

*Análisis de los riesgos derivados
de la exposición de la población a
las sustancias radiactivas en el
agua de consumo humano*





*Análisis de los riesgos derivados de la
exposición de la población a las sustancias
radiactivas en el agua de consumo humano*

COLECCIÓN ESTUDIOS, INFORMES E INVESTIGACIÓN

MINISTERIO DE SANIDAD, CONSUMO Y BIENESTAR SOCIAL

2019

Edita y Distribuye:

© MINISTERIO DE SANIDAD, CONSUMO Y BIENESTAR SOCIAL

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

Paseo del Prado, 18, 28014 Madrid

NIPO:

Depósito Legal: pendiente tramitación

Directora General de Salud Pública, Calidad e Innovación

Pilar Aparicio Azcárraga

Subdirectora General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral

Covadonga Caballo Diéguez

Autores:

Margarita Palau Miguel. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social.

Santiago González Muñoz. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social.

Manuel Alvares Cortiñas. Xunta de Galicia

Almudena García Nieto. Comunidad de Madrid

Isabel Marta Morales. Comunidad de Madrid

Enrique Estrada Vélez. Junta de Castilla y León

Roberto Gago Gutiérrez. Junta de Castilla y León

Macrina Martín Delgado. Gobierno de Canarias

Sara Fernández Moreno. TRAGSATEC

Salvador Giménez Bru. TRAGSATEC



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE SANIDAD, CONSUMO
Y BIENESTAR SOCIAL

*Análisis de los riesgos derivados de la
exposición de la población a las sustancias
radiactivas en el agua de consumo humano*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
Objetivos.....	10
Metodología	10
Radiactividad natural.....	11
Radiactividad artificial	13
ANÁLISIS DEL RIESGO POR INGESTIÓN DE RADIONUCLEIDOS EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO	14
Evaluación del riesgo	15
Identificación del peligro	15
Caracterización del peligro	17
Evaluación de la exposición	19
Caracterización del riesgo.....	24
Limitaciones a la evaluación del riesgo.....	25
Gestión del riesgo	25
Aspectos normativos.....	25
Abordaje de la gestión del riesgo.....	28
Unidad territorial	28
Tipos de análisis	29
Punto de muestreo	29
Caracterización de captaciones	29
Árbol de decisión para la caracterización de captaciones	30
Tipificación de masas de agua	32
Valores en red	33
Decisiones sobre aptitud	33
Finalización del plan.....	33
Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo. SINAC.....	34
Comunicación del riesgo del riesgo	35
ANÁLISIS DEL RIESGO POR INHALACIÓN DE RADÓN VEHICULADO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO.....	38
Evaluación del riesgo	39
Identificación del peligro	39
Caracterización del peligro	40
Evaluación de la exposición	41
Caracterización del riesgo.....	43
Limitaciones a la evaluación del riesgo.....	44
Gestión del riesgo	44
Aspectos normativos.....	44
Caracterización de las captaciones	45
Caracterización de las masas de agua subterráneas	45
Zonas de abastecimiento	46
Valores en red	48
Comunicación del riesgo.....	48
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	50
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS.....	62
1. Diagrama de la estrategia en el control de la DI en agua de consumo humano.....	63
2. Árbol de decisión para la caracterización de captaciones Tipo 1, basadas en los valores de “Cribado”	64
3. Árbol de decisión para la caracterización de captaciones Tipo 2, basadas en los valores de Dosis Indicativa.....	65
4. Documentación a presentar para la reducción de la frecuencia de muestreo	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de zonas de abastecimiento según número de habitantes en España, en 2017.	28
Tabla 2. Datos de radón en agua de consumo humano por Comunidad Autónoma.....	43
Tabla 3. Evaluación del riesgo cualitativa con información geológica y de radiación gamma.....	47
Tabla 4. Destinatarios de la comunicación del riesgo	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cadenas simplificadas de desintegración del ^{238}U	11
Ilustración 2. Cadenas simplificadas del ^{232}Th y ^{235}U	12
Ilustración 3. Curva de riesgo de efectos estocásticos tras exposición a radiación ionizante	18
Ilustración 4. Comparación de los valores de 1990 (Publicación ICRP60) y de los de 2007 de los coeficientes nominales de riesgo para efectos estocásticos, expresados en % por Sv	18
Ilustración 5. Mapa de radiación gamma natural en España (MARNA)	21
Ilustración 6. Mapa geológico de España y Portugal.....	23
Ilustración 7. Número de determinaciones de Tritio en agua de consumo humano por municipio. Año 2017.	24
Ilustración 8. Imagen portada de SINAC.....	34
Ilustración 9. Actuaciones a seguir ante superaciones del valor paramétrico en sustancias radiactivas en aguas de consumo humano	35
Ilustración 10. Riesgo relativo de cáncer de pulmón en función de la concentración media de radón residencial en el análisis agrupado europeo	41
Ilustración 11. Mapa potencial de radón en España	42

ÍNDICE DE FOTOS

Portada. © Fotolia	
Lavadero público. Imagen cedida por Marina Gamo	8
Jarra de agua con vaso. Imagen cedida por Tragsamedia	14
Agua. © Fotolia	38
Fuente pública. Imagen cedida por Marina Gamo	50
Fuente pública. Imagen cedida por Marina Gamo	55
Fuente pública. Imagen cedida por Marina Gamo	62

LISTADO DE ACRÓNIMOS

AS	Autoridad Sanitaria
CSN	Consejo de Seguridad Nuclear
DI	Dosis Indicativa
ERS	Evaluación del riesgo en salud
ETAP	Estación de tratamiento de agua potable
IARC	Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer
ICRP	Comisión Internacional de Protección Radiológica
LET	Transferencia Lineal de Energía
MARNA	Información geográfica sobre radiación gamma natural
OMS	Organización Mundial de la Salud
PR	Protección Radiológica
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINAC	Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo
USEPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos
ZA	Zona de Abastecimiento



INTRODUCCIÓN

El Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, el Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano, y el Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano, introduce en el artículo 1. Once, la posibilidad de elaborar documentos o guías técnico sanitarias que faciliten una implantación uniforme del control de sustancias radiactivas previsto en dicha norma, y en particular el análisis de los riesgos para la salud humana que derivan de la misma.

En cumplimiento de este Real Decreto 314/2016, se ha desarrollado el presente informe de análisis de riesgos en la salud derivados de la exposición de la población a las sustancias radiactivas en el agua de consumo, siguiendo las pautas marcadas por la Ley 33/2011, de 4 de octubre, General de Salud Pública en cuyo artículo 28. Uno, expone que la protección de la salud comprenderá el análisis de los riesgos para la salud, que incluirá su evaluación, gestión y comunicación.

Las sustancias radiactivas que pueden estar presentes en el agua de consumo entrañan una serie de riesgos a la población expuesta, por lo que es necesario analizar uno a uno dichos riesgos. Con la ayuda del presente informe se pretende facilitar la aplicación del análisis de riesgos en la salud en aquellas zonas caracterizadas como zonas de riesgo por la existencia de radionucleidos en el agua de consumo humano, permitiendo la implantación uniforme del control de sustancias radiactivas y pudiendo ser, además, un valioso instrumento para facilitar el trabajo de las autoridades sanitarias (AS). Este documento es una propuesta metodológica inicial que podrá evolucionar de acuerdo a nuevas evidencias científicas y estudios realizados, pudiendo ser adaptado por cada Comunidad Autónoma en base a las circunstancias propias de cada territorio.

Objetivos

Este documento está destinado a dotar a las AS de un marco uniforme de actuación en materia de control de sustancias radiactivas en agua de consumo humano y gestión de incumplimientos de los valores paramétricos establecidos. Concretamente tiene como objetivos:

- Permitir a la AS la realización de la evaluación del riesgo prevista en el apartado 6.3 del anexo X del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Definir un modelo para identificar las zonas hidrogeológicas del territorio nacional susceptibles de presentar valores de radiactividad superiores a los máximos establecidos en el Real Decreto 140/2003.
- Determinar pautas para el control de sustancias radiactivas en agua de consumo humano, concretando aspectos que el Real Decreto 314/2016 no precisa.

Metodología

El informe se ha desarrollado siguiendo las tres fases previstas en la Ley 33/2011 para desarrollar el análisis del riesgo en salud: evaluación de riesgo en salud, gestión del riesgo, y comunicación del riesgo. Estas fases se realizarán tanto para los riesgos por ingestión como para los riesgos por inhalación de radionucleidos presentes en el agua de consumo.

Cuando nos referimos al análisis de riesgo para la salud hacemos referencia a una herramienta de evaluación de la probabilidad de aparición y magnitud de las consecuencias de un problema, que permite identificar los aspectos críticos del mismo y facilita la toma de decisiones para resolver los problemas planteados.

En la primera fase se realiza la **Evaluación Del Riesgo En Salud (ERS)**, que estima la probabilidad de que ocurra un determinado riesgo utilizando una metodología cuantitativa. Esta fase se encuentra estructurada en cuatro etapas (Martín-Olmedo et al. 2016):

Identificación del peligro: Fase cualitativa consistente en la identificación de todas aquellas situaciones o agentes capaces de generar efectos adversos en salud en un escenario concreto de exposición, así como en la caracterización de la naturaleza de tales efectos (carcinogénicos y no carcinogénicos) en función de la evidencia científica obtenida de estudios epidemiológicos, toxicológicos, dosimétricos, etc.

Caracterización del peligro o Evaluación de la dosis/respuesta: Fase cuantitativa que trata de describir la relación existente entre la magnitud y condiciones de exposición a un agente (dosis), y la probabilidad y gravedad de que se produzca un efecto adverso en salud (respuestas). La información se obtiene mediante revisión de la evidencia científica generada en estudios de experimentación en animales o estudios epidemiológicos. La incertidumbre biológica que genera este proceso es uno de los aspectos más críticos de la ERS.

Evaluación de la exposición: Proceso cuali-cuantitativo de caracterización de la intensidad, frecuencia, y duración de la exposición humana a un agente presente en el medio, o hipotéticamente liberado como resultado de futuras acciones humanas. La información obtenida en esta etapa hace referencia a la distribución y concentración de un peligro en una matriz medioambiental, la caracterización de las vías de exposición, así como datos sobre características fisiológicas y de comportamiento de la población real o potencialmente expuesta.

Caracterización del riesgo: Fase final en la que las evaluaciones de la exposición y la

caracterización de la relación dosis-respuesta se combinan en la estimación de la probabilidad, naturaleza y magnitud del riesgo humano de acuerdo con los diferentes escenarios de exposición identificados. Se explica de forma detallada la información referente a la naturaleza y el peso de la evidencia en cada parte del proceso, la distribución de los riesgos entre los distintos sectores de la población, la incertidumbre asociada a cada etapa, y los supuestos adoptados en las estimaciones.

La siguiente fase del análisis de riesgos es la **Gestión Del Riesgo**. Hace referencia al proceso de toma de decisiones donde se incluye las consideraciones de factores políticos, sociales, económicos y técnicos, considerando la información derivada de la evaluación de riesgos junto otros datos relevantes para la protección de la salud de la población necesarios para desarrollar, analizar, comparar las distintas opciones de prevención y control que correspondan, y poner en práctica la respuesta normativa o ejecutiva apropiada a ese riesgo. En la fase de gestión de riesgos se integran y ponderan la información científica y otros factores como los de índole económica, social, cultural y ética para elegir las opciones más adecuadas para cada situación.

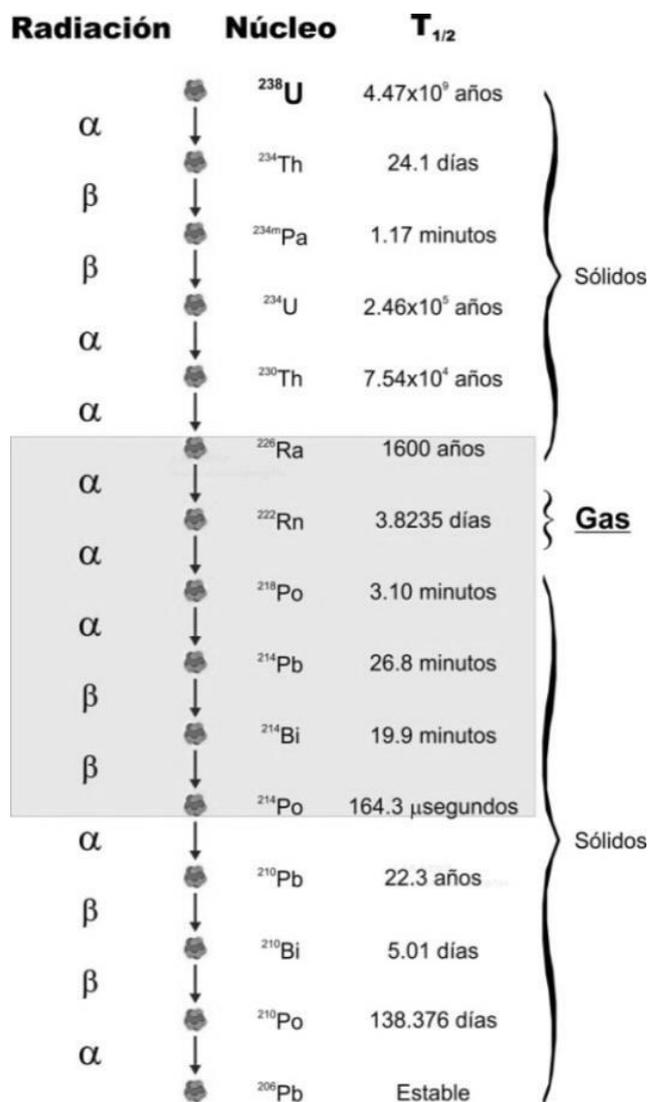
Finalmente, la **Comunicación Del Riesgo** es la última fase del análisis de riesgos, se trata de un proceso de intercambio de información (datos, opiniones y sensaciones) entre los diversos actores involucrados en una comunidad (instituciones, grupos o individuos), sobre las amenazas para la salud, la seguridad o el ambiente, con el propósito de que la comunidad conozca los riesgos a los que está expuesta y participe en su mitigación. Este proceso debe tomar en cuenta las preocupaciones de la población (considerando a todos los grupos), así como provocar cambios en la opinión y el comportamiento de las personas afectadas, al brindarles la información necesaria para conocer, aceptar, reducir o evitar el riesgo que se comunica. La

adecuada conducción de este proceso propicia una mejor aceptación de la evaluación del riesgo, y por lo tanto facilita su gestión.

Radiactividad natural

En el planeta Tierra existen radionucleidos, origen de radiación natural, que estaban presentes en la formación del planeta y todavía no se han extinguido por transmutación, por ser muy poco radiactivos y tener, por tanto, semividas comparables a la edad de nuestro planeta (radionucleidos primordiales); también hay otros que se generan constantemente, aunque a efectos de

Ilustración 1. Cadenas simplificadas de desintegración del ^{238}U



Fuente: USC, 2009

incidencia en la salud tienen muy poca importancia (los más importantes son los cosmogénicos). La radiactividad natural está estrechamente relacionada con la presencia o ausencia de rocas y sedimentos que contienen elementos radiactivos. Todas las rocas son radiactivas, en el sentido que todas contienen elementos primordiales que al desintegrarse se transforman en otros núcleos inestables que tras su correspondiente cadena de desintegración terminan en núcleos estables, con emisión de radiactividad, o sea, radiaciones ionizantes en cada una de dichas desintegraciones.

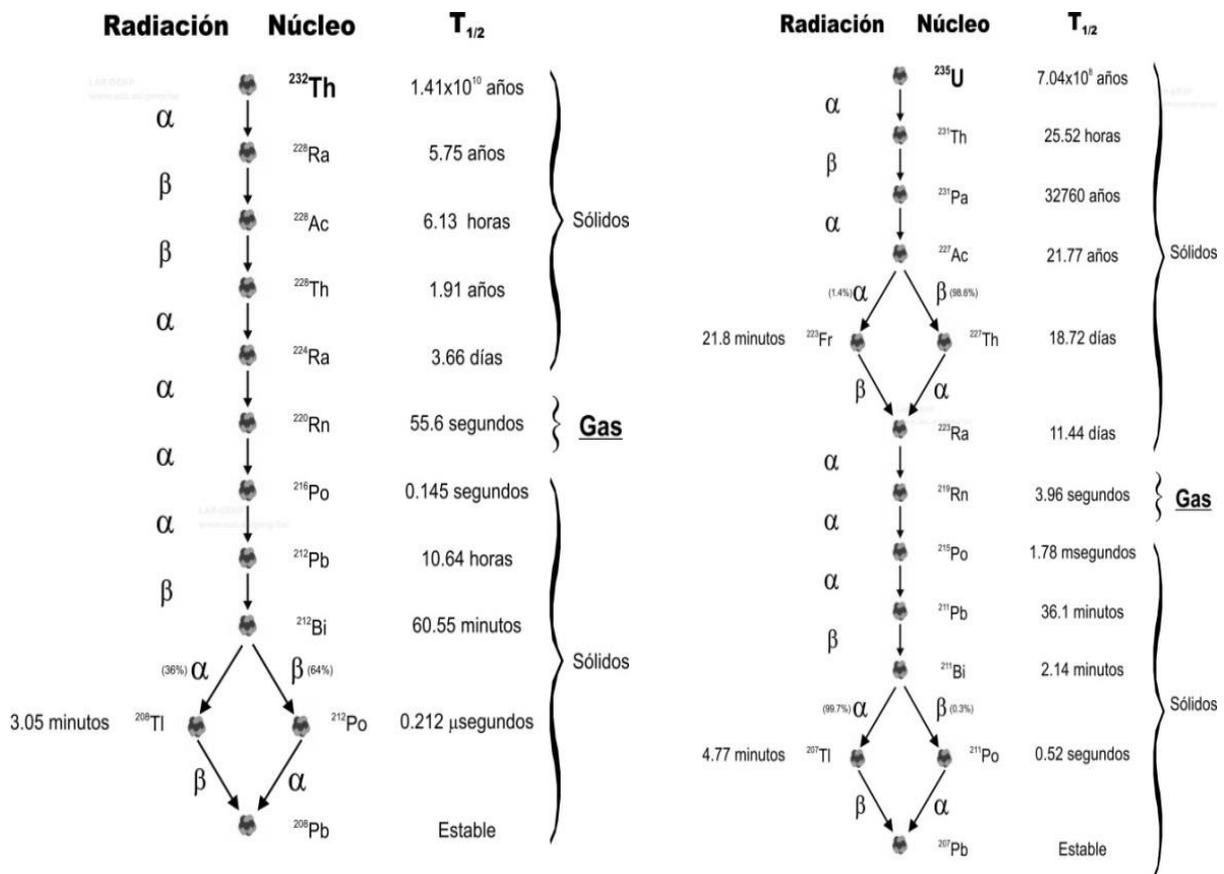
Para la salud son importantes el ^{40}K , que decae a un elemento estable en un solo paso, y las tres cadenas radiactivas ^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th , que decaen a un elemento estable tras una cadena de descendientes todos ellos radiactivos, como puede verse en las ilustraciones 1 y 2.

Estos elementos radiactivos afectan a la salud a largo plazo de forma importante desarrollando diferentes tipos de cáncer y efectos hereditarios. Esta afección es proporcional a la dosis recibida, y varía según zonas dependiendo del tipo de roca presente: son las rocas ígneas (granitos) y volcánicas, los suelos resultante de la meteorización de éstas (arcillas) y la metamorfosis de las últimas (pizarras) las que presentan mayor actividad.

Los suelos de origen volcánico presentan contenidos variables de radionucleidos, fundamentalmente de las series del uranio y el torio y los derivados de su degradación (radio (Ra), radón (Rn), polonio (Po) y plomo (Pb)). La concentración depende entre otras cuestiones, de la tipología de las rocas del subsuelo.

A partir del subsuelo, estos elementos pasan a las aguas subterráneas en contacto, si bien la concentración de los radionucleidos en esta

Ilustración 2. Cadenas simplificadas del ^{232}Th y ^{235}U



Fuente: USC, 2009

última puede variar considerablemente en función de la composición de las rocas, tiempos de transferencia y contacto y profundidad. Las aguas procedentes de acuíferos de rocas cristalinas (ígneas) son las de mayores concentraciones.

Las aguas, en su discurrir, se cargan de estos radionucleidos en cantidades que dependen de numerosos y variados factores; y por tanto son, asimismo, fuente de exposición a estos elementos por ingestión.

Las dosis procedentes de la radiactividad natural nunca son suficientes para que se produzcan efectos de salud deterministas sino que siempre se plantea un escenario de efectos estocásticos. Las características de los efectos estocásticos son determinantes para un correcto tratamiento de la contaminación radiológica: Los efectos son de carácter grave (cáncer y efectos hereditarios) y tardíos. La expresión o desarrollo del cáncer se produce en ocasiones varios años después de la exposición y los efectos hereditarios se manifiestan en la siguiente generación. La relación entre población afectada y exposición es lineal y carece de umbral; esto es, a menor exposición, menor probabilidad pero nunca se reduce a cero de igual manera que no hay exposición cero.

