humanitarios y periodistas que cubrían el conflicto.

También ella se convirtió en un blanco. En 2004 Politkovskaya sobrevivió a un primer intento de matarla con un té envenenado cuando viajaba a Osetia del Norte para cubrir la toma de rehenes en la escuela de Beslán. Pudo pedir ayuda cuando notó que perdía la conciencia. Pero dos años después, el 7 de octubre de 2006 fue asesinada a tiros en el ascensor del edificio donde vivía en Moscú.

Un par de años después, la abogada que representaba a su familia y a varios opositores rusos, Karina Moskalenko, que vivía en Francia, fue internada junto a su esposo y sus tres hijos con náuseas, vómitos y dolor de cabeza. Debajo de las alfombras del auto se encontró una sustancia tóxica similar al mercurio.

5.3.4.- Vladimir Kara-Murza, político y periodista ruso.

En 2015 cuando solía divulgar denuncias contra el gobierno, el activista opositor y periodista ruso Vladimir Kara-Murza sufrió un fallo de varios órganos vitales y quedó en coma. Logró sobrevivir, pero dos años después debió ser internado de nuevo, por varios meses y los médicos no lograron explicar lo que le pasaba.

Kara-Murza dijo en 2017 al diario español El País: *“No sé ni quién, ni cómo, ni dónde me envenenaron, pero mi caso lleva el sello del Servicio de Seguridad Federa (FSB), sofisticado y sin dejar rastro. La intención era matar, no amedrentar”*.

5.3.5.- Alexander Litvinenko, antiguo espía ruso.

Cuando Alexander Litvinenko fue envenenado ya no vivía en Rusia. Se había instalado en Londres con su esposa, Marina. El 1 de noviembre de 2006 se reunió en un hotel céntrico con otros dos ex espías rusos, Andréi Lugovoi y Dmitri Kovtun, que habían viajado a Reino Unido y con los que mantenía un vínculo personal. Algunas horas después de tomar el té con ellos comenzó a sentirse mal y a los dos días fue internado en un hospital con vómitos y dolores. Perdió el pelo y alcanzó valores muy bajos de glóbulos blancos en la sangre. Comenzaron a fallarle los riñones, el hígado, el corazón. Jusjto el 23 de noviembre, el día en que murió, se pudo identificar la sustancia radiactiva con que fue asesinado, polonio 210.

Tomó diez años que concluyera la investigación judicial sobre su envenenamiento. *“Estoy seguro de que los señores Lugovoi y Kovtun colocaron el polonio 210 en la tetera”*, dijo en 2016 el juez Robert Owen al leer su sentencia. *“Hay indicios que permiten concluir que fue asesinado por agentes de los servicios de inteligencia rusos”*, en una operación *“probablemente aprobada”* por el propio Putin, afirmó Owen. Según el juez, tanto el presidente ruso, que fue jefe de Litvinenko cuando dirigía los servicios de inteligencia rusos, como otros integrantes de su gobierno *“tenían motivos para tomar medidas en contra de Litvinenko”*.

El gobierno ruso siempre negó tener algo que ver con lo ocurrido en Londres. La entonces portavoz de la cancillería de Rusia, María Zakharova, atribuyó las acusaciones a una campaña contra su país. “*Es una campaña habitual. Lo normal es inventar cosas. Sólo podemos verlo como una provocación*”, dijo.

También Lugovoi y Kovtun negaron haber envenenado a Litvinenko. Pero días después de reunirse con él, cuando ya habían regresado a Moscú, los dos debieron ser internados con síntomas de radiación. En Londres, el rastro radiactivo se extendió por decenas de lugares por los que pasaron los tres: varios hoteles, un estadio y el Metro de Londres.

5.3.6.- Sergei Skripal.

En marzo de 2018, más de un centenar de funcionarios diplomáticos rusos fueron expulsados de Reino Unido, Estados Unidos y otros 20 países, en su mayoría europeos. Con esa medida, adoptada en conjunto, le transmitieron a Rusia su malestar con el envenenamiento, en la ciudad inglesa de Salisbury, del ex agente militar de inteligencia ruso Sergei Skripal, de 66 años, y su hija Yulia, de 33.