Radiactividad artificial

A los radionucleidos naturales habrá que sumar, según los casos, aquellos otros núcleos artificiales que no existen en la naturaleza y se generan en la actividad industrial, fundamentalmente en la producción de electricidad por fisión nuclear, si se llegara a dar una contaminación por parte de los mismos de captaciones de agua con destino al consumo ya sea por accidente u otra circunstancia. Los isótopos artificiales que se producen como consecuencia de actividad industrial son numerosos. El Real Decreto 140/2003 incluye como parámetro al tritio (^3H), puesto que un elevado nivel de tritio en el agua de consumo debe considerarse indicador de posible presencia de radionucleidos de origen artificial.



ANÁLISIS DEL RIESGO POR INGESTIÓN DE RADIONUCLEIDOS EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO

Evaluación del riesgo

Identificación del peligro

Los radionucleidos presentes en el agua que emiten radiactividad, entre los que distinguimos isótopos naturales e isótopos artificiales, pueden constituir un peligro para la salud. A continuación se identifica el riesgo producido por ambos tipos de radiactividad.

Para la **radiactividad de origen natural**, su contenido en el agua dependerá de la composición de las rocas por donde haya discurrido pero se encuentra alterada por otros muchos factores, como por ejemplo: la solubilidad de los radionucleidos, la concentración de éstos en la roca madre (que en principio va a estar cerca del equilibrio secular), los efectos de ion común, la superficie de contacto y el tiempo de este contacto, entre otros.

A este efecto conviene adelantar que las aguas superficiales discurren por rocas muy lavadas y tienen poco tiempo y poca superficie de contacto. Por ello, es poco probable encontrar en este tipo de recurso hídrico valores significativos. Por el contrario, las aguas de los acuíferos profundos participan de las cualidades contrarias a las citadas, y a las que hay que añadir otras ligadas a la alta inmovilidad (inyección directa de descendientes de alfa-emisores) y a los cambios de potencial redox (cambio de especies insolubles en ambiente reductor a otras solubles en ambiente oxidante ligado a la bajada del nivel), lo que es importante para la evaluación de la exposición.

La concentración de radionucleidos en aguas subterráneas varía de acuerdo con la profundidad, los minerales presentes en el acuífero y los aniones disueltos tales como cloruros, carbonatos o sulfatos que incrementan la movilidad del radio presente, etc., lo que tendrá su reflejo en el tipo de

captación. Los estudios hasta la fecha muestran una amplia variabilidad en las concentraciones absolutas de radionucleidos naturales, que generalmente siguen una distribución log-normal.

En función de lo expuesto los principales factores favorecedores de cara a la superación de valores paramétricos son:

- Características geológicas: subsuelos volcánicos, cristalinos.
- Captaciones de agua subterránea y pozos perforados.
- Concentraciones altas de cloruros, carbonatos y sulfatos en el agua subterránea.
- Tratamiento de potabilización aplicado.

Por otro lado, hay técnicas de tratamiento que permiten una reducción de los radionucleidos en el agua de consumo humano, como son la ósmosis inversa en el caso de los derivados del radio y los tratamientos físico-químicos convencionales característicos de las ETAP, para el resto del grupo. Los tratamientos convencionales incluyen aireación, precloración/ozonización, coagulación a pH 6 y 9,5-10, floculación, decantación, filtración por arena o zeolita y postcloración. La aireación parece suficiente en el caso del radón.

Los isótopos que se van a encontrar en concentraciones detectables son el ^{40}K y los descendientes de las tres series radiactivas (^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th), pero no todos van a tener importancia, como se verá más adelante.

Uno de los isótopos incluidos con el Real Decreto 314/2016 y que merece mención aparte es el radón, a los efectos de este documento consideraremos el ^{222}Rn (en adelante radón), que presenta implicaciones de índole radiológica según el estado actual del conocimiento, mientras que otros isótopos del radón tienen una importancia residual. El radón es un gas radiactivo de origen natural

que se produce en la cadena de desintegración del ^{238}U , que está presente en suelos y rocas. El radón emana fácilmente del suelo y pasa al aire, y al agua (OMS, 2015). Debido a su corta semivida (3,8 días) decae relativamente rápido a especies radiactivas de corta vida como el polonio, bismuto y plomo radiactivos de semivida aún más corta (Barros Dios, s.f.).

Se incluye por primera vez como parámetro a medir en agua de consumo debido a la consideración del agua de consumo como una de las tres fuentes principales de entrada de gas radón en las viviendas y espacios cerrados, junto con las emanaciones del subsuelo y materiales de construcción (OMS, 2015).

Cuando consideramos el agua de grifo recién extraída, la concentración de radiactividad más alta se debe generalmente al radón, que es dos o tres órdenes de magnitud más altas que para otros radionucleidos. Sin embargo, debido a la facilidad de desorción y a la descomposición física, su concentración disminuye rápidamente y es significativamente menor si se toma el muestreo en el punto de entrega (agua corriente) o es insignificante en agua embotellada. Si se calcula la exposición total debida al agua potable, el radón puede ser generalmente responsable de la mayor fracción de dosis, principalmente por la vía de inhalación, ya que el radón presente en el agua se elimina con mucha rapidez en superficie por desgasificación del agua, y su riesgo sanitario de ingesta es más bien escaso (USC, 2019b). Las estimaciones de la dosis efectiva comprometida anual por un adulto tras la ingestión de agua que contiene 1000 Bq/l de radón (nivel de medidas correctivas inmediatas), variaría en un rango de 0,2 mSv a 1,8 mSv, dosis total estimada por año de todos los radionucleidos en el agua de consumo humano, excluyendo la dosis de ^{40}K (Recomendación 2001/928/Euratom).

Hasta el momento, son pocos los estudios que analizan el riesgo sanitario de la ingesta de radón presente en el agua de consumo. Uno de ellos analiza el aumento del riesgo de desarrollar cáncer de estómago en una zona en la que el agua de consumo contenía elevadas concentraciones de uranio y otros radionucleidos de origen natural, los resultados obtenidos no encontraron relación positiva entre la presencia de radón en el agua y el riesgo de cáncer de estómago (Auvinen et al. 2005).

Entre los radionucleidos no volátiles (excluyendo así el ^{222}Rn), los isótopos de uranio suelen mostrar las concentraciones de actividad más altas, pero dado su factor de conversión relativamente bajo, su contribución a la dosis total es baja. La fracción de dosis más alta es a menudo atribuible a isótopos de radio (^{226}Ra y ^{228}Ra), especialmente cuando se toman en cuenta las clases de edad más bajas. En algunos casos, la mayor contribución se debe a ^{210}Pb y ^{210}Po .

Por ser crucial para la radioprotección, el problema de la contaminación por radio se ha examinado extensamente. La presencia de isótopos de radio en las aguas subterráneas es muy variable. Las concentraciones de ^{226}Ra , y a veces de ^{228}Ra , pueden exceder de 1 Bq/l, pero en la mayoría de los casos están asociadas con fuentes termales, agua mineral o pozos perforados. Se encuentran muy pocos ejemplos de abastecimientos contaminados por radio (USC, 2019b).

Para la **radiactividad artificial** solo tienen relevancia los vertidos accidentales procedentes de centrales de fisión nuclear, en lo referido al tritio (cuya utilidad es la de isótopo testigo de la presencia de otros radionucleidos de interés para la salud). En el pasado, las pruebas nucleares en la atmósfera tuvieron una gran importancia, y el agua de lluvia alcanzaba el suelo con contenidos detectables de radionucleidos. Tras la

prohibición de estas pruebas, el arrastre de isótopos artificiales por la lluvia ha dejado de ser importante.

Los isótopos que se producen son numerosos, pero solo tienen importancia los que se indican en el Real Decreto 140/2003, lo cual incluye también al tritio. El tritio es un isótopo radiactivo del hidrógeno que tiene dos orígenes principales en la naturaleza: uno es la formación mediada por rayos cósmicos y en el otro la formación ligada a reacciones generadas en centrales nucleares. El nivel basal de tritio en la naturaleza está ligado al primer origen y carece de implicaciones para los seres humanos. El tritio es un emisor beta que tiene un periodo de desintegración de 12,3 años, y su radiotoxicidad es francamente baja. Puede entrar en el organismo en estado gaseoso o líquido, aunque su radiotoxicidad proviene en tal caso de su incorporación en este último estado.

El tritio tiene el mismo comportamiento químico que el hidrógeno, y reacciona con el oxígeno para formar agua, estando presente en la misma y además tiene cierta facilidad para intercambiarse con el hidrógeno de las proteínas (y del agua), pudiendo formar parte de estas. Se ha comprobado que la concentración de este isótopo en la lluvia y en el agua de los ríos es dependiente de la latitud del lugar, aumentando con esta, y doblándose cada 13° en dirección al polo (USC, 2019a). Su valor paramétrico está establecido en 100 Bq/l por el Real Decreto 314/2016. El agua tritiada presenta el mismo metabolismo que la normal, por lo que el tritio se distribuye uniformemente por el organismo, siendo excretado un mes o dos después de su ingestión (USC, 2019a).

Como ya hemos mencionado, un nivel elevado de tritio debe ser considerado un indicador de posible presencia de isótopos artificiales procedentes de reacciones nucleares, es por ello que en el Real Decreto 140/2003 se fija

como parámetro a medir cuando se den las condiciones que estipula, esto es, en agua superficial para captaciones que pudieran afectarse por las fuentes antropogénicas antes citadas.

Aparte de la radiación natural y la de radionucleidos artificiales, también hay contaminación por radionucleidos naturales causada por la actividad humana, donde esos radionucleidos se han concentrado mediante procesos industriales no nucleares (por ejemplo, minería, combustión del carbón, producción de fertilizantes, etc.) (USC, 2019b).

Caracterización del peligro

El daño que causa la radiación en los órganos y tejidos depende de la dosis recibida, o dosis absorbida. Este daño depende del tipo de radiación y de la sensibilidad de los diferentes órganos y tejidos. La exposición a dosis bajas de radiación ionizante puede aumentar el riesgo de efectos a largo plazo, como el desarrollo de cáncer. Cuando las dosis de radiación superan determinados niveles pueden tener efectos agudos en la salud, tales como quemaduras cutáneas o síndrome de irradiación aguda (OMS, 2016b). Tras la exposición de todo el cuerpo o de gran parte del cuerpo a dosis muy elevadas de radiación se producen efectos agudos sobre la salud que se manifiestan en disminuciones del recuento de células sanguíneas y que, en los casos muy graves, ocasionan la muerte (OIEA, 1998). Las concentraciones típicas de radionucleidos en el agua de consumo son muy pequeñas, no existiendo peligro de efectos agudos sobre la salud debidos a la radiación.

La probabilidad de desarrollar cáncer tras la exposición a radiación ionizante ha sido estudiada en múltiples estudios epidemiológicos realizados en diversas poblaciones entre las que se incluyen los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, así como personas expuestas a radiación externa o a

radionucleidos por motivos médicos u ocupacionales. Por extrapolación de estos datos y estudios se obtiene un buen conocimiento de la curva efectos-dosis, incluso para valores de dosis pequeños (IAEA, 2013).

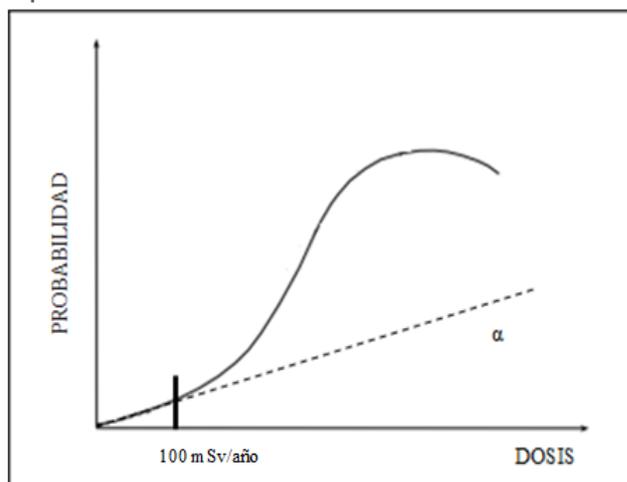
La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, por sus siglas en inglés) asume que la relación efecto-dosis es lineal para dosis bajas y no existe umbral inferior para los riesgos estocásticos debidos a la radiación; es decir, el efecto se puede presentar a cualquier dosis, y lo que hacemos al disminuir ésta es disminuir la probabilidad de que aparezca de manera lineal. Siendo para la radiación de baja LET una relación lineal (efecto proporcional a la dosis) a bajas dosis y de tipo cuadrática (efecto proporcional al cuadrado de la dosis) a dosis más altas, pudiéndose simplificar la relación a través de la siguiente ecuación (ICRP, 2007; Gisone et al. 2001):

$$E = \alpha D + \beta D^2$$

Hasta los 100 mSv/año la probabilidad de efectos es lineal con pendiente $\alpha = 5,5$ (% por Sv al año) para el total de la población, siendo este valor 4,1 si solo se considera la población adulta (CSN, 2013). A partir de este valor el efecto aumenta más rápidamente, es decir, existe cierta probabilidad de que ocurra más

de un impacto por célula siendo la relación dosis-respuesta cuadrática ($E = \beta D^2$).

Ilustración 3. Curva de riesgo de efectos estocásticos tras exposición a radiación ionizante



Fuente: Elaboración propia

Para radiactividad natural la dosis de exposición se encuentra lejos de los 100 mSv/año, excepto en situaciones anormales, por lo que nos encontramos en una situación de linealidad que permite el cálculo de la probabilidad de efectos fácilmente.

La repercusión sanitaria de la radiactividad de origen artificial no difiere de la de origen natural en cuanto a sus efectos, si bien la diferente caracterización química de las especies artificiales pudiera hacer que sus parámetros de absorción, distribución, metabolismo y excreción fueran diferentes. No obstante esta cuestión escapa del ámbito de este documento.

Ilustración 4. Comparación de los valores de 1990 (Publicación ICRP60) y de los de 2007 de los coeficientes nominales de riesgo para efectos estocásticos, expresados en % por Sv

Población Expuesta	Cánceres		Efectos hereditarios		Total	
	2007	1990	2007	1990	2007	1990
Global	5,5	6,0	0,2	1,3	5,7 ≈ 6,0	7,3
Adulta	4,1	4,8	0,1	0,8	4,2 ≈ 4,0	5,6

Fuente: CSN, 2013

El valor de tritio como parámetro radica en su carácter de indicador de posible presencia de radiactividad de origen artificial, así una concentración de tritio superior a 100 Bq/l puede indicar la presencia de otros radionucleidos artificiales, por lo que se debería medir en la misma muestra de agua el tritio, la actividad alfa total y la actividad beta total, que son los valores de cribado que en caso de ser superados harían necesario investigar la dosis indicativa asociada a radioisótopos artificiales (Real Decreto 314/2016).

Evaluación de la exposición

La Dosis Indicativa (en adelante DI) es el parámetro que va a medir la exposición, y se define como la dosis efectiva comprometida por un año de ingesta debida a todos los radionucleidos cuya presencia se haya detectado en una fuente de abastecimiento de agua destinada al consumo humano, ya sean de origen natural o artificial, excluidos el tritio, el ^{40}K , el radón y los productos de desintegración del radón de vida corta, y se calcula en base a un consumo de 730 litros al año (2 l/día) (Real Decreto 314/2016). El radón se excluye debido a que se elimina inmediatamente en el grifo, el ^{40}K porque su aportación a la DI es constante por ser un radionucleido primordial y en el organismo sometido a homeostasis (0,18 mSv/año), el tritio por su poca relevancia a efectos de dosis y los descendientes de vida corta del radón porque desaparecido el progenitor no tienen aportación.

La DI se calcula sumando las contribuciones de los diferentes radionucleidos, pero solo unos pocos tienen una aportación considerable, bien porque sean muy abundantes (uranios), bien porque sean bastante solubles (radios), bien porque tengan un coeficiente de dosis muy alto (polonio, plomo). Hay otros que tienen poca contribución, incluso siendo muy abundantes si son muy poco solubles (torios).

En el Real Decreto 314/2016 se listan los seis más importantes.

La DI debe ser entendida como una dosis comprometida acumulada a lo largo de todo un año tomando como referencia una ingesta anual de 730 litros de agua. Es un parámetro que debe ser interpretado, más que en relación a una muestra de agua concreta, sino en relación a la exposición real de la población a lo largo de todo el año. Así, pudiera darse el caso de que mediante mezclas de aguas en ciertas temporadas del año, la dosis comprometida anual no superará para un determinado abastecimiento el valor de DI, entendido de esta manera, aunque en determinadas circunstancias o épocas del año de manera puntual sí se superará. Esto puede ser relevante en abastecimientos pequeños que alternan diferentes procedencias de agua de manera, por ejemplo, estacional.

Se ha comprobado, en estudios realizados tanto con seres humanos como con animales, que la exposición a dosis bajas y moderadas de radiación puede aumentar la incidencia de cáncer a largo plazo, y que no existe un umbral inferior que garantice una ausencia de riesgo (OMS, 2011). En este contexto se ha establecido su valor paramétrico en 0,10 mSv/año. Esto no significa que niveles inferiores estén exentos de potenciales efectos en salud, ya que no existe umbral por debajo del cual no exista riesgo, sino que se ha fijado en ese valor el nivel de referencia del riesgo a asumir.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el riesgo adicional para la salud derivado de la exposición a una dosis anual de 0,10 mSv se considera bajo, por las siguientes razones (OMS, 2011):

- El coeficiente de probabilidad nominal correspondiente a los efectos estocásticos sobre la salud inducidos por la radiación, que incluyen cáncer mortal, cáncer no

mortal, y efectos hereditarios graves para toda la población es de $7,3 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$. Este coeficiente multiplicado por la dosis de referencia 0,1 mSv de exposición anual por el agua de consumo da como resultado un valor máximo estimado de riesgo vitalicio de efectos estocásticos sobre la salud de 10^{-4} , que puede considerarse pequeño en comparación con muchos otros riesgos para la salud.

- La exposición a la radiación de fondo promedio es de unos 2,4 mSv al año (con fluctuaciones locales hasta diez veces mayores que no han acreditado incrementos de los riesgos para la salud), por lo que la dosis de 0,10 mSv supone un incremento mínimo con respecto a los niveles de fondo (10% de la dosis efectiva a la que debe exponerse la población (ICRP, 1990; OIEA, 1996)).

Variables primarias de exposición

La DI es el único parámetro certero para relacionar exposición con el efecto. También se ha indicado que la DI es por el consumo de agua en un año e igualmente se ha citado que el coeficiente que relaciona exposición y efecto disminuye con la edad.

Técnicamente, a igualdad de DI, colectivos más envejecidos¹ o con menor consumo de agua tendrían una valoración de la exposición menor. Pero la salud no es la mera ausencia de enfermedad, sino también el suficiente bienestar psíquico y social, por lo que no se considera adecuado distinguir colectivos en función de la edad. Es la DI la única variable que se debe tener en cuenta para medir la

¹ El riesgo para la población adulta es menor que para la población infantil. En personas mayores los efectos hereditarios no se deben tener en cuenta y hay un número alto de fallecimientos por otras causas antes de que se exprese el cáncer radioinducido. De ahí que los efectos debidos a la misma exposición en este colectivo sea menor.

exposición: si se conocen los valores de DI, se conoce la exposición y por ello se puede gestionar adecuadamente el riesgo.

El Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social publica anualmente un informe sobre la calidad del agua de consumo del país donde se recogen los valores cuantificados de la DI. No obstante, los datos existentes son escasos y no son representativos de la situación actual; pudiendo contribuir más a una percepción errónea que a un conocimiento certero de la exposición.

Ello no supondría un inconveniente si, tecnológica y económicamente, se pudieran obtener valores de DI en las redes en un plazo corto de tiempo. Pero también esto es de "facto" imposible. Las analíticas de DI son altamente costosas, tanto en términos económicos como en tiempo. No hay cobertura de laboratorios ni recursos económicos que permitan tener valores puntuales de todos los abastecimientos.

Será necesario acudir a variables complementarias que permitan un conocimiento aproximado de la situación, sobre todo a efectos de priorización en la gestión.

Variables complementarias de exposición

Adicionalmente a lo descrito, existen otras variables que permiten un conocimiento aproximado de la exposición; o al menos hacer suposiciones sobre los valores más probables o sobre su estabilidad espacio-temporal y poder asumir para unos puntos valores obtenidos en otros.

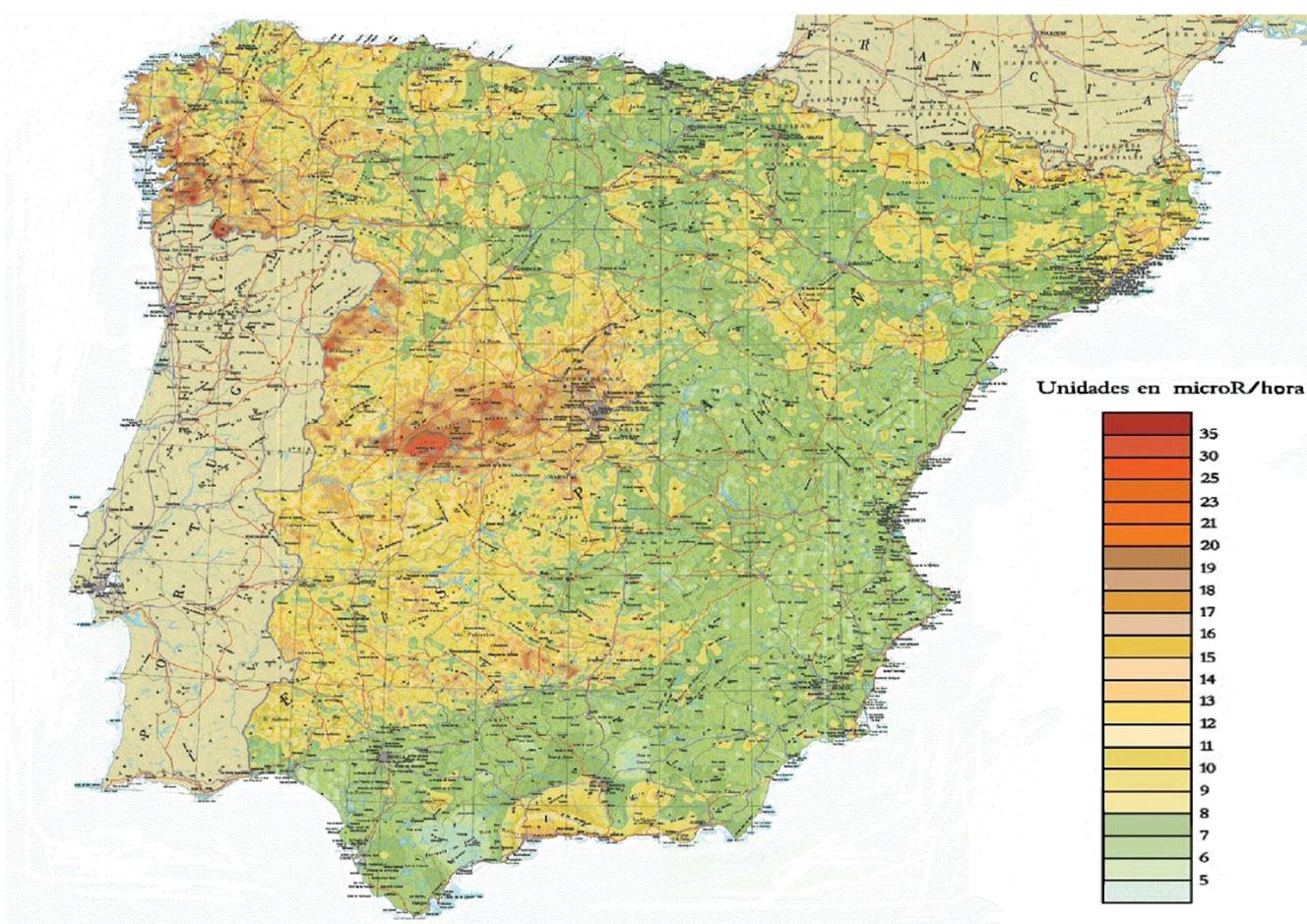
Como variables cuantitativas tenemos los **índices de actividad alfa y beta**, que se pueden utilizar como valores de cribado, tal y como se describe en el Real Decreto 140/2003. El cribado, con unos costes en tiempo y dinero menores, permite determinar

dónde la exposición es inferior al nivel paramétrico sin necesidad del cálculo de la DI.

En este punto es conveniente reseñar que la opinión generalizada de los expertos es que los niveles de cribado actuales pueden ser incrementados, si bien ello exigiría el oportuno estudio con suficientes datos,

garantizando en cualquier caso la protección de la salud de la población expuesta. Obtener los datos que permitan esta elevación de cara a optimizar recursos, podrá ser una acción prioritaria, apoyándose además en recomendaciones y publicaciones de organismos de reconocido prestigio y solvencia científica y técnica.

Ilustración 5. Mapa de radiación gamma natural en España (MARNA)



Fuente: CSN, 2017

También tenemos variables cualitativas que al menos permiten establecer prioridades, como el **tipo de roca del suelo y subsuelo** que determina una mayor o menor probabilidad de valores de radiactividad elevados², ya que los suelos graníticos y volcánicos por su naturaleza tienen peor pronóstico. El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) elaboró, midiendo la radiación gamma a un metro del suelo del territorio nacional excepto de Canarias, Baleares, Ceuta y Melilla, el mapa “Proyecto MARNA”; cuya consulta permite una apreciación aproximada de lo que cabe esperar en cuanto a radiactividad de origen natural (CSN, 2017).

Otra variable es el tipo de captación. Las captaciones de agua superficial tienen una probabilidad escasa de alcanzar valores

² A modo de ejemplo práctico, existen territorios en España (como es el caso de Galicia), que están dominados, casi en su totalidad (excepto alguna pequeña cuenca sedimentaria terciaria), por afloramientos de rocas ígneas fracturadas y rocas metamórficas, ambas englobadas en la categoría de rocas cristalinas. En términos hidrogeológicos, estas rocas cristalinas representan un medio muy heterogéneo y anisótropo, en general con una estructuración muy compleja y sistemas de flujo muy irregulares e incluso caóticos.

Las redes de flujo a menudo coinciden con zonas abiertas y bien comunicadas de fracturas o zonas de fractura (porosidad de fractura). Las regiones en las que los macizos cristalinos están bien desarrollados se caracterizan, también, por la gran variedad de tipos petrológicos que estos presentan: rocas ígneas ácidas, intermedias o básicas, esquistos, loetas, gneisses, migmatitas, granulitas, cuarcitas, mármoles, anfibolitas, etc. que, de acuerdo con sus propias características, cada una de ellas presentará un comportamiento distinto frente a la meteorización.

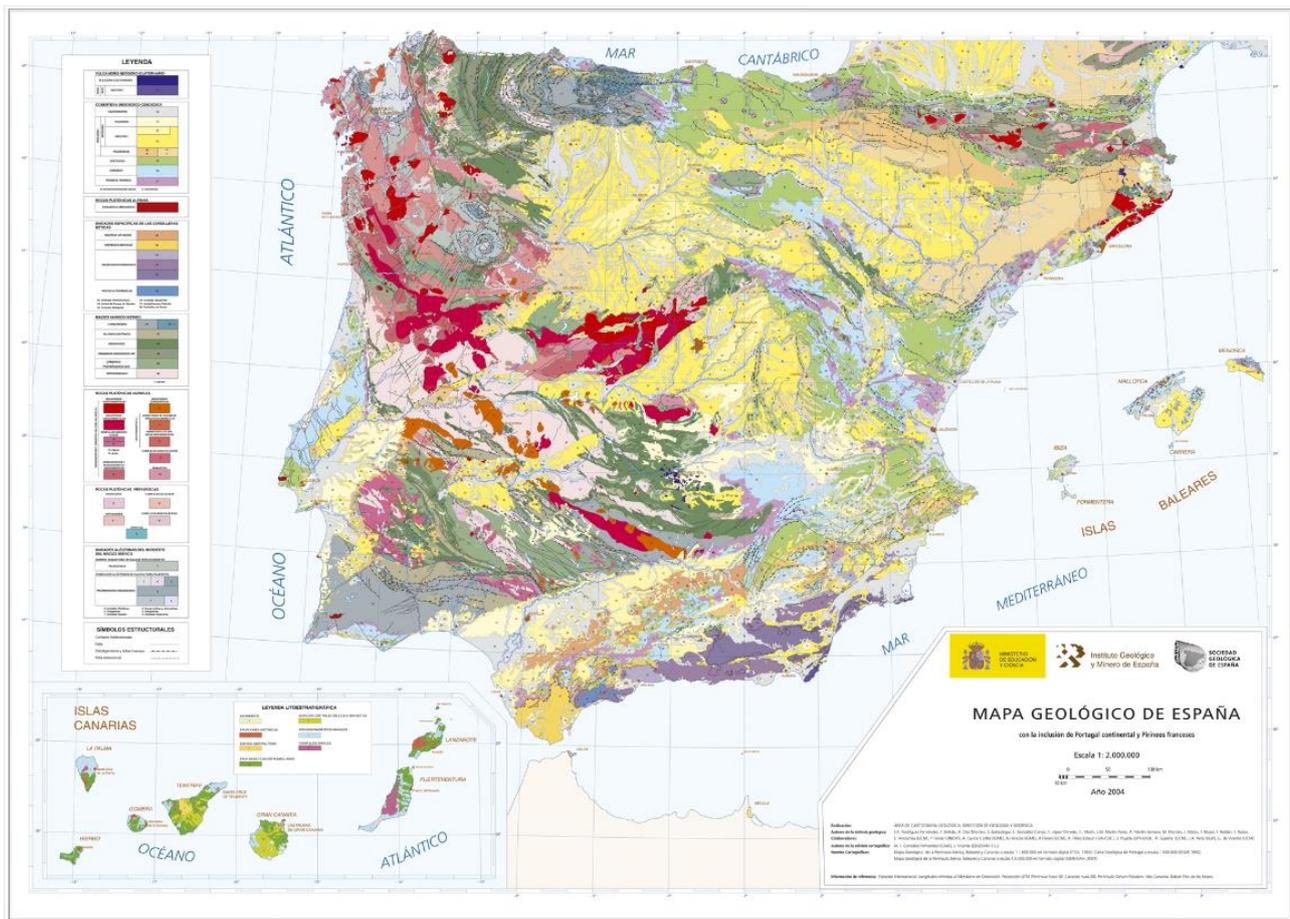
Todo eso condiciona que el entorno hidrogeológico e hidroquímico de los acuíferos en sistemas cristalinos sea muy distinto al de los medios sedimentarios. Así, en las rocas cristalinas, el tamaño de los acuíferos no depende necesariamente de la existencia de cuerpos geológicos concretos, presentando un comportamiento hidráulico complejo, caracterizado por las características de la matriz rocosa y sus discontinuidades, que condicionan el flujo preferente del agua (USC, 2019b).

superiores al nivel paramétrico. Por el contrario, las captaciones de agua subterránea cuentan con una mayor probabilidad, sobre todo si son profundas y muy inmóviles (aguas fósiles) y dependen de áreas geográficas de subsuelos con presencia de radionucleidos.

Es muy importante tener presente que los valores de radionucleidos naturales para captaciones subterráneas profundas son muy estables en el tiempo, lo que permite asumir que una analítica tenga valor para un futuro de cinco años. No obstante este extremo debe ser puesto en entredicho si existe otra información relevante y siempre se deberá estar a lo que dictaminen en este sentido las autoridades hidrológicas de cuenca en relación a cada masa de agua particular.

Además, las masas de agua subterránea profunda pueden tener presumiblemente una relativa estabilidad espacial, por lo que también es posible la asunción del valor medio de radiactividad de un muestreo de varias captaciones de una misma masa de agua como valor asumido para todas las captaciones de dicha masa a la espera de futuras analíticas e investigaciones. Sin embargo, en aguas subterráneas menos profundas no existe la suficiente información para aceptar como válida la estabilidad espacial a la que se hace referencia en aguas subterráneas profundas. Como en el caso anterior, se deberá tener fundamentalmente en cuenta los criterios de las autoridades hidrológicas de cuenca.

Ilustración 6. Mapa geológico de España y Portugal



Fuente: Instituto Geológico y Minero de España, 2004

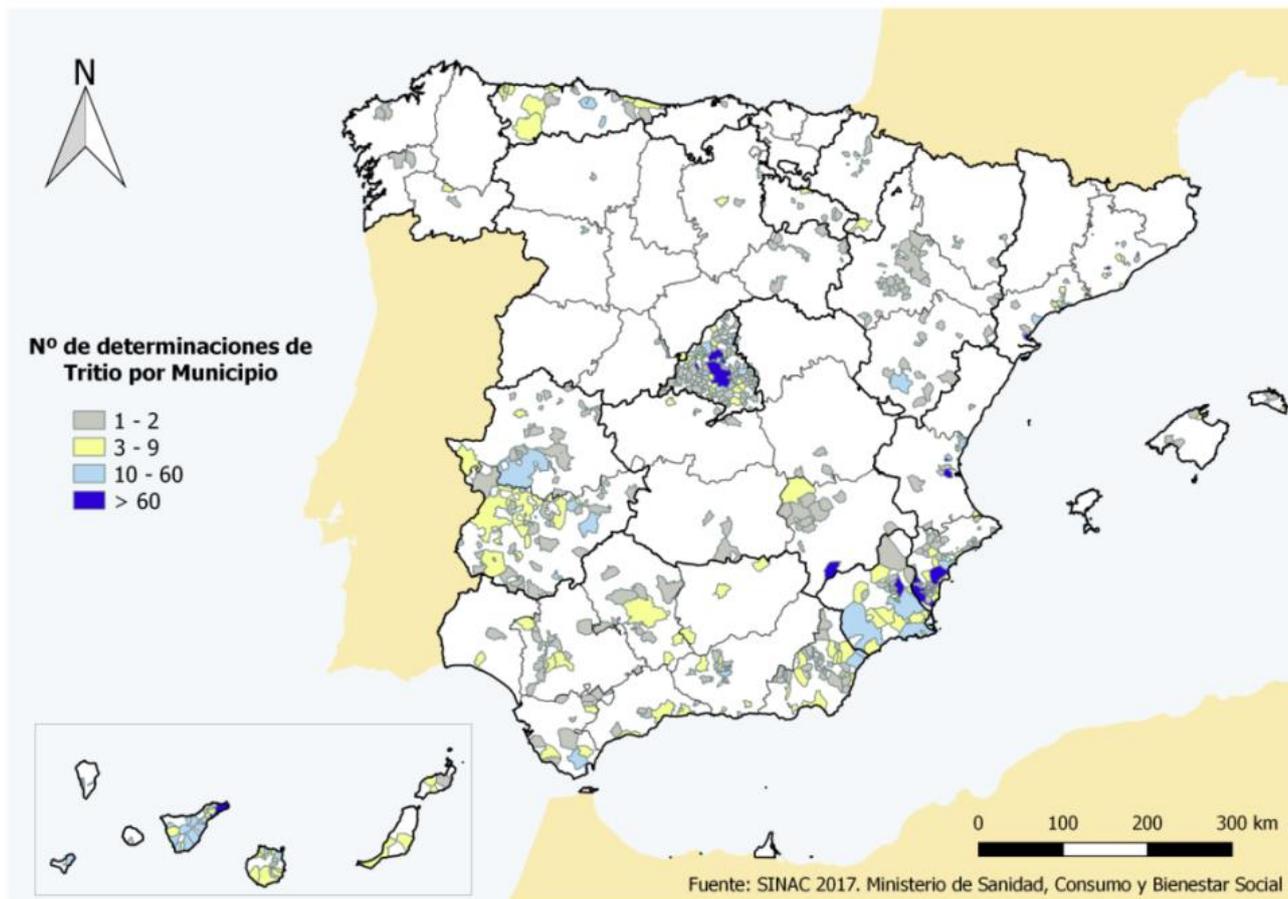
Exposición a isótopos artificiales

Dado que el tritio está asociado a fuentes de radiactividad de origen artificial, tiene sentido su investigación en aguas superficiales aguas abajo de fuentes de radioisótopos de origen artificial, tales como las centrales nucleares, debido a la posibilidad de fugas o descargas programadas procedentes de los circuitos de refrigeración del reactor u otros dispositivos. Dichas aguas son permanente y regularmente monitoreadas por las propias centrales nucleares dentro de su propio programa de vigilancia ambiental en aguas brutas, el cual está controlado estrechamente por el CSN.

En el contexto del agua de consumo, por Comunidades Autónomas, La Comunidad Valenciana es la que mayor número de

determinaciones de tritio notificó en 2017 (últimos datos publicados), seguida de Madrid. La media nacional del valor cuantificado fue 5,95 Bq/l, valor inferior al de años anteriores, con un máximo en agua de consumo de 50 Bq/L. De las 7.001 determinaciones para agua de consumo notificadas en 2017, en el 100% de ellas proporcionaron valores inferiores a 100 Bq/l. El 66,6% de las determinaciones notificadas pertenecen a ZA con más de 5.000 habitantes (Palau Miguel et al. 2019). Se puede encontrar información adicional sobre este parámetro en los informes anuales de aguas de consumo que publica el Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. En este sentido es importante destacar que nunca se ha detectado superación de este parámetro en agua de consumo.

Ilustración 7. Número de determinaciones de Tritio en agua de consumo humano por municipio. Año 2017



Fuente: Palau Miguel et al. 2019

Las centrales nucleares son las únicas fuentes potenciales conocidas de radioisótopos de origen artificial, por lo que es sencillo acotar mediante la información que obra en poder del Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo (SINAC) las ZA y la población expuesta por tener sus captaciones de agua superficial aguas abajo de dichas instalaciones.

Caracterización del riesgo

Se ha estimado el incremento de probabilidad de que suceda una muerte por cáncer radioinducido en algún momento posterior a la ingestión de agua de consumo con presencia de sustancias radiactivas en base al valor cuantificado de 0,1 mSv/año para la DI. Así, aplicando la dosis-respuesta explicada anteriormente, tenemos que la probabilidad de muerte por cáncer radioinducido, que se

exprese en algún momento posterior a la exposición, debida al consumo de agua durante un año (a razón de 2 litros al día) es de 5 casos por cada millón de habitantes y por cada décima de mSv.

$$R = 0,1 * 10^{-3} * 0,05 = 5 * 10^{-6}$$

Como se ha comentado anteriormente, no existen evidencias científicas hasta la fecha que indiquen un riesgo sanitario por la ingesta del radón en el agua de consumo. El tritio también carece de implicaciones sanitarias propias para los seres humanos de relevancia, por ello el riesgo de su ingesta a través del agua de consumo estaría relacionado con la DI aportada por él (escasa) y sus posibles radioisótopos de origen artificial acompañantes.

Limitaciones a la evaluación del riesgo

Hay que tener en cuenta que la evaluación de riesgos realizada es un proceso complejo en el que se trata de valorar los efectos de la salud producidos por la exposición estimada a las sustancias radiactivas en el agua de consumo. Esta evaluación presenta ciertas limitaciones e incertidumbres, entre las que destacamos:

- Valores cuantificados de los parámetros de estudio: Los datos actuales de DI son escasos y poco representativos de la situación real en España, esta carencia de datos puede dar como resultado una percepción errónea del grado de exposición de la población.
- Escenario de exposición y caracterización del riesgo: dada la ausencia de datos reales, para el cálculo del riesgo se ha considerado por defecto una población adulta que ingiere 2 litros al día de agua, no diferenciando entre las diferentes características de la población.
- La probabilidad de efecto en salud en función de la dosis recibida está basada en los estudios y datos de Hiroshima y Nagasaki, accidentes, pruebas nucleares, etc. Una nueva evidencia científica podrá variar esta probabilidad a la vista de nuevos estudios o consideraciones.
- Posibles limitaciones derivadas de la información geológica o hidrogeológica disponible en el momento de llevar a cabo la evaluación del riesgo.
- Los manuales clásicos de ERS no incluyen a las sustancias radiactivas en esta metodología aplicada, y sin embargo se siguen las cuatro fases en que se sustenta la metodología aunque pueda resultar difícil llevarla a cabo debido al comportamiento de las sustancias radiactivas.

Los resultados que se han obtenido en la evaluación deben ser interpretados con cautela, sin obviar las limitaciones e incertidumbres puestas de manifiesto.

Gestión del riesgo

Aspectos normativos

El Real Decreto 314/2016 explicita la gestión de los riesgos para la salud debido a la presencia de sustancias radiactivas en aguas de consumo. En este sentido existen una serie de modificaciones en relación a lo que se venía haciendo en virtud del Real Decreto 140/2003 antes de ser modificado.

Se ha modificado el concepto de valor paramétrico: una superación **no genera un incumplimiento** sino que origina una cadena de acciones, especificadas en la propia definición y a lo largo del articulado:

- Evaluación del riesgo
- Medidas y, si es el caso, medidas correctoras
- Establecimiento de nivel conforme con requisitos de protección radiológica (PR). El Real Decreto no define si este nivel equivale al valor paramétrico, pudiendo ser admisible llegar con las medidas correctoras hasta un nivel superior al paramétrico siempre y cuando se cumplan los requisitos de PR de la salud humana. En la práctica, salvo que la evaluación del riesgo indique lo contrario, sería recomendable que las medidas correctoras sitúen el agua dentro de los valores paramétricos.

En relación a los laboratorios de control no se añade ningún requisito adicional a lo ya dispuesto en el artículo 16 del Real Decreto 140/2003, los métodos de ensayo de sustancias radiactivas utilizados por los laboratorios serán los previstos en el anexo X de dicho Real Decreto. Ello no implica que no se den determinadas discrepancias entre los distintos laboratorios de control, como la determinación de “actividad alfa” que según el método que se utilice para el análisis puede tener repercusión en la toma de decisiones.