Skripal había estado preso en Rusia, condenado por alta traición. Había sido un doble agente que espía para Moscú y Londres. Una vez que salió de la cárcel, y gracias a un intercambio de espías, se instaló en Reino Unido.

Él y su hija fueron encontrados inconscientes en el banco de un shopping, y se los ingresó en un hospital en estado grave. Después de muchas dudas sobre el diagnóstico, se estableció que habían sido atacados con novichok. Los dos sobrevivieron.

El entonces ministro de Relaciones Exteriores británico, Boris Johnson (antiguo primer ministro), afirmó que era “*altamente probable*” que el presidente ruso estuviera involucrado. En todo momento el gobierno de Putin negó cualquier vínculo con el ataque, atribuyó las expulsiones de diplomáticos a una “*campaña anti rusa*” y consideró que las acusaciones eran “*imperdonables*”.

Unos meses más tarde, el caso tuvo una secuela. Un hombre y una mujer británicos encontraron un frasco de perfume y revisaron su contenido. Ella murió y él quedó ciego. Se presume que en ese envase fue transportado el agente nervioso que se usó contra los Skripal, del mismo grupo de sustancias que la detectada en Navalny.

5.3.7.- Pyotr Verzilov, activista.

En el mismo hospital de Berlín en el que se encuentra ahora el líder opositor ruso fue internado hace dos años Pyotr Verzilov, un activista vinculado a la banda Pussy Riot. Aunque integraba ese colectivo crítico con el gobierno desde sus comienzos, se hizo conocido cuando ingresó a la cancha del estadio de Lushinski de Moscú durante la final del mundial de fútbol de 2018. Por esa protesta pasó 15 días preso.

Tiempo después, Verzilov sufrió alteraciones en la vista y el habla, dificultades para moverse y convulsiones. Recurrió entonces al hospital La Charité de Berlín, donde se recuperó y denunció públicamente que había sido envenenado. Los médicos del hospital alemán manifestaron que eso era “*muy probable*”, pero no pudieron identificar la sustancia.

5.3.8.- Muertes dudosas

Otra consecuencia del caso Skripal fue la petición que presentó la entonces presidenta del Comité de Asuntos Interiores del Parlamento británico, Ivette Cooper, de que revisaran otras catorce (14) muertes sospechosas vinculadas con Rusia y ocurridas en territorio británico.

Entre esos casos se encontraba el del ex banquero ruso Alexander Perepilichny, encontrado en la calle en posición fetal, frío y casi sin signos vitales, en 2012. Más tarde se atribuyó su muerte a una hierba que altera el ritmo cardíaco.

También aparecía en la lista el magnate ruso Boris Berezovsky, que dejó Rusia en 1999 y fue encontrado ahorcado en el baño de su casa en Reino Unido en 2013. Se consideró un suicidio, pero informes técnicos que encargó su familia encontraron indicios de que alguien lo había estrangulado.

Se incluían también el caso de un socio de Berezovsky, Scot Young, otro millonario, que cayó de su apartamento en el cuarto piso y cuyo cuerpo fue atravesado por la reja del edificio, y el de un científico vinculado con el caso Litvinenko, Matthew Punter, apuñalado en su cocina con dos cuchillos distintos.

6.- Conclusiones.

El desarrollo de actividades por parte de los individuos de modo diario genera algún tipo de riesgo para ellos, por cuanto es común estar expuestos a lesiones, contratiempos y situaciones similares.

Sin embargo, una de las acciones que forman parte de la vida cotidiana aunque no de un modo habitual, es el correspondiente con la exposición a la radiación, la cual comprende el conjunto de energías que no pueden ser percibidas por el ojo humano pero que se trasladan de un sitio a otro en un espacio determinado, siendo descubierta en el año 1866 por el científico francés Antoine Becquerel seguido de Pierre y Marie Curie a quienes se les debe el descubrimiento del Polonio, mientras que el primero de los nombrados basó sus estudios a partir del uranio, dos metales presentes en la tierra con un alto contenido de radiación.