El criterio de aptitud del agua establecido en el artículo 17 y el concepto de incumplimiento del artículo 27 varían para las sustancias radiactivas en relación al definido para el resto de parámetros. De hecho, para las sustancias radiactivas no se habla de aptitud o no aptitud, cumplimiento o no cumplimiento sino que cuando se produce una superación se debe realizar la secuencia de acciones definidas en el anexo X.6 del Real Decreto 140/2003.

En relación con el autocontrol se incorpora el "control de radiactividad" en SINAC, como un cuarto tipo de análisis y se especifican los requisitos del mismo en el anexo X del Real Decreto 140/2003. A su vez, la autoridad sanitaria incorporará estos parámetros en su programa de vigilancia sanitaria.

En relación a la frecuencia de muestreo existen cambios sustanciales:

1. La tabla de frecuencia mínima de muestreo varía cuantitativamente respecto de la establecida en otros parámetros.
2. Se establece en función del volumen de agua distribuida, si bien se puede transformar a habitantes (200 litros/hab.)
3. La frecuencia puede ser disminuida de acuerdo a los criterios del anexo X.4 del Real Decreto 140/2003 como excepciones a los requisitos mínimos de muestreo.
4. Criterios de reducción de frecuencia en el autocontrol:
 - a. Siempre que se disminuya la frecuencia debe haber un soporte documental basado en historial de análisis, estudios previos, otra información fiable, etc.
 - b. No se debe estar llevando a cabo un tratamiento para disminuirla.
 - c. La radiactividad debe ser estable.
5. Dicha reducción puede llegar a ausencia de control si se considera que en un horizonte temporal de 5 años no se va a superar el valor paramétrico.

6. Además, según el parámetro existen criterios específicos adicionales en relación a la frecuencia de muestreo:

Radón: Solo en aguas total o parcialmente subterráneas nos encontramos con estas situaciones:

- La masa de agua subterránea de procedencia no está caracterizada por la AS. En este caso puede haber una disminución de la frecuencia de muestreo si existe soporte documental que justifique que en un horizonte temporal de 5 años no se va a superar el valor paramétrico de 500 Bq/l en el punto de cumplimiento (grifo del consumidor).
- La masa de agua subterránea de procedencia está caracterizada por la AS (por ejemplo en base a los datos analíticos aportados por los gestores de cualquier punto de la zona de abastecimiento). En este caso y en base a la evaluación del riesgo realizada por la AS se establece la frecuencia de muestreo.
- En el resto de los casos, la frecuencia mínima de muestreo será la establecida por el Real Decreto 140/2003.

Tritio: Sólo aguas superficiales abajo de centrales nucleares. Frecuencia mínima de muestreo siempre y cuando no exista soporte documental para reducción. Adicionalmente, se podrá disponer de información sobre las situaciones de superación de niveles ambientales de radiactividad artificial para que el gestor y la AS tomen las medidas de gestión oportunas en sus respectivos abastecimientos³

³ Cuando el CSN sea conocedor, a través de los programas de vigilancia radiológica establecidos, de la superación del valor paramétrico para el tritio en agua destinada a la producción de agua de consumo humano recogido en el apartado 2 del anexo X del Real Decreto 140/2003, lo notificará al Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, junto con los resultados de

Dosis Indicativa (DI): Se calcula, cuando proceda, en base al algoritmo del anexo X.4.4 del Real Decreto 140/2003 (Anexo 1):

- Todas las aguas:
 - mínimo de un muestreo inicial que incluya los parámetros alfa total, beta total o beta resto y tritio.
 - reducción de frecuencia: si existe soporte documental que justifique que no existe una fuente de radiactividad natural elevada que haga posible que se superara el valor paramétrico en un horizonte temporal de 5 años.
- Aguas superficiales (aguas abajo de centrales nucleares): frecuencia mínima de muestreo establecida en el Real Decreto 140/2003 incluyendo los parámetros alfa total, beta total o beta resto y tritio, siempre y cuando no exista soporte documental para reducción.
- Posibilidad de proponer (la AS) para la actividad alfa total o la actividad beta total niveles de cribados alternativos a 0,1 Bq/l y 1 Bq/l respectivamente cuando se pueda demostrar que los niveles alternativos cumplen la DI de 0,10 mSv.

En relación al lugar de la toma de la muestra cualquier punto de la zona de abastecimiento siempre y cuando no exista aguas abajo ninguna adición de agua no controlada o tratamiento que retire radionucleidos. Los valores de los parámetros de radiactividad, salvo que exista un aporte o reducción adicional, no son susceptibles de cambio a lo largo de la zona de abastecimiento (excepción

la determinación de otros radionucleidos artificiales y del cálculo de la DI. Por éste se trasladará dicha información, a través del SINAC, a las AS y gestores afectados.

hecha del Radón y sus descendientes, como ya se ha explicado). En este sentido también sería perfectamente aceptable desde el punto de vista sanitario un análisis en agua bruta o agua destinada a la producción de agua de consumo humano, con la prevención de que no podría haber después entrada de aguas no controladas de otras procedencias en el abastecimiento o pérdida de radionucleidos por tratamiento. En zonas de abastecimiento con estructura gestionada por más de un gestor, teniendo presente la consideración del punto anterior, una forma de optimizar costes pasaría por centrar (o focalizar) la toma de la muestra en la captación. En este caso corresponde a la AS arbitrar la gestión en la toma de la muestra (anexo X.1.3 del Real Decreto 140/2003).

El caso del tritio y por extensión de la radiactividad de origen artificial supone unas medidas de gestión que han de estar imbricadas en la regulación de los organismos reguladores para prevenir la liberación de contaminación de origen artificial a la naturaleza. En este sentido se establece una comunicación entre el CSN, como organismo regulador y responsable del control de la radiactividad ambiental, para avisar a las autoridades sanitarias y a los gestores de la posible presencia de radiactividad artificial en las aguas destinadas a la producción de agua de consumo humano.

En el caso de la radiactividad natural, los análisis necesarios para detectar especies radiactivas específicas y determinar su concentración son caros y complejos, y normalmente no están justificados porque en la mayoría de las situaciones las concentraciones de radionucleidos son muy bajas. Es más práctico emplear un procedimiento de análisis selectivo en el que se determina primero la radiactividad total existente, en forma de radiación alfa y beta, sin identificar radionucleidos específicos. Si los resultados del análisis del agua de consumo

son menores que unos niveles de cribado establecidos de radiactividad alfa total (0,1 Bq/l) y radiactividad beta total (1 Bq/l), no es preciso realizar análisis adicionales.

Los valores de cribado establecidos en este documento son los marcados por el Real Decreto 314/2016, pero cabe mencionar que una publicación reciente de la OMS (WHO, 2018) determina unos niveles de cribado más permisivos para la radiactividad alfa total, estableciendo un valor de cribado de 0,5 Bq/l. Esta cuestión deberá ser abordada a la luz de la experiencia futura.

Si se supera alguno de los dos umbrales, deberá determinarse qué radionucleidos específicos generan esta radiactividad, como mínimo los seis que figuran en el Real Decreto 140/2003, y medirse sus concentraciones de radiactividad individuales. Con estos datos, deberán calcularse valores estimados de las dosis efectivas comprometidas correspondientes a cada radionucleido y determinarse la suma de todas ellas.

Abordaje de la gestión del riesgo

Se puede aceptar un abordaje inicial de la gestión del riesgo, revisable en el futuro a medida que se acumulen datos suficientes que avalen un cambio en la citada gestión y de las cualificaciones y cuantificaciones derivadas de la aplicación de este planteamiento.

Para la gestión de la posible contaminación de radionucleidos de origen artificial, indicada por valores de tritio superiores a 100 Bq/l, se parte del hecho de que la vigilancia (determinación de tritio en aguas superficiales) la efectúa el CSN. La gestión que compete a la Comunidad Autónoma, que siempre deberá ser en colaboración con el CSN, se hará de forma individualizada para cada caso y tras la comunicación del CSN de que se han superado niveles de tritio.

En lo sucesivo se hará referencia exclusivamente a radiactividad de origen natural. En caso de radiactividad artificial se procederá análogamente teniendo en cuenta tanto los radionucleidos naturales como los artificiales.

Unidad territorial

De conformidad con el Real Decreto 140/2003 la unidad territorial a efectos de frecuencia analítica de autocontrol es la zona de abastecimiento.

Tabla 1. Distribución de zonas de abastecimiento según número de habitantes en España, en 2017.

Distribución de zonas de abastecimiento según número de habitantes	
9	Zonas con más de 500.000 hab.
116	Zonas entre 50.000 y 500.000 hab.
850	Zonas entre 5.000 y 50.000 hab.
2.540	Zonas entre 500 y 5.000 hab.
5.089	Zonas con menos de 500 hab.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de SINAC

No obstante, para la vigilancia en esta etapa inicial, la unidad territorial sería conveniente enfocarla sobre la masa de agua desde la que se capte para ser consecuente con lo que se ha reflejado en las consideraciones de evaluación y tratar de obtener datos que permitan, por una parte, caracterizar dicha masa y por otra argumentar científicamente la necesidad de niveles de cribados más adecuados.

En definitiva cada Comunidad Autónoma deberá priorizar la vigilancia, atendiendo al territorio, tipo de captación, valores históricos, características geológicas, etc. Por ejemplo, priorizar las aguas captadas en sondeo en primer lugar y manantial

secundariamente de las masas de agua consideradas de mayor riesgo en cada Comunidad Autónoma atendiendo a evidencias tales como el mapa de radiactividad natural del CSN. Para ello puede ser útil realizar una labor de chequeo de la masa de agua a que pertenece cada captación, las coordenadas de la misma, así como características tales como la profundidad de captación, etc. Esta información está disponible en los planes hidrológicos de cuenca.

Tipos de análisis

Se distinguirán tres tipos de análisis:

- **Simple:** Solo se tienen valores de cribado (alfa total y beta resto).
- **Total:** Se tienen valores de cribado y de los seis radionucleidos naturales fijados en la legislación y la DI calculada con ellos.
- **Aumentado:** Es un análisis total aumentado con otros radionucleidos adicionales con vistas a una mejor argumentación para los estudios de cambios de valor de cribado. Siempre que se superen los valores de cribado se deberá completar el análisis con una determinación de DI. Ello se hará de forma inmediata y automáticamente, sin que tenga que mediar petición alguna de los agentes de la AS.

Punto de muestreo

Para esta etapa inicial el punto de muestreo de elección, tanto para los análisis de autocontrol como de vigilancia, será la captación. La captación es el punto más desfavorable, por lo que en red la situación será igual en el peor de los casos a la que presenta la captación o la situación ponderada por el volumen relativo anual cuando hay más de una.

Que el punto de elección sea la captación facilita conocer la extensión del problema, obtener datos para la subida de valores de

cribado y acumular argumentos para la disminución de frecuencia (para la disminución de frecuencia los valores en red están comprometidos si hay tratamiento distinto de la desinfección).

Ello no quiere decir que no se vayan a tomar muestras en red, sino que éstas serán consecuentes a situaciones singulares ante superación de parámetros y/o adopción de medidas correctoras de tratamiento o cautelares si fuera necesario.

Caracterización de captaciones

Una captación se considerará “caracterizada” cuando el número de analíticas, con una antigüedad no superior a cinco años, y los valores alcanzados en ellas, permitan asumir para dicha captación un cierto valor, que denominaremos “de caracterización”, para conocer su aportación anual a la DI sin necesidad de analítica posterior.

Se distinguirán dos tipos de caracterizaciones:

- **Tipo 1:** basados en los valores de “Cribado”, para el índice de actividad alfa total e índice de actividad beta resto.
- **Tipo 2:** basados en los valores de “Dosis Indicativa”, cuyo valor de caracterización se obtendrá con los seis radionucleidos del Real Decreto 140/2003, pero que para la decisión de ser caracterizable se pueda tener en cuenta todos los radionucleidos analizados.

Para ambas, a su vez, habrá caracterizaciones “positivas” y “negativas”.

Aunque un resultado positivo de cribado obliga normativamente a la realización de DI, a efectos de caracterización se consideran dos aspectos diferenciados, de forma que podrá haber, en teoría, captaciones caracterizadas para el cribado solo con valores superiores al límite; e igualmente, podrá haber captaciones caracterizadas para

DI, aun teniendo valores de cribado negativos.

Una vez que se considere caracterizada la captación, su/s valor/es (cribado/DI) de caracterización, que serán la media de los correspondientes muestreos (si hay más de uno), se asumirán como el valor en todas las redes que solo tengan tratamiento de desinfección de aguas debajo de dicha captación; entendiéndose que si la red toma agua de varias captaciones, el valor será la suma ponderada por la aportación relativa en un año de cada captación. Esta asunción será válida tanto en cuanto las analíticas en las que se apoya tengan una antigüedad no superior a cinco años.

Por intendencia, en esta etapa inicial, el número de muestras para la caracterización será restringido; no obstante en la etapa posterior se revisarán todas según nuevos y definitivos criterios. Asimismo, y por igual razón, algunas captaciones muestreadas serán **no-caracterizables** y tendrán un tratamiento singularizado hasta la etapa rutinaria.

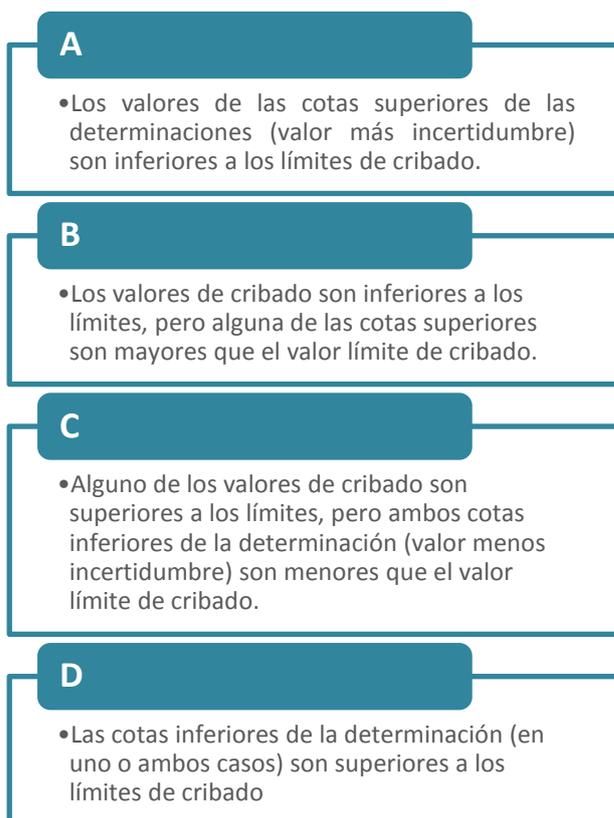
En absoluto lo anterior quiere decir que una analítica de captación no tenga valor puntual en el tiempo, simplemente se quiere apuntar que, si se caracteriza, esta situación tiene valor a lo largo de cinco años y además, y esto es importante, servirá para caracterizar masas de agua como un todo.

En principio es deseable que las analíticas para caracterizar captaciones sean del mismo método. No obstante, a medida que se vayan acumulando información se podrá ampliar esta restricción. Siempre que se cumpla lo anterior valen tanto las analíticas de autocontrol como las de vigilancia.

Árbol de decisión para la caracterización de captaciones

Tipo 1: basado en los valores de “Cribado” (Véase Anexo 2)

Distingamos cuatro casos:



Tipo 1.1 Captaciones subterráneas

1. Caracterización con una o dos muestras:

Tras la primera muestra se tendrán los siguientes resultados:

- **A:** La captación queda caracterizada “**tipo 1 negativa**” con el valor de caracterización el valor obtenido.
- **D:** La captación queda caracterizada “**tipo 1 positiva**” con el valor de caracterización el valor obtenido.

- **B y C:** Se ha de ir a un segundo muestreo, tras el cual se tendrán los siguientes casos:
- **BA y BB:** La captación queda caracterizada “**tipo 1 negativo**” con valor de caracterización la media de los valores
- **CD y CC:** La captación queda caracterizada “**tipo 1 positiva**” con valor de caracterización la media de los valores.

Para el resto de los casos será necesario hacer nuevos muestreos y aplicar el criterio del punto 2.

2. Caracterización 3 a 11 muestras:

- La captación queda caracterizada “**tipo 1 negativo**”, si tras las analíticas necesarias (entre 3 y 11), la media de los valores es inferior al 80% del límite de cribado (siempre que las incertidumbres de cada una de las determinaciones sea inferior o igual al 20%). El valor de caracterización será la media de las determinaciones.
- La captación queda caracterizada “**tipo 1 positiva**”, si tras las analíticas necesarias (entre 3 y 11), la media de los valores es superior al valor límite de cribado + 20% del valor límite de cribado (siempre que las incertidumbres de cada una de las determinaciones sea inferior o igual al 20%). El valor de caracterización será la media de las determinaciones.

Para los casos en los que la media de las determinaciones es superior al 80% del valor límite de cribado, e inferior al valor límite de cribado + 20% del valor límite de cribado, será necesario hacer nuevos muestreos y aplicar el criterio del punto 3.

3. Caracterización con más de 11 muestras:

- La captación queda caracterizada “**tipo 1 negativo**”, si tras las analíticas necesarias (más de 11), el percentil 95 de los valores de cribado de ambos parámetros dan un

resultado inferior a los límites de cribado. El valor de caracterización será la media de las determinaciones obtenidas.

- La captación queda caracterizada “**tipo 1 positiva**”, si tras las analíticas necesarias (más de 11), el percentil 5 de los valores de cribado de ambos parámetros dan un resultado superior a los límites de cribado. El valor de caracterización será la media de las determinaciones obtenidas.

Para el resto de los casos se continuará muestreando, o bien se considerará **no-caracterizable**, y se valorará caso por caso.

Tipo 1.2 Captaciones superficiales y aluviales

Para las captaciones superficiales y aluviales solo se aplicará la caracterización con tres o más muestras. Se deberá repartir las muestras de la forma más equitativa posible entre otoño y primavera.

Tipo 2: basado en los valores de “Dosis Indicativa”

(Véase Anexo 3)

Tipo 2.1 Captaciones subterráneas

1. Caracterización con una muestra:

Tras una determinación de DI podemos tener:

- Un valor inferior a 0,05 mSv/año, se considera caracterizada “**tipo 2 negativa**”.
- Un valor superior a 0,15 mSv/año, se considera caracterizada “**tipo 2 positiva**”

Para los casos en los cuales el valor se encuentre entre 0,05 y 0,15 mSv/año, será necesario hacer nuevos muestreos y aplicar el criterio del punto 2.

2. Caracterización 2 a 11 muestras:

- La captación queda caracterizada “**tipo 2 negativa**”, si tras las analíticas necesarias (entre 2 y 11), la media de los valores obtenidos es inferior a 0,075 mSv/año. El

valor de caracterización será la media de las determinaciones.

- La captación queda caracterizada “**tipo 2 positiva**”, si tras las analíticas necesarias (entre 2 y 11), la media de los valores obtenidos es superior a 0,125 mSv/año. El valor de caracterización será la media de las determinaciones.

Para los casos en los cuales la media del valor se encuentre entre 0,075 y 0,125 mSv/año, será necesario hacer nuevos muestreos y aplicar el criterio del punto 3.

3. Caracterización con más de 11 muestras:

Se considera caracterizada la captación que con suficiente número de muestras (más de 11) se tenga que:

- El percentil 95 es inferior a 0,9 mSv/año. Se considerará caracterizada “**tipo 2 negativo**”, con valor de caracterización igual a la media de las determinaciones.
- El percentil 5 es mayor de 0,11 mSv/año. Se considerará caracterizada “**tipo 2 positiva**”, con valor de caracterización igual a la media de las determinaciones.

Para el resto de los casos se continuará muestreando, o bien se considerará **no caracterizable**, y se valorará caso por caso.

Tipo 2.2 Captaciones superficiales y aluviales

Para las captaciones superficiales y aluviales solo se aplicará la caracterización con dos o más muestras. Se deberán repartir las muestras de la forma más equitativa posible entre otoño y primavera.

Tipificación de masas de agua

El abordaje de la tipificación de las masas de agua desde el punto de vista radiactivo supone asumir una incertidumbre. Se trata de tomar decisiones sobre aptitud del agua en base a una información que en principio y de partida es muy escasa y que ya de por sí está sujeta a

múltiples fuentes de variabilidad, desde la toma de muestra, el procedimiento de análisis, la información hidrogeológica disponible, etc. Esta incertidumbre irá disminuyendo a medida que se vaya ganando en análisis, conocimientos sobre la geología subyacente, procedimiento, etc. No obstante debe tenerse presente que sobre todo durante los primeros años de aplicación del Real Decreto dicha incertidumbre va a existir y en ocasiones puede ser elevada.

Por otro lado hay que destacar que se ha elegido la denominación “tipificación” y no “caracterización” de manera intencionada, para no confundir esta tipificación, es decir esta asignación de cada masa de agua a un “tipo” determinado de cara a la gestión del riesgo, con la caracterización de las masas de agua con respecto a la exposición al radón.

Hasta conseguir, a largo plazo, la caracterización de todas las captaciones, se abordará, en la medida de lo posible, la tipificación de las masas de agua como un todo. Para ello se asumirán para todas las captaciones de dicha masa los valores medios de las captaciones en las que se ha basado la citada caracterización y se procederá de forma análoga a como se aborda la gestión en las captaciones caracterizadas.

Serán tipificables aquellas masas de agua que con un número suficiente de captaciones caracterizadas, siempre igual o mayor de cuatro, se consiga:

- Que todas las captaciones, tengan la misma caracterización: de tipo 1 ó 2, o de ambas, bien positivas o negativas.
- Que el coeficiente de variación (desviación estándar relativa) en el muestreo del valor de caracterización sea inferior al 20%.

En ambos casos el valor de tipificación será la media de los valores.

Valores en red

Para las redes que solo tienen tratamiento de desinfección (o desinfección más filtrado), se asume que el valor de cribado y de DI es el valor en captación o, en el caso de varias captaciones, la suma ponderada por la aportación relativa (en un año) de cada una de ellas.

Si, no habiendo valor en captación, lo hay en la masa de agua, se procede de igual forma.

Cuando haya tratamiento (floculación, membranas, resinas, etc.) será necesario el análisis en red para conocer los valores, siempre que en captación (o masa de agua) se superen los valores de cribado o de DI.

Decisiones sobre aptitud

La definición y el valor paramétrico de la DI están fijados en la legislación (tanto en la Directiva como en su transposición). El nivel paramétrico se fija en 0,10 mSv; y en la definición de DI es necesario resaltar, como se ha mencionado con anterioridad, que es la dosis efectiva comprometida por un año de ingesta.

Debemos entender que el agua es no apta en los siguientes casos:

- ante una superación de niveles que no se pueda establecer un plan corrector;
- cuando el plan de autocontrol así lo establece ;
- si no se puede conseguir una dosis comprometida efectiva de, a lo sumo, 0,10 mSv, en un año de consumo.

La declaración de no aptitud del agua conllevará la restricción de su uso para bebida y preparado de alimentos, pudiéndose utilizar para cualquier otro uso.

Cuando en una red se tengan valores de DI superiores al valor paramétrico, bien sea por

asunción de valores en captación o masa de agua, bien por analítica específica de red, se ha de proceder a la “evaluación particular de ese abastecimiento”, a fin de adoptar medidas correctoras (tratamientos, mezclas, etc.) o cautelares (declaración de no-aptitud), y todo ello en un plazo de tiempo razonable.

La fecha de inicio de todo el proceso de evaluación-corrección-validación necesariamente ha de ser la del boletín analítico en el que se refleja la superación de niveles.

El proceso de gestión exigirá que el gestor implemente un plan de medidas correctoras (mezcla, tratamiento, etc.), que deberá ser incluido en el Programa de autocontrol, que garantice que en el período anual que sigue a la fecha de inicio se consiga una DI de 0,10 mSv, o alternativamente la asunción de imposibilidad de establecer dicho programa, en cuyo caso se declarará agua no-apta de forma inmediata.

El plan de corrección deberá tener un seguimiento adecuado para comprobar que el objetivo a conseguir es en todo momento factible, o en caso contrario suspender el plan y declarar agua no-apta de inmediato.

Finalización del plan

Al finalizar el plan, antes de que se cumpla un año, los agentes intervinientes comprobarán los resultados. A la vista de los cuales caben tres opciones:

- El Plan ha funcionado, consiguiendo rebajar (o compensar) los valores de DI. El gestor implementará en su Programa de autocontrol para prolongar y controlar el citado Plan, si bien ahora solo necesita que los valores de decisión estén por debajo de sus límites (ahora ya no hay nada que compensar).

- El Plan no ha funcionado. Se declarará inmediatamente agua no apta para consumo.
- El Plan está funcionando, pero al cabo de los primeros doce meses los niveles no han logrado compensar los valores de DI iniciales. Se podrá extender el plan durante 6 meses más, de modo que se logre que en los últimos doce meses sí se pueda alcanzar el objetivo.

Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo. SINAC

Los boletines analíticos se han de notificar en SINAC. Si en un punto de muestreo, durante el periodo de un año anterior a la fecha de toma de muestra del boletín notificado, no existe determinación de tritio, o existe alguna pero el valor cuantificado está por debajo de valor de referencia y se notifican los parámetros Actividad Alfa total inferior o igual a 0,1 Bq/l, Actividad Beta total y/o Actividad Beta Resto inferior o igual a 1,0 Bq/l, no será necesario notificar la DI⁴.

Cuando, por ser el cribado positivo, haya que introducir la DI, SINAC buscará en un periodo de un año anterior a la fecha de toma de

muestra indicada si se ha notificado un boletín en el mismo punto de muestreo, con el parámetro tritio con valor por encima del valor de referencia, en caso afirmativo, buscará boletín posterior al valor elevado de tritio donde se hayan notificado los 15 radionucleidos (naturales más artificiales), si no se encuentra un boletín con dichos radionucleidos, SINAC obligará a notificar resultados de todos. Si por el contrario SINAC no encuentra en el periodo de un año anterior a la fecha de toma de muestra indicada ningún valor de tritio por encima del valor de referencia, y alguno o varios de los parámetros Actividad Alfa total, Actividad Beta resto y/o Actividad Beta total tuvieran valor por encima de los valores de referencia; o bien no se notificaran estos parámetros, obligará a rellenar el resultado solo de los 6 radionucleidos de origen natural que figuran en el Real Decreto 140/2003.

Superaciones del valor paramétrico en SINAC

Cualquier determinación de los parámetros radiactivos será notificada en SINAC bajo los siguientes tipos de análisis:

- “Control de Radiactividad”.
- “A requerimiento de la autoridad sanitaria”.
- “Radiactividad en captación”.
- Cualquier análisis de vigilancia sanitaria autonómica.

En el caso de las sustancias radiactivas, la superación del valor paramétrico no genera incumplimiento en SINAC.

Cuando en un boletín de análisis de los indicados para radiactividad se supere el valor de referencia de los parámetros Dosis Indicativa, tritio y/o radón; independientemente de que no se genere incidencia, SINAC mandará un correo electrónico a los administradores autonómicos correspondientes y a los administradores básicos del organismo gestor

Ilustración 8. Imagen portada de SINAC



Fuente: SINAC

⁴ El criterio establecido en SINAC es notificar la DI solamente cuando ésta haya sido efectivamente calculada en base al análisis del sumatorio de los radionucleidos individuales.

de la infraestructura. Posteriormente, y ya solo para el administrador autonómico, se enviará un correo electrónico con los dos siguientes boletines de análisis de Control de Radiactividad en el mismo punto de muestreo (Anexo X.6.1 del Real Decreto 140/2003).

Cómo se notifica en SINAC la evaluación del riesgo realizada por la autoridad sanitaria

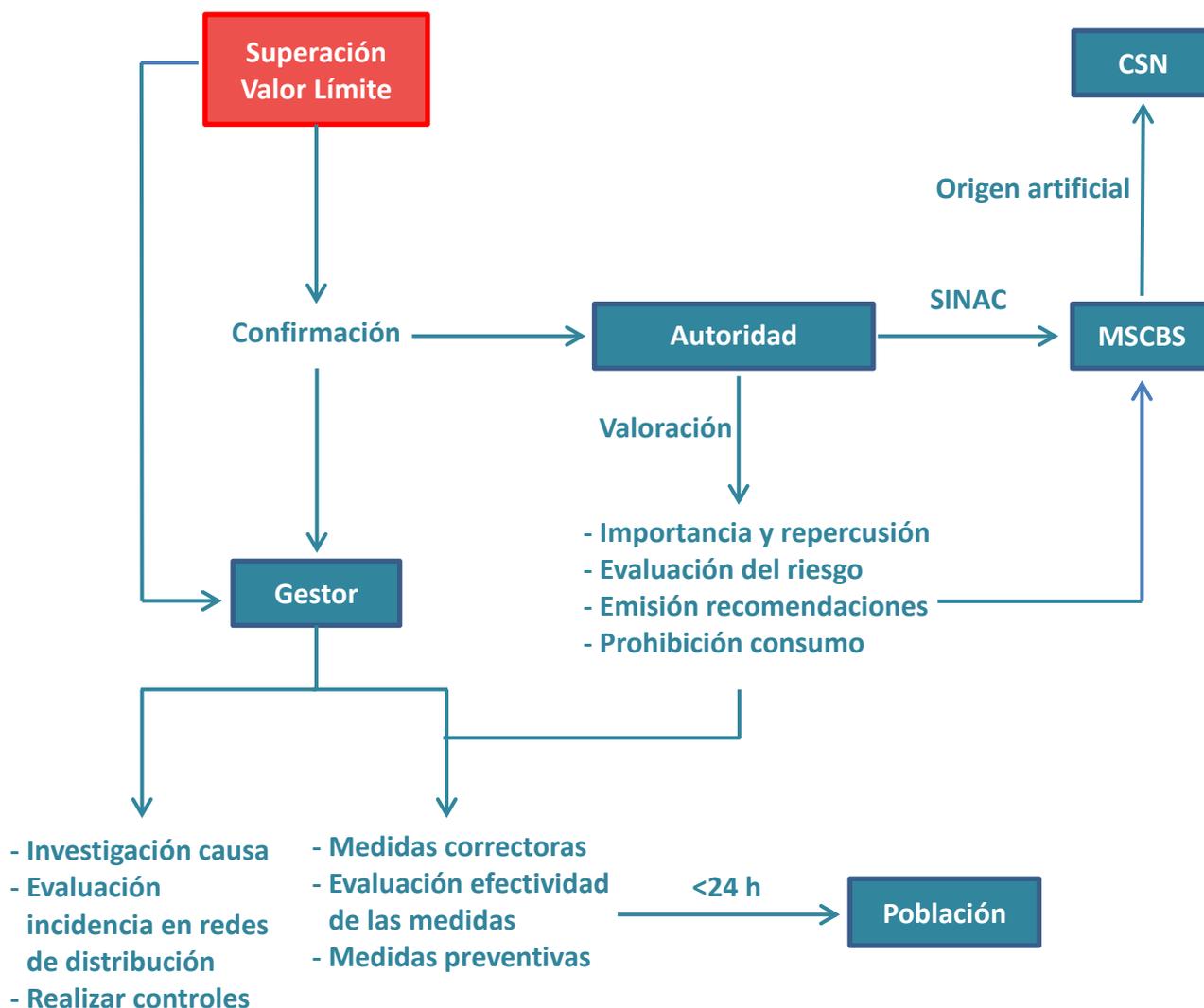
Si la AS una vez realizada la evaluación del riesgo, lo considera oportuno, podrá notificar una incidencia manual en SINAC. El gestor podrá notificar las medidas correctoras y

preventivas realizadas en dicha incidencia manual. Cuando la AS cumplimente la recomendación sanitaria en la incidencia manual, saldrá en acceso al ciudadano, aunque no sea en red.

Comunicación del riesgo del riesgo

En el apartado 6 del anexo X del Real Decreto 140/2003 se establecen las actuaciones a seguir cuando se detecten superaciones del valor paramétrico establecido para el radón, el tritio o la DI. A continuación se resumen estas actuaciones.

Ilustración 9. Actuaciones a seguir ante superaciones del valor paramétrico en sustancias radiactivas en aguas de consumo humano



La legislación impone a los gestores la obligatoriedad de informar a la AS y a otros gestores sobre las medidas correctoras adoptadas, la evaluación de su efectividad y medidas preventivas, en su caso, en función de los resultados de la evaluación del riesgo realizada por la AS.

Igualmente el gestor responsable informará a la población afectada el riesgo, las medidas correctoras y preventivas y las recomendaciones para la protección de la salud, en concordancia con los resultados de la valoración sanitaria realizada por la autoridad sanitaria tras la notificación de la superación.

En el apartado 6.8 del anexo X se dispone que si bien las comunicaciones a otros gestores, a la AS y de esta al Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, pueden realizarse a través del SINAC, la información a la población será proporcionada de acuerdo con el artículo 29 del Real Decreto 140/2003, de manera proactiva más allá de su mera inclusión en SINAC, mediante comunicaciones, carteles, anuncios, etc.

En el mismo sentido, el cumplimiento de la nueva redacción del artículo 3.f del Real Decreto 140/2003 implica que, sin perjuicio de su exclusión del alcance del Real Decreto, se debe informar a la población de abastecimientos que sirvan a menos de 50 personas o de menos de 10 m³/día, como mínimo, que su abastecimiento está exento de la aplicación de este Real Decreto. Si, además, se han tomado medidas de protección de la salud por sustancias radiactivas o se ha percibido un riesgo debido a ellas también se debe informar de estos extremos.

Es conveniente que los gestores tengan establecido, dentro de su protocolo de autocontrol y gestión, un plan de comunicación a los consumidores, en el caso

de superación de los valores paramétricos establecidos de acuerdo con lo establecido en el anexo X del Real Decreto 140/2003 y con las directrices aquí indicadas.

El proceso de comunicación del riesgo para la salud de la presencia de radionucleidos en el agua de consumo humano deberá empezar evaluando el grado percepción del riesgo que tiene la población al respecto de dicha problemática. Hay que tener en cuenta que existe una sustancial diferencia entre cómo perciben los riesgos los expertos y cómo lo hace el público en general, la comunicación realizada deberá salvar esta distancia entre la forma en que los expertos definen el riesgo y la forma en que el público lo percibe, creando una percepción del riesgo que permita generar conductas que lo eviten o disminuyan. Un programa exitoso de comunicación del riesgo debe estar dirigido a la población en general y dar especial atención a grupos sensibles, como niños, mujeres embarazadas, y personas que por sus antecedentes clínicos sean más vulnerables.

Una de las técnicas más utilizadas, por su facilidad y bajo coste, son las encuestas. Según al grupo de población que vaya dirigido la encuesta podrá incluir preguntas sobre conocimientos básicos de radionucleidos en agua, origen y vías de exposición, efectos en la salud, etc. Una vez se conoce el grado de conocimiento de la población respecto a la problemática y en función del mismo se deberá estructurar el plan de comunicación. Es conveniente realizar encuestas tanto antes como después de una campaña de comunicación, ya que los resultados pueden ayudar a rediseñar y mejorar la campaña en caso de que no haya tenido el éxito esperado.

El plan de comunicación deberá explicar las diferentes estrategias y canales de comunicación elegidos, combinando técnicas de comunicación pasiva (anuncios, carteles, sitios web, envíos postales, etc.) y activa

(teléfonos de información, consultas públicas, entrevistas, etc.). El plan de comunicación deberá cumplir con los principios básicos de la comunicación de riesgos: información veraz, útil, claro y fácilmente entendible, creíble y disponible (Internet, teléfonos de atención ciudadana específicos, etc.). El gestor es el encargado de realizar la comunicación a la población afectada, informando sobre el riesgo, las medidas correctoras y preventivas adoptadas y, si es el caso, las recomendaciones para la población

que puedan resultar necesarias para la protección de la salud humana con respecto a las sustancias radiactivas, antes de veinticuatro horas tras tener conocimiento de las mismas. Posteriormente, una vez tomadas las medidas correctoras y preventivas, el gestor realizará una nueva toma de muestras para verificar la situación de normalidad y, una vez notificada la misma, informará de ello a la AS y a la población afectada en un plazo de veinticuatro horas desde la obtención de los resultados.



ANÁLISIS DEL RIESGO POR INHALACIÓN DE RADÓN VEHICULADO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO

Evaluación del riesgo

Identificación del peligro

El radón es un gas noble de origen natural muy volátil en el aire ambiente, sin embargo, suele introducirse desde los terrenos proclives (zonas graníticas y volcánicas) al interior de las viviendas, lugares de trabajo, etc., de ahí su interés sanitario. La concentración de este gas es variable y depende fundamentalmente del sustrato geológico sobre el que se asienta la vivienda. Las aguas que fluyen por el interior del terreno contienen concentraciones variables de elementos radiactivos naturales, como el radón, que dado su carácter hidrosoluble se disuelve bien. En las aguas superficiales, sin embargo, el radón se libera de tal forma que las concentraciones de este elemento en el agua son anecdóticas.

El riesgo asociado a la presencia de radón en aguas de consumo procedentes de aguas subterráneas suele ser bajo comparado con el correspondiente al total de radón inhalado, pero es un riesgo diferenciado de éste, puesto que la exposición se produce tanto por el consumo del gas disuelto como por la inhalación del radón liberado y de sus radionucleidos derivados.

El radón está relacionado con el desarrollo de cáncer de pulmón, y se considera la segunda causa de dicha enfermedad tras el tabaco. El radón y sus descendientes de vida corta (polonio, bismuto y plomo) pueden adherirse a partículas de polvo o a otras partículas y moverse con el aire. Al inhalar estas partículas se pueden quedar depositadas en las células que recubren las vías respiratorias, donde pueden dañar el ADN y desembocar a largo plazo en cáncer de pulmón. El peligro derivado de la presencia de radón en agua de consumo reside en que se trata de una posible vía de entrada de radón en el ambiente interior ya que, como hemos comentado anteriormente, el riesgo sanitario de su

ingesta es más bien escaso. Normalmente la cantidad de radón que se inhala al respirar es mayor que la que se ingiere al beber. El radón es considerado la primera causa de cáncer de pulmón en no fumadores y la segunda en fumadores y ex fumadores. El estudio agrupado europeo sobre radón y cáncer de pulmón realizado la pasada década valoró un incremento lineal del 16% del riesgo de desarrollar cáncer de pulmón por cada aumento de 100 Bq/m³ en la concentración de radón (Darby et al. 2005; Darby et al. 2006; Frutos Vázquez et al. 2010; OMS, 2015)

La relación entre el radón y el cáncer de pulmón fue identificada por primera vez en los trabajadores de minas de uranio que se encontraban expuestos a altas concentraciones de gas radón (BEIR IV, 1988; BEIR VI, 1999). Posteriormente, estudios realizados en Europa, América del Norte y China han confirmado que incluso en concentraciones bajas de radón, como las que pueden existir en las viviendas, el radón también entraña riesgos para la salud, contribuyendo considerablemente a la aparición de cáncer de pulmón en todo el mundo (Lubin et al. 2004; Darby et al. 2005; Krewski et al. 2005; Darby et al. 2006; Krewski et al. 2006; OMS, 2015).

También se han realizado estudios sobre la asociación del radón en el aire con otros cánceres, como la leucemia o el cáncer de esófago (Raaschou-Nielsen et al. 2008; Del Risco Kollerud, 2014; Ruano-Raviña et al. 2014). En relación con éste último, en España se ha realizado un estudio en el que se analiza la exposición al radón residencial con otra enfermedad diferente al cáncer de pulmón; el cáncer de esófago. Se trata de un estudio ecológico en el que se incluyen 129 municipios de Galicia, cubriendo el 79% de la población gallega. Se constata que el 14% de los municipios poseen altas concentraciones de radón por encima del nivel recomendado por la USEPA (148 Bq/m³). Los resultados revelan

una correlación estadísticamente significativa entre el radón residencial y la mortalidad por cáncer de esófago en varones, pero no en mujeres. Se trata del primer estudio que analiza la asociación entre el radón residencial y la mortalidad por cáncer de esófago. Al tratarse de un estudio ecológico está sujeto a una serie de sesgos, por lo que los resultados no deben tomarse como prueba fiable de que el radón actúe como causa de cáncer de esófago; no obstante, es una buena aproximación para establecer futuros estudios de casos y controles que analicen la relación dosis-respuesta (Ruano-Raviña et al. 2014).

Existen diversos estudios que también relacionan el radón en el aire y los cánceres de órganos urinarios o de estómago o con la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). Si bien estas asociaciones son demasiado débiles para ser concluyentes (Auvinen et al. 2005; Kurttio et al. 2006; Turner et al. 2012).

Caracterización del peligro

Para tratar de describir la relación existente entre la magnitud y condiciones de exposición a radón y la probabilidad y gravedad de que se produzca su efecto adverso en salud demostrado, cáncer de pulmón, se ha recurrido a la revisión de estudios epidemiológicos que relacionan la exposición al radón con cáncer (OMS, 2015). La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), declaró en 1988 carcinógeno humano del grupo 1 al radón y sus productos de desintegración (IARC, 1988). No se van a considerar en este documento otros efectos en salud del radón mencionados anteriormente.