Se debe acotar que la exposición a la radiación cotidiana se encuentra sustentada en el hecho de estar presente en exámenes médicos como los rayos X, a los que todos los seres humanos en algún momento de sus vidas deben recurrir, lo que no significa que dichos actos no representen riesgos para las personas, sobre todo aquellos que se dedican al desarrollo de dicha profesión, lo que conlleva a que tengan que desarrollar determinadas medidas de seguridad con la finalidad de evitar el riesgo de exposición a ellos, pues pueden traer consigo efectos como pérdida del cabello, vómitos, irritabilidad de la piel, quemaduras e inclusive en el caso que la exposición sea muy amplia y continuada, la muerte de la persona.

Pero estar expuesto a los referidos actos, difiere del utilizar la radiación como un arma de tipo radiológico, la que si bien no se ha desarrollado a plenitud ya ha tenido precedentes en el mundo en casos de envenenamiento con Polonio, como sucedió con Alexander Litvinenko en el año 2006, causando la ingesta de éste en altas proporciones vómitos, pérdida del cabello y fallos renales hasta llevar a la muerte de la persona, tal como ocurrió con este agente.

Es por todo lo anterior que se deben extremar las medidas para evitar que casos como el reseñado se produzcan y más aun, que puedan llegar a utilizarse a los agentes radioactivos como armas de guerra, pues tales circunstancias pudieran traer consigo efectos letales para la civilización humana.

7.- Bibliografía.

- Arroquí, M. (21 de septiembre de 2021). *“Colocaron el polonio en la tetera”: la sombra de Rusia en el asesinato de Litvinenko.*
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (10 de diciembre de 1948). *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. París: Resolución Nº 217 A.
- ASTDR. Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades.
- Barreto Nova, . (2020). El derecho al libre desarrollo de la personalidad, análisis y propuesta de concepto.
- BBC Mundo. (2016). *Qué es el polonio 210 que mató al espía ruso Alexander Litvinenko.*
- Calderón Ibarra, J. (2016). Libre desarrollo de la personalidad: ¿batalla perdida o lucha incansable? .
- Cantero, E. (2009). Una lectura a la guerra civil española.
- Cherry, R. Radiaciones Ionizantes. En *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.*
- Diaz Francés, I. (2010). El 210Po en la cadena alimenticia humana. Radioprotección.
- Esteban Santos, S; Pérez-Esteban, J. (2012). Estudiando el fenómeno de la radiactividad a través de noticias de prensa: el caso del espía ruso envenenado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias vol. 9, núm. 2 , 294-306.*
- Fusi Aizpurua, J. (2015). *Una breve historia de la Segunda Guerra Mundial: El Efecto Hitler.*
- Gil Laso, A. (2021). Armamento radiológico y terrorismo. *Documento de Opinión IEEE.*
- Ginnobili, S. (2010). La teoría de la selección natural darwiniana. *Theoria.*
- Herrerín López, A. (2014). Primera Guerra Mundial.
- Instituto Nacional del Cáncer. (s.f.). Radiación.
- Junod, M. *El desastre de Hiroshima.*
- Martínez Pons, J. (2006). Armas Químicas: qué son y cómo actúan.
- Oppenheimer, W. (24 de noviembre de 2006). *Alexander Litvinenko fue envenenado con la sustancia radiactiva polonio 210.*
- Organización Mundial de la Salud. (29 de abril de 2016). *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección.*
- Ortega García, J. (2011). Armas Radiológicas.
- Ortiz De Urbina, P. (2007). La Primera Guerra Mundial y sus consecuencias: la imagen de Alemania en España a partir de 1914.
- Petrella, C; Tessore, C. (2019). *Incertidumbre, riesgo y ética. El caso de Hiroshima y Nagasaki.*
- Ramírez Arias, J. (2019). Radiología e Imagen.

- Rzheshovski, O. (1984). *La segunda guerra mundial. Mito y Realidad.*
- Sánchez Ron, J. (2011). Marie Curie, la Radiactividad y los Premios Nobel.