Normalmente, el mayor riesgo se produce por inhalación de radón, ya que la cantidad inhalada al respirar es mayor que la que se ingiere al beber. Así, se estima que por cada 1000 Bq/l de aumento de concentración de

radón en agua puede aumentar 100 Bq/m^3 en el ambiente interior, si bien esto está sujeto a una enorme variabilidad (OMS, 2015; OMS, 2011; Nazaroff et al. 1987). Una estimación empleada habitualmente para **el coeficiente de transferencia del radón entre el agua y el aire en viviendas de Norteamérica es de $1,0 \times 10^{-4}$** (Nazaroff et al. 1987). No obstante esto debe ser puesto en contexto y su importancia de cara a una evaluación del riesgo depende de múltiples factores tales como la ventilación, la situación de cada grifo en una vivienda (es un gas más denso que el aire), la duración de las descargas, etc. La valoración de la contribución de una determinada exposición a radón frente a una respuesta o carga de enfermedad tiene que pasar inexorablemente por el cálculo de cómo contribuye una determinada concentración de radón en aire a un aumento de la dosis indicativa comprometida por la inhalación de dicho radón y, especialmente de sus descendientes.

Dicho de otra manera, es necesario disponer de un mecanismo de conversión que nos traduzca una concentración de radón en aire con una dosis comprometida debida a radón y, sobre todo sus descendientes. Dicho factor de conversión depende del equilibrio entre radón y sus descendientes, el cual a su vez depende de la concentración de radón y del tiempo. El correspondiente coeficiente de dosis expresado en términos de exposición a radón depende del factor de equilibrio, F, entre el radón y su progiene. Utilizando el supuesto estándar de $F=0,4$ para la mayoría de situaciones en interiores, este coeficiente de dosis corresponde a $6,7 \times 10^{-6} \text{ mSv por Bq h m}^{-3}$. Aplicando este coeficiente de dosis, la exposición al radón utilizando el valor de referencia de 300 Bq/m^3 recomendado en la publicación 126 de ICRP, se corresponde a una dosis efectiva anual en el hogar de 14 mSv. Es decir, se puede tomar el factor de 21,43 para la transformación:

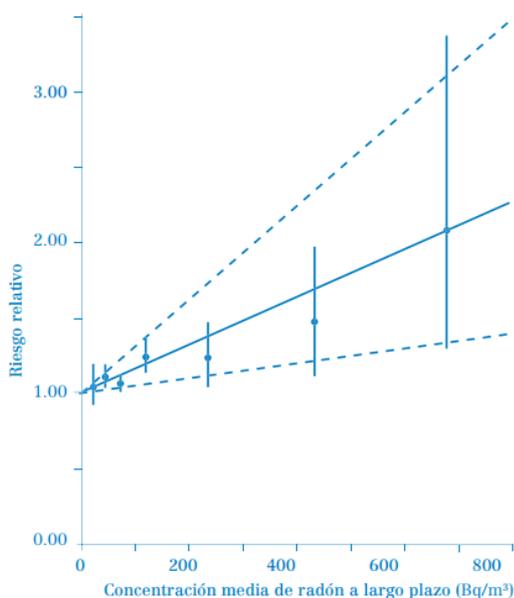
$$\text{Dosis (microSv/año)} = \text{Concentración Rn (Bq/m}^3\text{)} \times 21,43$$

En los rangos de dosis en que nos estamos moviendo no se van a producir nunca efectos determinísticos derivados de la radiación. En cuanto a efectos estocásticos, la relación dosis-respuesta es lineal en los rangos de dosis a los que nos encontramos, aumentando el riesgo de manera proporcional al aumento de la exposición, no existiendo umbral por debajo del cual no exista riesgo. Se puede simplificar la relación dosis-respuesta a través de la siguiente ecuación (Darby et al. 2005; Darby et al. 2006):

Ilustración 10. Riesgo relativo de cáncer de pulmón en función de la concentración media de radón residencial en el análisis agrupado europeo

$$RR = 1 + \beta x$$

Siendo $\beta = 0,16$ (IC95: 5-31%)



Fuente: OMS, 2015

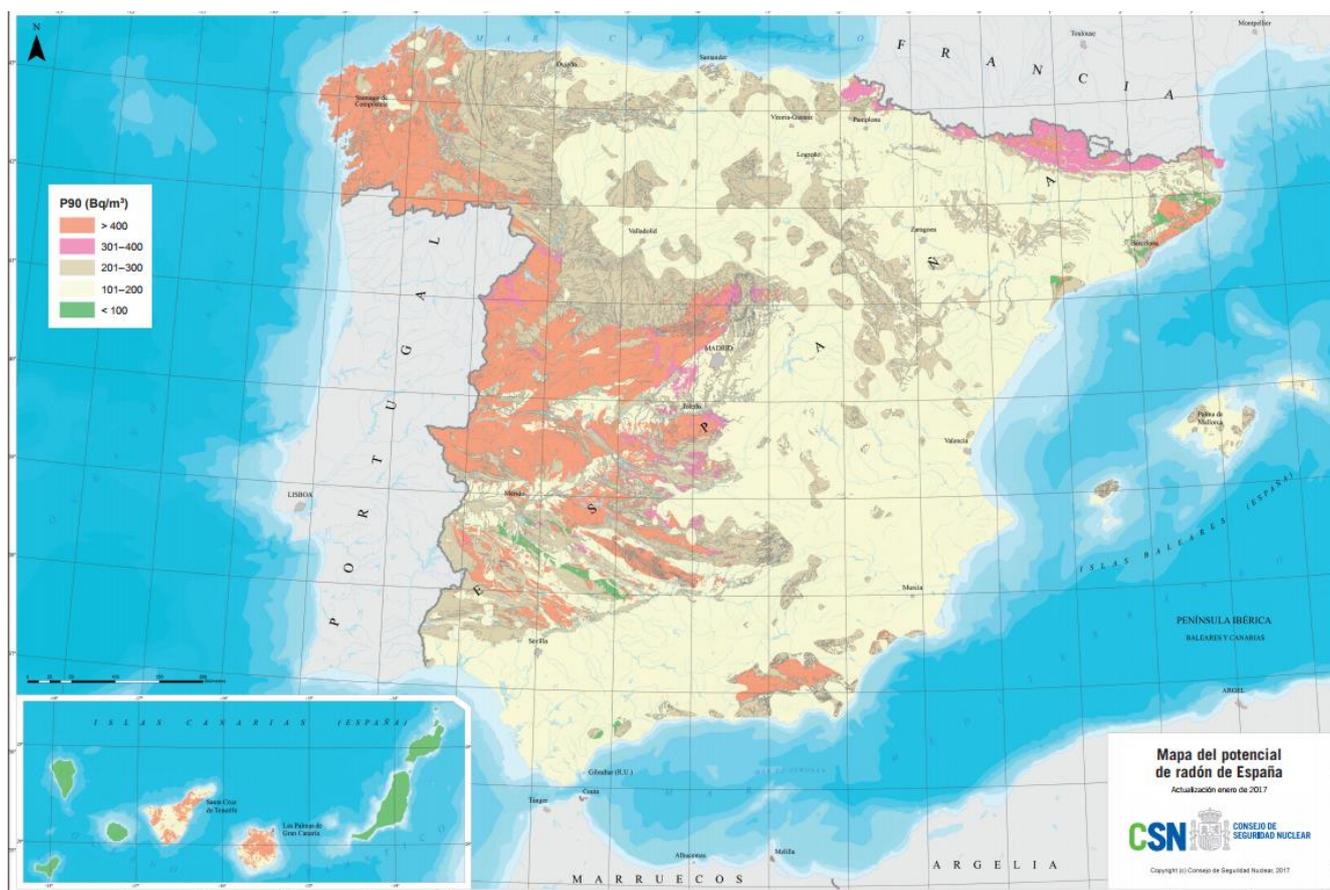
Con esta función dosis-respuesta y conociendo la concentración de radón sería factible estimar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón, previa estimación de la dosis comprometida por la exposición a dicha concentración de radón.

Evaluación de la exposición

La información relativa al contexto geográfico es imprescindible para desentrañar el comportamiento del radón o riesgo en el territorio, puesto que éste es el resultado de una interacción compleja entre el medio ambiente y la población. En general la exposición al radón procedente de las aguas está muy relacionada con las características del abastecimiento. Existen zonas de España que por características geológicas del suelo tienen más probabilidades de tener radón, ya que las rocas ricas en uranio presentan mayores concentraciones del gas.

Son necesarios Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar la naturaleza y el alcance y caracterización de zonas de riesgo, y conocer las características geológicas e hidrológicas, meteorológicas, fuentes de contaminación puntuales y difusas, accidentes, etc. En definitiva, aquellos factores que puedan condicionar la presencia de peligros potenciales para la población deben ser documentados e identificados cartográficamente. En este contexto, existen dos sistemas fundamentales: SINAC e Información geográfica sobre radiación gamma natural (MARNA 1, 2, y 3). En la Ilustración 10 se puede observar el mapa potencial de radón en España (CNS, 2017).

Ilustración 11. Mapa potencial de radón en España



Fuente: CSN, 2017

Los niveles de radón en agua suelen ser muy bajos ya que el gas se pierde fácilmente al entrar en contacto con la atmósfera, debido a que el radón sufre una desgasificación bastante rápida. Se puede pensar que la presencia de radón en grifo del consumidor solamente puede estar asociada a aguas de procedencia subterránea de abastecimientos muy pequeños donde hay un tiempo relativamente corto entre la extracción del agua y su uso, en los cuales no ha habido tiempo u ocasión a que se produzca la desgasificación del mismo, si bien este aspecto no está demostrado y es un campo de investigación interesante y necesario (WHO, 2018). En todo caso, es este punto el fundamental y sobre el que pivota tanto su problemática de salud como su solución. Cualquier sistema de abastecimiento en el que

se haya producido una aireación del agua desde su captación al grifo estará exento de la presencia de radón y sus descendientes, lo que implica la inmensa mayoría de abastecimientos que están bajo el ámbito de aplicación del Real Decreto 140/2003. De hecho, es más práctico circunscribir las posibilidades de exposición a sistemas de abastecimiento pequeños en los cuales una captación profunda va a un depósito con poco espacio de cabecera y de ahí a las viviendas, sin que exista filtración y con cloración en el propio depósito. Si además el tiempo de retención del agua es elevado podrían aumentar la concentración de descendientes en la propia agua, los cuales podrían pasar al grifo o depositarse en función de su solubilidad en el agua. En el primer caso el

parámetro cuya comprobación nos detectaría este suceso sería la DI.

Una vez descrito este escenario, y en caso de que el agua fuera una fuente importante de entrada de en la vivienda o lugar de trabajo de radón, la exposición estaría a su vez relacionada con el patrón de apertura de grifos, localización de los mismos, grado de dispersión del agua, ventilación, tipología del local (sótano, planta baja, pisos superiores) y presencia de partículas o agua en suspensión.

Caracterización del riesgo

La caracterización del riesgo se calcula como el incremento de la probabilidad de aparición del cáncer durante toda la vida, como resultado

de la exposición a radón en agua de consumo (Martín-Olmedo et al. 2016).

Para realizar dicha estimación es necesario conocer el nivel de radón presente en aguas de consumo en España. En base a la información actualmente disponible, los datos parecen indicar que los niveles son muy bajos en las aguas españolas, tanto en agua de consumo como en agua destinada a la producción de agua de consumo. Por otro lado cabe recordar que la evidencia científica describe una rápida desgasificación del radón durante su tratamiento y transporte.

Los datos obtenidos en SINAC hasta la elaboración de este documento muestran la siguiente información:

Tabla 2. Datos de radón en agua de consumo humano por Comunidad Autónoma

CCAA	Valor cuantificado medio		Desviación estándar		Valor cuantificado máximo		Numero de muestras	
	ACH	AB	ACH	AB	ACH	AB	ACH	AB
ANDALUCÍA	1,9	13,9	5,1	82,9	49,0	657,1	412	63
ARAGÓN	3,4	2,9	6,4	3,5	41,7	15,0	67	29
ASTURIAS	12,4		22,8		100,0		45	
CANARIAS	0,6	4,0	2,0		21,0	4,0	376	1
CANTABRIA	5,3	2,1	9,8	4,5	30,9	12,9	19	9
CASTILLA Y LEÓN	0,6	5,5	1,4	14,4	6,4	100,0	22	109
CASTILLA-LA MANCHA	4,0	10,4	13,7	4,3	77,4	23,6	52	28
CATALUÑA	2,4	0,0	8,6	0,2	85,0	1,0	164	35
CEUTA	0,0				-		1	
COMUNIDAD VALENCIANA	1,2	8,2	2,5	5,6	10,0	34,0	117	123
EXTREMADURA	8,0		14,9		74,6		40	
GALICIA	43,3	210,8	73,0	353,5	262,0	2.511,0	17	158
ISLAS BALEARES	2,8	8,0	2,7	3,1	12,0	10,0	62	7
LA RIOJA	0,5		1,3		4,0		11	
MURCIA	1,4	0,0	2,8	0,0	10,0	0,0	41	6
NAVARRA	4,8	0,0	4,4		10,0	0,0	32	1
TOTAL	2,7	62,7	11,4	207,7	262,0	2.511,0	1.478	568

Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en SINAC hasta el 18 de febrero de 2018.

Las muestras de radón en agua de consumo de la Tabla 2 han sido tomadas un 63,8% en depósito, un 28,6% en red de distribución, un 7,4% en tratamiento, y un 0,1% en instalación interior. Con la información disponible no se observa una diferencia significativa entre las aguas de consumo humano y las aguas destinadas a la producción de agua de consumo humano (aguas brutas), si bien el número de muestras es aun escaso. Tampoco se observa que pueda existir un problema generalizado de salud pública en aguas de consumo humano ya que en principio los datos muestran unos niveles de radón bastante contenidos, siendo la media nacional 2,7 Bq/l y el valor máximo 262 Bq/l, muy lejos de los valores paramétricos.

Limitaciones a la evaluación del riesgo

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, la principal limitación en la evaluación del riesgo por inhalación de radón vehiculado en las aguas de consumo humano es el reducido número de análisis de radón en aguas de consumo actuales, así como los escasos datos de aguas brutas de procedencia subterránea. Esta falta de información actual disponible hace imposible realizar una caracterización del riesgo precisa y válida. Se espera que con el Real Decreto 314/2016 aumenten los números de análisis y llegar a tener un conocimiento más certero de la situación actual respecto al radón en aguas de consumo.

Asimismo, hay que hacer mención a la ausencia de información sobre la variabilidad de la exposición en cada vivienda en función del patrón de apertura de grifos, localización de los mismos, ventilación, tipología local, etc. que influye de manera sustancial a la hora de realizar una evaluación del riesgo.

Por último, pero sin duda no menos importante, no queda clara cuál es la contribución real del radón vehiculado en el

agua en el patrón de exposición real de una vivienda en relación con las otras dos vías posibles de entrada: la exhalación desde el subsuelo y la aportación de los materiales de construcción. De ellas, la primera puede ser el factor de exposición decisivo en muchos casos. Este hecho comporta que en una adecuada evaluación de exposición al radón en recintos cerrados inciden los valores provenientes de todos los aportes, si bien de cara a la gestión del riesgo, la discriminación y ponderación de dichas aportaciones se hace necesaria.

En base a lo expuesto, una futura línea de trabajo puede ser valorar qué incidencia sobre la salud pudiera tener la presencia de agua en el punto de cumplimiento con determinados niveles de radón a modo de escenarios. En este caso se deberá tener en cuenta la variabilidad en la exposición expuesta y, sobre la base de una conversión de concentración de radón en agua a concentración en aire, hacer una estimación de dosis en función del tiempo de exposición y, de ahí, pasar a una estimación de cáncer atribuible (por ejemplo, estudios en establecimientos termales, duchas en viviendas, etc.). La incertidumbre que puede estar acumulada en la realización de este ejercicio hace dudosa su utilidad futura.

Gestión del riesgo

Aspectos normativos

Tal y como se ha mencionado anteriormente el Real Decreto 314/2016 ha introducido una serie de modificaciones respecto a los criterios específicos en relación a la frecuencia de muestreo del radón. De acuerdo a la legislación, en el caso del radón sí existe el imperativo de tomar medidas sin ninguna otra consideración cuando se supera el valor de 1000 Bq/l en agua de consumo. Estas medidas pueden ser correctoras en el abastecimiento o bien medidas de protección de la salud, como

por ejemplo restricciones de uso o de consumo⁵.

Asimismo, el Real Decreto 314/2016 establece, una serie de consideraciones a tener en cuenta en lo referente a la caracterización de las zonas de abastecimiento en cuanto a exposición del radón:

- Se deberán tener caracterizadas, desde el punto de vista de exposición al radón, cada una de las masas de agua subterráneas que se utilizan para captación de agua destinada a la producción de agua de consumo humano.
- La caracterización se llevará a cabo por la autoridad sanitaria correspondiente bajo la coordinación del MSCBS, y en su caso, con el asesoramiento del CSN.
- La caracterización incluirá la determinación de la escala y la naturaleza de las posibles exposiciones al radón del agua destinada al consumo humano originadas por la geología y la hidrología de la zona afectada, la radiactividad de las rocas o del suelo y el tipo de captaciones, de modo que dicha información pueda utilizarse para evaluar los riesgos para la salud humana y orientar la acción en las áreas con posibilidad de exposición elevada.

Por ello, en un primer lugar se deberán identificar las masas de aguas subterráneas e identificar las zonas de abastecimiento que tienen captaciones en profundidad.

Caracterización de las captaciones

Como ya se ha indicado en apartados anteriores, el proceso de identificación de los radioisótopos individuales y la determinación

⁵ Una de las medidas de las que se puede disponer, como es la recomendación de no beber agua de la red entretanto se solventa un problema de índole radiológico en agua no sería aplicable al caso del radón, ya que su riesgo sobre la salud no está implicado directamente en su consumo, sino en la salida de dicho gas por los grifos en lavados, duchas, etc.

de su concentración requiere un análisis sofisticado y caro, por lo que el cribado propuesto en la normativa relativo a las variables cuantitativas α radiactividad y β radiactividad, abarataría costes. Hay que tener en cuenta que este enfoque analítico no tiene en cuenta el radón y la progenie de vida corta, pero sí a dos de sus descendientes de larga duración (^{210}Pb y ^{210}Po). Por otro lado, la caracterización de los acuíferos superficiales y profundos otorgará información respecto al perfil de los radionucleidos predominantes en determinadas zonas, lo que podría favorecer la implantación de un segundo cribado sin necesidad de investigar otros radioisótopos.

En la caracterización de las captaciones con procedencia en la masa de agua subterránea, tras la determinación de radón se pueden obtener los siguientes resultados:

- Un valor inferior a 100 Bq/l, se considera caracterizada “**Radón Negativa**”, cuyo valor de caracterización será el valor obtenido en caso de una muestra, o la media en el caso de 2 o más muestras.
- Un valor superior a 100 Bq/l, se considera caracterizada “**Radón Positiva**”, cuyo valor de caracterización será el valor obtenido en caso de una muestra, o la media en el caso de 2 o más muestras.

El enfoque de gestión preventiva adoptado por la normativa en nuestro país tiene como objeto garantizar la calidad del agua de consumo humano y la protección de la salud pública y más concretamente que los valores paramétricos del radón proporcionan un buen margen de seguridad para la población a través de esta vía.

Caracterización de las masas de agua subterráneas

Si una masa de agua tiene más de un valor de caracterización “**Radón Positiva**” en diferentes captaciones, distribuidas geográficamente de

manera uniforme, implicará que la masa de agua es “**Radón Positiva**”, con valor de caracterización la media de los valores positivos obtenidos. Este valor será extensible al resto de captaciones pertenecientes a esa masa aún no caracterizadas, hasta que el mismo sea obtenido. Al contrario, si todos los valores obtenidos en captaciones de una misma masa de agua tienen valor de caracterización “**Radón Negativa**”, la masa se calificará como “**Radón Negativa**”.

La masa de agua quedará pendiente de caracterización cuando exista un único valor de caracterización “**Radón Positivo**”, hasta que este sea ratificado por otro u otros valores.

Zonas de abastecimiento

Para evaluar el riesgo en las zonas de abastecimiento, y en función de la disponibilidad de datos tendremos dos situaciones:

Primera Situación: cuando no se disponga de los resultados de radón en todas las captaciones, debiendo considerar siempre un abanico de información.

- Información Geológica: de acuerdo con la propia información geográfica del mapa predictivo del radón en España (Ilustración 5), obteniendo tres categorías:
 - a. **Alto:** en el término municipal aparece el color naranja, aunque sea parcialmente.
 - b. **Medio:** en el término municipal se observa color amarillo, aunque sea parcialmente, y no hay naranja.
 - c. **Bajo:** toda la superficie del término municipal es de color verde.

En el Real Decreto 314/2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) se podrá consultar el listado de

términos municipales en los que, en base a las medidas realizadas por el CSN, se considera que hay una probabilidad significativa de presencia de radón.

- Características del abastecimiento:
 - a. Por defecto se asignará la categoría “Alto” cuando todas las captaciones del abastecimiento sean de origen subterráneo, aún no estén caracterizadas todas, y además no existan tratamientos en el abastecimiento (al margen de la desinfección por cloración) ni posibilidades de desgasificación.
 - b. Cuando todas las captaciones (sin caracterizar aún) tenga procedencia de agua subterránea, pero existan tratamientos o infraestructuras que permitan la aireación, o floculaciones, filtros, etc., se asignará el valor “Medio”.
Cuando no exista posibilidad de desgasificación, pero sí concurra mezcla con aguas de origen superficial (mezcla homogénea), se categorizará igualmente como “Medio”.
 - c. Si en el abastecimiento las captaciones están pendientes de caracterizar, pero se mezcla agua de origen superficial y existen posibilidades de desgasificación, la categoría será “Bajo”.

En aquellas captaciones que aún no hayan sido caracterizadas, puede hacerse una primera evaluación cualitativa considerando de manera conjunta la información geológica y la de radiación gamma.

Tabla 3. Evaluación del riesgo cualitativa con información geológica y de radiación gamma

Abastecimiento \ Geológica	BAJO	MEDIO	ALTO
BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO
ALTO	MEDIO*	MEDIO	ALTO

*La calificación como riesgo medio para esta situación trata de ser proteccionista, si bien cabe tener en cuenta el hecho objetivable de que no existiría ruta de exposición posible al radón vehiculado por el agua de consumo hasta el grifo del consumidor.

Fuente: elaboración propia

Segunda Situación: cuando se disponga de los resultados de radón en todas las captaciones del abastecimiento, o en alguna cuando se haya obtenido un resultado de radón positivo.

- Si en el abastecimiento existe una captación caracterizada como **“Radón Positiva”**, o se encuentra sobre una masa de agua **“Radón Positiva”** (en el caso de que todas sus captaciones aún no estén caracterizadas propiamente), se asignará el valor **“Alto”** cuando no exista posibilidad de desgasificación ni mezcla con aguas superficiales.
- Cuando en el caso anterior sí se encuentren procesos en los que se pueda producir la desgasificación, incluida la mezcla con agua de origen superficial, la categoría será **“Medio”**.
- El valor **“Bajo”** corresponderá a la situación en que el abastecimiento tenga todas las captaciones subterráneas caracterizadas como **“Radón Negativa”**.

La asignación de valores de riesgo en las zonas de abastecimiento permitirá centrar la atención en aquellas zonas de abastecimiento más vulnerables. Así, en función de la categoría de riesgo para las zonas de abastecimiento:

- Una calificación de **“Riesgo Bajo”** apoyada en los resultados en una zona de

abastecimiento permitirá tener argumentos para reducir la frecuencia de muestreo.

- Una calificación de **“Riesgo Medio”** puede considerarse estacionaria, en la cual se deberán seguir realizando controles por parte del gestor.
- Una calificación de **“Riesgo Alto”** en una zona de abastecimiento implicará la caracterización a la exposición en ambientes interiores, considerando todas las fuentes posibles de radón.

Si se ha realizado correctamente la caracterización de captaciones, la zona de abastecimiento no debe presentar un nivel de radón superior que en éstas. Por ello, la caracterización de las zonas de abastecimiento seguirá el mismo proceso que las captaciones: Por encima de 100 Bq/l estaríamos en la franja de optimización del suministro, en la cual sería exigible que las actuaciones de los gestores estuvieran encaminadas a la protección de la población afectada, como por ejemplo reduciendo dichos niveles por debajo de 100 Bq/l, que a efectos prácticos parece que reducir el radón a niveles bastante por debajo de ese nivel de actuación no implica grandes dificultades tecnológicas.

Cuando en una zona de abastecimiento el valor de radón obtenido se situó en el rango de 100 a 500 Bq/l, se plantearán medidas de cara a optimizar la protección y reducir la exposición, donde será conveniente realizar un estudio complementario de otros parámetros radiactivos.

En el caso que la zona de abastecimiento supere el valor de 1000 Bq/l, se establecerán en todo caso medidas correctoras adecuadas para evitar el suministro de agua en dichas condiciones, tal y como establece el Anexo X.6 del Real Decreto 140/2003.

Valores en red

En las redes, solamente tendría sentido determinar radón cuando la evaluación del riesgo de la zona de abastecimiento dé como resultado “Riesgo Alto”, y además pertenezca a una masa de agua caracterizada como “Radón Positiva”. En estos casos se tendrá que investigar la posible extensión del problema hasta el grifo del consumidor, y se valorarán las medidas a adoptar.

Comunicación del riesgo

La comunicación de los riesgos para la salud del radón, así como las distintas técnicas de prevención tiene un planteamiento complejo dado que la problemática del radón no es muy conocida, y el público en general puede no percibirlo como un riesgo real para la salud. Debido a esto se deberá empezar evaluando el conocimiento que tienen los distintos grupos de la población sobre dicha problemática. Para ello una de las maneras más fáciles y económicas son las encuestas.

Podemos dividir la población entre destinatarios de categoría directa, cuyas acciones pueden llevar directamente una reducción del riesgo de cáncer de pulmón; y destinatarios de categoría indirecta, cuyas acciones pueden ayudar a incrementar y mejorar la concienciación y percepción del radón y, como consecuencia alentar la prevención y reducción del mismo.

Tabla 4. Destinatarios de la comunicación del riesgo

Categoría Directa	Categoría Indirecta
Personas que construyen o reforman su vivienda	Gobiernos y responsables de decisiones públicas
Propietarios de viviendas	Autoridades locales
Inquilinos	Médicos, enfermeros, farmacéuticos, etc.
Arquitectos e ingenieros	Profesores
Fumadores	Medios de comunicación
Otros	Otros

Fuente: OMS, 2015

Según al grupo de población al que vaya dirigida la encuesta podrá incluir preguntas sobre conocimientos básicos del radón, origen y vías de exposición, efectos del radón en la salud, etc. Es conveniente realizar encuestas tanto antes como después de una campaña de comunicación, ya que los resultados pueden ayudar a rediseñar y mejorar la campaña en caso de que no haya tenido el éxito esperado.

En la comunicación es tan importante el contenido como su contexto, por ello es importante que los comunicadores sean expertos en comunicación interpersonal, tengan conocimientos sobre la materia y resulten creíbles. Además de informar al público en general, la comunicación de riesgos del radón debe persuadir a los responsables políticos, tanto nacionales como locales.

El diseño de comunicación deberá incluir tanto técnicas de comunicación activa (teléfonos de información, programas de radio, reuniones, etc.) como pasivas (sitios web, folletos, hojas informativas, listas de correos, etc.). Los mensajes clave de la comunicación deberán cumplir la misión de informar a la población, a la vez que se debe evitarse crear una alerta social, por ello conviene ser cauteloso con los mensajes de comunicación del riesgo adoptándose a los diferentes grupos de destinatarios, los cuales pueden percibir el riesgo de diferente manera.

El anexo X del Real Decreto 140/2003 implica informar a la población afectada los riesgos, las medidas correctoras y preventivas adoptadas y las recomendaciones a la población para la protección de la salud humana con respecto a las sustancias radiactivas antes de 24 horas desde que se tenga conocimiento de éstas; por esto es conveniente establecer protocolos de comunicación donde se determinen los pasos a seguir en función del nivel de riesgo registrado. En este sentido, también sería recomendable establecer procedimientos con

las medidas de actuación y operaciones a desarrollar en función de las categorías de riesgo establecidas. La inmediatez en la comunicación de riesgos requiere que la planificación, la preparación y la práctica sean eficaces para aumentar la comprensión,

promover el diálogo razonado, reducir el miedo y la indignación en la población y que la percepción del riesgo coincida con el riesgo real.



GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **ABSORCIÓN**

Proceso por el cual una sustancia pasa del medio ambiente al organismo superando la barrera tisular de ojos, piel, intestino, o pulmones hasta su llegada ulterior a la circulación sanguínea.

- **AUTORIDAD SANITARIA**

De acuerdo con la normativa de aplicación, se entiende por autoridad sanitaria (AS), la Administración sanitaria autonómica competente u otros órganos de las comunidades autónomas en el ámbito de sus competencias.

- **BECQUEREL**

Unidad de la actividad; es la actividad de una cierta cantidad de material radiactivo que sufre una desintegración atómica espontánea cada segundo (Bq)

- **CÁNCER**

Enfermedad que tiene lugar cuando células en el organismo crecen o se multiplican de manera desordenada o incontrolada.

- **CARACTERIZACIÓN DE RIESGO**

La determinación cualitativa, y en la medida de lo posible, cuantitativa, incluyendo las incertidumbres, de la probabilidad de ocurrencia de un potencial efecto adverso en un organismo, sistema o (sub)población en unas condiciones de exposición determinadas. La caracterización es el cuarto paso del proceso de evaluación de riesgo.

- **COCIENTE DE PELIGRO**

El cociente entre la dosis de exposición estimada a una sustancia, y el nivel al cual no se esperan efectos adversos (Umbral).

- **COMUNICACIÓN DE RIESGO**

Intercambio interactivo de información y opiniones durante todo el proceso de ERS con respecto a factores relacionados con los riesgos y sus percepciones que debe darse entre evaluadores, gestores del riesgo, ciudadanos, comunidad académica y otras partes interesadas. En este intercambio debe estar incluida la explicación de los resultados de la evaluación de riesgos, y la motivación de las decisiones adoptadas para la gestión del riesgo.

- **CONCENTRACIÓN BASAL**

Concentración media de una sustancia en un medio físico determinado (suelo, agua, aire, etc.) que se detecta de manera natural, y que no es resultado de la actividad del hombre.

- **CURVA DOSIS-RESPUESTA**

Representación gráfica de la relación existente entre la dosis y el porcentaje de individuos que presentan un determinado efecto.

- **DOSIS**

Cantidad de una sustancia por unidad de peso corporal. La dosis interna o carga corporal representa la cantidad de sustancia por unidad de peso o volumen que ingresa en un organismo (absorción) o se incorpora a órganos y tejidos; se calcula multiplicando la dosis de exposición estimada por la fracción absorbida en el cuerpo. La dosis biológicamente activa

efectiva o activa es la dosis de un agente que interactúa con los receptores y que origina un efecto definido en un sistema dado. La “dosis de exposición estimada” es una función de la concentración del agente en un medio físico donde las personas pueden entrar en contacto con el agente tóxico, del tiempo de exposición, y del comportamiento que conduce a dicha exposición.

- **DOSIS-EFECTO**

Relación entre la dosis y la magnitud del cambio biológico producido y se puede expresar gráficamente.

- **DOSIS EFECTIVA COMPROMETIDA**

Magnitud $E(\tau)$ definida por la expresión:

$$E(\tau) = \sum_T w_T * H_T(\tau)$$

Siendo $H_T(\tau)$ la dosis equivalente comprometida al tejido T a lo largo del período de integración τ y w_T es el factor de ponderación para tejido correspondiente al tejido T. Cuando τ no se especifique se considerará que su valor es de 50 años para los adultos y hasta la edad de 70 años para la incorporaciones en niños.

- **DOSIS INDICATIVA (DI)**

La dosis efectiva comprometida por un año de ingesta debida a todos los radionucleidos cuya presencia se haya detectado en un abastecimiento de agua destinada al consumo humano, ya sean de origen natural o artificial, excluidos el tritio (^3H), el potasio (^{40}K), el radón (^{222}Rn) y los productos de desintegración del radón de vida corta.

- **DOSIS DE REFERENCIA**

Dosis diaria de una sustancia a la que pueden estar expuestas las personas durante toda la vida sin que se espere tenga lugar un daño para la salud, incluyendo los grupos más susceptibles. Umbral de protección para efectos no carcinogénicos definido por la USEPA.

- **EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN**

Proceso que pretende determinar cómo las personas entran en contacto con una sustancia peligrosa, con qué frecuencia, durante cuánto tiempo, y con cuanta cantidad de sustancia.

- **EVALUACIÓN DOSIS-RESPUESTA**

Análisis de la relación entre la cantidad total de un agente administrado, incorporado o absorbido por un organismo, sistema o (sub)población y los cambios desarrollados en ese organismo, sistema o (sub)población en relación a ese agente, así como las inferencias derivadas de ese análisis con respecto a toda la población.

- **EXPOSICIÓN**

Proceso por el que un individuo o población entran en contacto con una sustancia, ya sea mediante ingestión, inhalación, o contacto de la piel o los ojos. La exposición puede ser de corta duración (aguda), duración intermedia, o larga duración (exposición crónica).

- **EXPOSICIÓN ACUMULADA**

Cantidad total de una sustancia a la que se expone una persona con el paso del tiempo, y que puede resultar en un aumento del riesgo de padecer ciertas enfermedades o afecciones.

- **FUENTE DE CONTAMINACIÓN**

Lugar de donde proviene una sustancia peligrosa, como un vertedero de residuos, incineradora, tanque de almacenamiento, o bidón. La fuente de contaminación es la primera parte de la ruta de exposición.

- **GESTIÓN DE RIESGO**

Proceso de toma de decisiones que incluye consideraciones de factores políticos, sociales, económicos y técnicos junto con la información relevante derivada de la ER necesaria para desarrollar, analizar, y comparar distintas opciones (legislativas y no-legislativas), y poner en práctica la respuesta normativa o ejecutiva apropiada a ese riesgo.

- **INCERTIDUMBRE**

Conocimiento imperfecto en relación al estado presente o futuro de un proceso en consideración.

- **MORBILIDAD**

Estado de convalecencia o condición que altera la salud y la calidad de vida.

- **MORTALIDAD**

Muerte. Normalmente se especifica la causa (por una enfermedad específica, condición o lesión).

- **PELIGRO**

Cualquier agente físico, químico o biológico con la potencialidad de ocasionar un efecto adverso.

- **PELIGROSIDAD**

Propiedad inherente de una sustancia, agente físico o situación de causar efectos adversos cuando un organismo, sistema o (sub)población es expuesta a ese agente.

- **PREVENCIÓN**

Acciones que reducen la exposición u otros riesgos, impiden que las personas enfermen o impiden que la enfermedad se agrave.

- **RIESGO**

Probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso para la salud como resultado de la exposición (contacto) a un peligro químico, físico o biológico, así como la propia gravedad de dicho efecto en salud.

- **RIESGO ACEPTABLE**

Es un término de gestión de riesgo. La aceptabilidad de un riesgo depende de los datos científicos, factores sociales, económicos y políticos y la percepción de los beneficios que resultan de la situación que da lugar a la exposición.

- **RIESGO DE CÁNCER**

Riesgo teórico de padecer cáncer a lo largo de toda la vida (70 años) por exposición a una sustancia carcinogénica.

- **SIEVERT**

El daño producido al cuerpo humano por todo tipo de radiación recibida se mide con una magnitud que se llama dosis de radiación. El sievert (Sv) es la unidad que mide la dosis de radiación. En protección radiológica es más frecuente hablar de la milésima parte de esta unidad, el miliSievert (1 mSv = 0,001 Sv).

- **SINAC**

El Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo o SINAC es un sistema de información sanitario que recoge datos sobre las características de los abastecimientos y la calidad del agua de consumo humano que se suministra a la población española.

- **SUSTANCIA RADIATIVA**

Sustancia que contiene uno o más radionucleidos y cuya actividad o concentración no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica.

- **UMBRAL**

Dosis o concentración de exposición de un agente por debajo del cual no se observa un efecto determinado o no es esperado que se produzca.

- **VALOR PARAMÉTRICO**

El nivel máximo o mínimo fijado para cada uno de los parámetros a controlar. En relación a las sustancias radiactivas, se entiende por valor paramétrico el valor de las sustancias radiactivas en aguas destinadas al consumo humano por encima del cual se evaluará si la presencia de sustancias radiactivas en el agua destinada al consumo humano supone un riesgo para la salud humana que exige tomar medidas y, si es necesario, adoptar medidas correctoras para mejorar la calidad del agua hasta situarla en un nivel que cumpla los requisitos de protección de la salud humana desde el punto de vista de la protección radiológica.

- **VÍA DE EXPOSICIÓN**

Vías a través de las cuales los contaminantes ambientales pueden entrar dentro del organismo y provocar un efecto adverso. Éstas pueden ser: inhalatoria, oral y dérmica.

- **ZONA DE ABASTECIMIENTO**

Área geográficamente definida y censada por la autoridad sanitaria a propuesta del gestor del abastecimiento o partes de éste, no superior al ámbito provincial, en la que el agua de consumo humano provenga de una o varias captaciones y cuya calidad de las aguas distribuidas pueda considerarse homogénea en la mayor parte del año.

Cada zona de abastecimiento vendrá definida por cuatro determinantes:

- a) Denominación única dentro de cada provincia.
- b) Código de identificación.
- c) Número de habitantes abastecidos.
- d) Volumen medio diario de agua suministrada considerando el cómputo anual.



BIBLIOGRAFÍA

Álvaro Pilar Y et al. Potabilización radiológica del agua de consumo humano. Colección Informes Técnicos 18.2007 CSN. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-14+Potabilizaci%C3%B3n+radiol%C3%B3gica+del+agua+de+consumo+humano> [Fecha de acceso: 17/04/2017]

Auvinen A et al. Radon and other natural radionuclides in drinking water and risk of stomach cancer: a case-cohort study in Finland. *Int J Cancer J Int Cancer* 2005; 114(1): 109-13.

Baeza Espasa A et al. El estudio de la problemática existente en la determinación del índice de actividad alfa total en aguas potables. Colección Informes Técnicos 37.2014. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-30+Estudio+de+la+problem%C3%A1tica+existente+en+la+determinaci%C3%B3n+del+%C3%ADndice+de+actividad+alfa+total+en+aguas+potables> [Fecha de acceso: 17/04/2017]

Baeza Espasa AS et al. Implantación de sistemas para la eliminación del contenido radiactivo natural en las aguas de consumo humano. Colección Informes Técnicos 37.2013 CSN. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-36+Implantaci%C3%B3n+de+sistemas+para+la+eliminaci%C3%B3n+del+contenido+radiactivo+natural+en+las+aguas+de+consumo+humano> [Fecha de acceso: 17/04/2017]

Barros Dios XM. La exposición residencial al radón: Un problema de Salud Pública. Disponible en: http://www.usc.es/amsp/GGR/radon_residencial.htm [Fecha de acceso: 22/12/2016].

BEIR IV Report (Biological Effects of Ionizing Radiation). Health risks of radon and other

internally deposited Alpha-emitters. BEIR, National Academy Press, Washington D.C. 1988.

BEIR VI Report (Biological Effects of Ionizing Radiation). Health effects of exposure to indoor radon. BEIR, National Academy Press, Washington D.C. 1999.

Corbacho Merino JA et al. Procedimiento para la determinación del índice de actividad alfa total en aguas potables mediante la metodología de desecación y medida en detectores de ZnS(Ag) o en contador proporcional. Colección Informes Técnicos 11.2014 CSN. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-07+Vigilancia+radiol%C3%B3gica+ambiental.+Procedimiento+1.16> [Fecha de acceso: 17/04/2017]

CSN (Consejo de Seguridad Nuclear). Curso de supervisores de instalaciones radiactivas. Tema 7: Aspectos generales de la interacción de la radiación con el medio biológico. 2013. Disponible en: http://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/1581136598_1572009112950.pdf [Fecha de acceso: 20/12/2016].

CSN (Consejo de Seguridad Nuclear). Dosis de radiación. 2010. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Dosis%20de%20radiaci%C3%B3n> [Fecha de acceso: 24/04/2017]

CSN (Consejo de Seguridad Nuclear). Mapa de radiación gamma natural en España (MARN) MAPA. 2017. Disponible en: <https://www.csn.es/mapa-de-radiacion-gamma-natural-marna-mapa> [Fecha de acceso: 11/04/2017]

Directiva 2013/51/Euratom del Consejo de 22 de octubre de 2013 por la que se establecen requisitos para la protección sanitaria de la

población con respecto a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2013/296/L00012-00021.pdf> [Fecha de acceso: 25/04/2017]

Darby S et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*, 2005; 330(7485):223-227.

Darby S et al. Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 subjects with lung cancer and 14208 subjects without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scand J Work Environ Health*, 2006; 32 Suppl1: 1-83.

De Pablo Sanmartín MA. Vigilancia radiológica del agua (II). Ingeniería Civil (CEDEX). Madrid, 2008. nº 152, 95-103 pp. Disponible en: http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/Ingcivil/152/vigilancia_radiologica_agua.pdf [Fecha de acceso: 15/12/2016].

Del Risco Kollerud R et al. Risk of leukaemia or cancer in the central nervous system among children living in an area with high indoor radon concentrations: results from a cohort study in Norway. *BR J Cancer* 2014; 111(7): 1413-20.

Fons Castells J et al. Procedimiento para la determinación de los índices de actividad alfa total y beta total en aguas potables mediante el método de concentración y detección por centelleo líquido. Colección Informes Técnicos 11.2014 CSN. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-07+Vigilancia+radiol%C3%B3gica+ambiental.+Procedimiento+1.18> [Fecha de acceso: 17/04/2017]

Frutos Vázquez B, et al. Protección frente a la inmisión de gas radón en edificios. Colección

Informes Técnicos 24.2010 CSN. Disponible en: https://www.csn.es/images/stories/publicaciones/unitarias/informes_tecnicos/inmisionradnok.pdf. [Fecha de acceso: 20/12/2016].

García-Talavera M et al. El mapa predictivo de exposición al radón en España. Colección Informes Técnicos 38.2013. Disponible en: https://www.csn.es/images/stories/publicaciones/unitarias/informes_tecnicos/mapa_radn.pdf [Fecha de acceso: 20/12/2016].

García-Tenorio R et al. Estudio y evaluación del impacto radiológico producido por las actividades de diversas industrias no nucleares del sur de España. Industrias de ácido fosfórico. Colección Informes Técnicos 29.2011 CSN. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-25+Estudio+y+evaluaci%C3%B3n+del+impacto+radiol%C3%B3gico+producido+por+las+actividades+de+diversas+industrias+no+nucleares+del+sur+de+Espa%C3%B1a.+Industrias+de+%C3%A1cido+fosf%C3%B3rico> [Fecha de acceso: 17/04/2017]

Gisone P, et al. Efectos biológicos de la radiación. Jornadas de la Sociedad Argentina de Radioprotección –exposición prenatal a las radiaciones ionizantes-. 2001. Disponible en: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/052/33052454.pdf [Fecha de acceso: 20/12/2016].

Herranz Soler M et al. Procedimiento para el muestreo, recepción y conservación de muestras de agua para la determinación de la radiactividad ambiental. Colección Documentos Técnicos 11.2009 CSN. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-07+Vigilancia+radiol%C3%B3gica+ambiental.+Procedimiento+1.15> [Fecha de acceso: 17/04/2017]

IAEA. Protección Radiológica de los Pacientes. La radiación es parte esencial de nuestra vida. 2013. Disponible en:

<https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content-es/InformationFor/Patients/information-public/> [Fecha de acceso: 20/12/2016].

IARC, 1988. Man-made mineral fibres and radon. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol. 43, IARC, Lyon.

ICRP, 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP 1991; Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).
<http://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%2060>

ICRP, 2000. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP 2000; Publication 82.

ICRP, 2007. Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. ICRP 2007, publicación 103. Disponible en:
http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf [Fecha de acceso: 20/12/2016].

ICRP, 2017. Occupational intakes of radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137

Instituto Geológico y Minero de España. Mapa Geológico de España a escala 1:2.000.000. 2004. Disponible en:
[http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geologicos1M/Geologico2000_\(2004\)/jjpgs/Geologico2000_\(2004\).jpg](http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geologicos1M/Geologico2000_(2004)/jjpgs/Geologico2000_(2004).jpg) [Fecha de acceso: 11/04/2017]

Ize Lema I, et al. Introducción al análisis de riesgos ambientales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. México, DF, 220 pp. Disponible en:
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/E50951BDD32362E005257D4D0074F7D1/\\$FILE/Introducci%C3%B3nAlAn%C](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/E50951BDD32362E005257D4D0074F7D1/$FILE/Introducci%C3%B3nAlAn%C)

[3%A1lisisDeRiesgosAmbientales.pdf](#) [Fecha de acceso: 23/12/2016].

Krewski D et al. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. J Toxicol Environ Health A, 2006; 69:533-597.

Krewski D et al. Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies. Epidemiology, 2005; 16:137-145.

Kurtio P et al. Well water radioactivity and risk of cancers of the urinary organs. Environ Res, 2006; 102(3): 333-8.

Ley 33/2011, de 4 de octubre, General de Salud Pública. Disponible en:
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2011-15623 [Fecha de acceso: 20/12/2016].

Lubin JH et al. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. Int J Cancer 2004; 109:132-137.

Martín Matarranz JL. Concentración de radón en viviendas españolas. Otros estudios de radiación natural. Colección Informes Técnicos 13.2004 CSN. Disponible en:
<https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-09+Concentraciones+de+rad%C3%B3n+en+viviendas+espa%C3%B1olas.+Otros+estudios+de+radiaci%C3%B3n+natural> [Fecha de acceso: 17/04/2017]

Martín-Olmedo P, et al. La evaluación de riesgos en salud. Guía metodológica. Aplicaciones prácticas de la metodología de Evaluación de riesgos en salud por exposición a químicos. Sociedad Española de Sanidad Ambiental y Escuela Andaluza de Salud Pública. Madrid 2016, nº3, 260 pp. Disponible en:
<http://www.sanidadambiental.com/2016/11/>

22/la-evaluacion-de-los-riesgos-en-salud-libro/ [Fecha de acceso: 02/12/2016].

Montaña Gurrera M et al. Procedimiento para la determinación del índice de actividad alfa total en aguas potables mediante el método de coprecipitación y medida en detectores de centelleo de ZnS o en contador proporcional. Colección Informes Técnicos 11.2014 CSN. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-07+Vigilancia+radiol%C3%B3gica+ambiental.+Procedimiento+1.17> [Fecha de acceso: 17/04/2017]

Nazaroff W, et al. Experiments on pollutant transport from soil into residential basements by pressure-driven airflow. Environ. Sci. Technol, 1987; l. 21,459-466.

OIEA. Diagnosis and treatment of radiation injuries. Viena (Austria), Organismo Internacional de Energía Atómica/Organización Mundial de la Salud, 1998 (n.º 2 de la serie Safety Reports).

OIEA. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Viena (Austria), 1996. Organismo Internacional de Energía Atómica.

OMS. Communicating radiation risks in paediatric imaging: information to support health care discussions about benefit and risk. 2016a. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/205033/1/9789241510349_eng.pdf?ua=1 [Fecha de acceso: 23/12/2016].

OMS. Guías para la calidad del agua potable. Cuarta edición que incorpora la primera adenda. Capítulo 9, Aspectos radiológicos. 2018. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health

[/publications/gdwq-4-cap9-spa.pdf?ua=1](#) [Fecha de acceso: 24/07/2019].

OMS. Manual de la OMS sobre el radón en interiores. Una perspectiva de salud pública. 2015. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/161913/1/9789243547671_spa.pdf?ua=1 [Fecha de acceso: 20/12/2016].

OMS. Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección. Nota descriptiva, Abril 2016b. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/> [Fecha de acceso: 06/03/2017].

OPS (Organización Panamericana de la Salud). Planificación de la comunicación de riesgos. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/cursocr/e/pdf/modulo3.pdf> [Fecha de acceso: 23/12/2016]

Palau Miguel M, et al. Calidad del agua de consumo humano en España. Informe técnico Año 2014. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Madrid, 2016; 395 pp. Disponible en: http://www.msssi.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Inf_Cache_2014.pdf [Fecha de acceso: 30/11/2016].

Palau Miguel M, et al. Calidad del agua de consumo humano en España. Informe técnico Año 2016. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. Madrid, 2018; 223 pp. Disponible en: https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/INFORME_AGUA_CONSUMO_2016_def._Revisado.pdf [Fecha de acceso: 29/05/2019].

Palau Miguel M, et al. Calidad del agua de consumo humano en España. Informe técnico Año 2017. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. Madrid, 2019; 248 pp. Disponible en: <https://www.msbs.gob.es/profesionales/salu>

dPublica/docs/Calidad_del_agua_de_consumo_humano_en_Espana_2017.pdf [Fecha de acceso: 24/07/2019]

Raaschou-Nielsen O et al. Domestic radon and childhood cancer in Denmark. *Epidemiol Camb Mass*, 2008; 19(4): 536-43.

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=B OE-A-2011-15623 [Fecha de acceso: 23/12/2016].

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación

Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, el Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano, y el Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=B OE-A-2016-7340 [Fecha de acceso: 20/12/2016].

Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-14555> [Fecha de acceso: 04/05/2017].

Recomendación 2001/928/Euratom de la Comisión de 20 de diciembre de 2001 relativa a la protección de la población contra la exposición al radón en el agua potable. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001H0928&from=ES> [Fecha de acceso: 25/04/2017]

Ruano-Raviña et al. Residential radon exposure and esophageal cancer. An ecological study from an area with high indoor radon concentration (Galicia, Spain). *Int J Radiat Biol*, 2014; 90(4): 299-305.

Sandman P. Responding to community outrage: strategies for effective risk communication. Falls Church (VA): American Industrial Hygiene Association, 1993. <http://psandman.com/media/RespondingtoCommunityOutrage.pdf> [Fecha de acceso: 23/12/2016].

Turner Mc et al. Radon and COPD mortality in the American Cancer Society Cohort. *Eur Respir J*, 2012; 39(5): 1113-9.

USC (Universidad de Santiago de Compostela). Laboratorio de Análisis de Radiaciones. Determinación de la concentración de ^{226}Ra , ^{222}Rn , coeficientes α/β total y contenido en ^3H de las aguas minerales, minero-medicinales, de manantial y de consumo humano de Galicia. 2019a Disponible en: http://igfae.usc.es/lar/index.php?option=com_content&view=article&id=19#Niveles [Fecha de acceso: 20/12/2016].

USC (Universidad de Santiago de Compostela). Laboratorio de Análisis de Radiaciones. Información general sobre el gas radón (^{222}Rn). 2009. Disponible en: <http://fpsalmon.usc.es/pruebalar/esp/servicios/servicioradon/inforadon.php> [Fecha acceso: 11/04/2017]

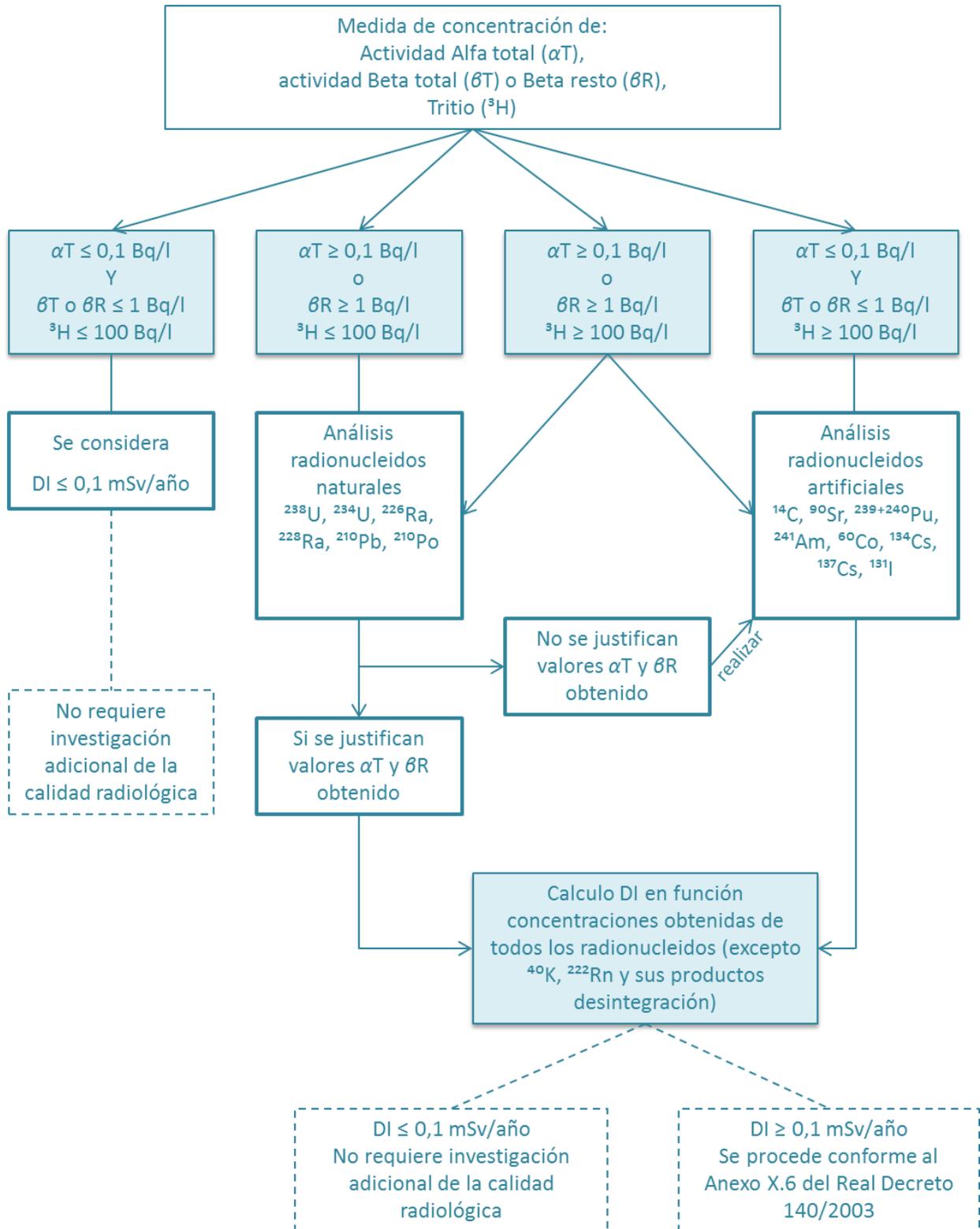
USC (Universidad de Santiago de Compostela). Movilización de radionuclidos naturales y estudios de desequilibrios isotópicos en aguas de la provincia de Ourense. 2019b Disponible en:
<http://igfae.usc.es/lar/index.php/proyectos?id=18> [Fecha de acceso: 17/04/2017]

WHO Management of radioactivity in drinking-water. 2018. Disponible en:
<http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272995/9789241513746-eng.pdf?ua=1>
[Fecha acceso: 15/11/2018]

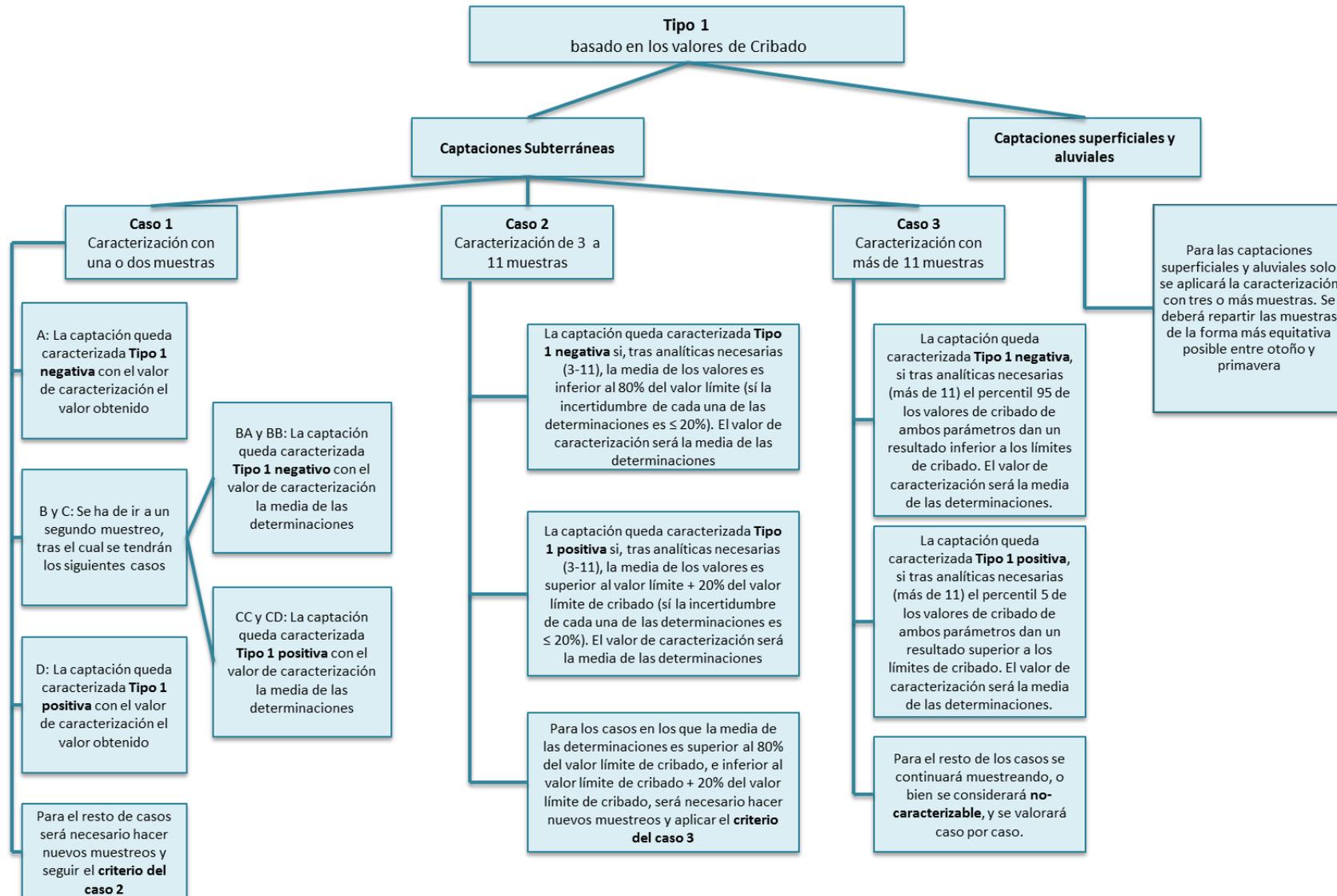


ANEXOS

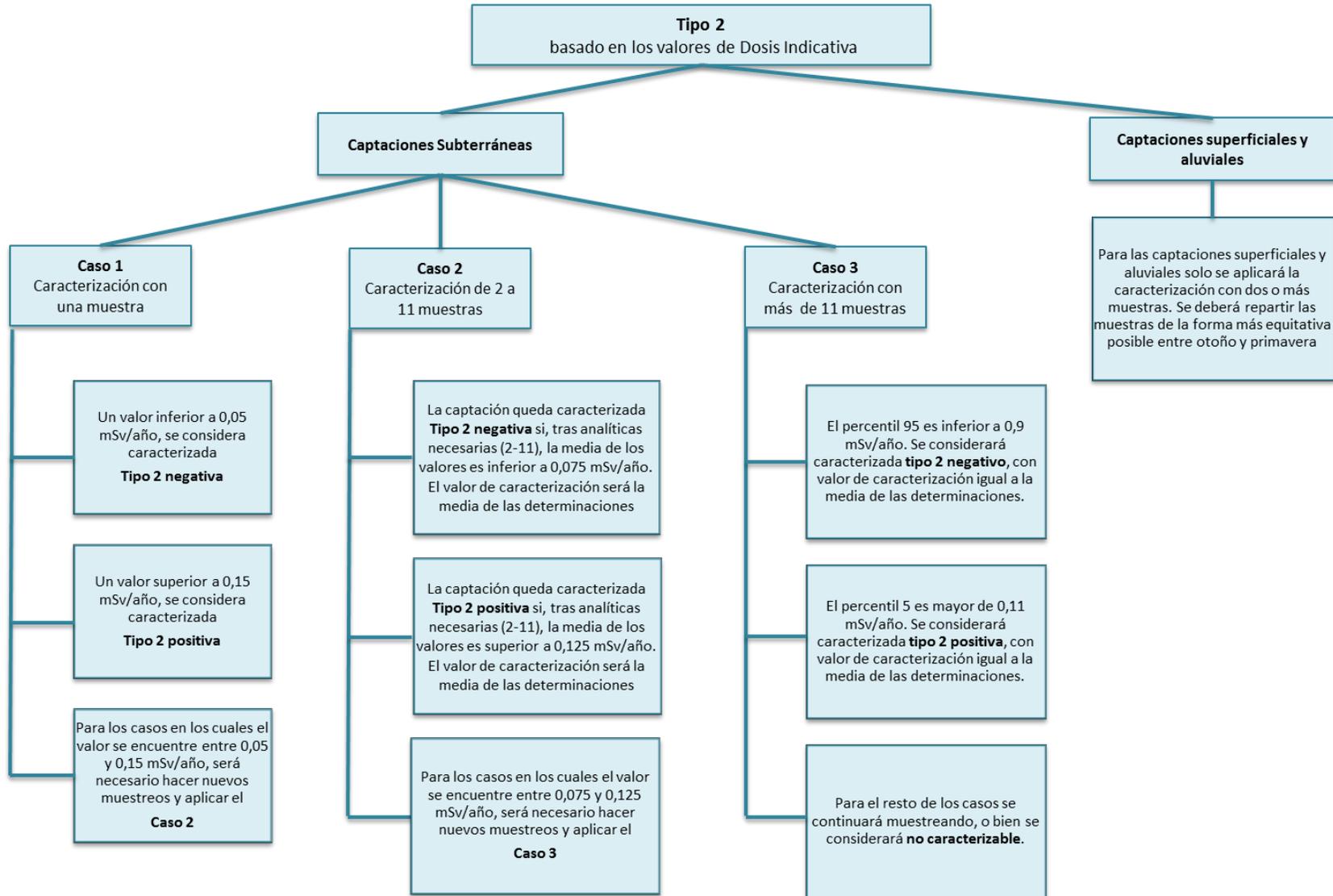
1. Diagrama de la estrategia en el control de la DI en agua de consumo humano



2. Árbol de decisión para la caracterización de captaciones Tipo 1, basadas en los valores de “Cribado”



3. Árbol de decisión para la caracterización de captaciones Tipo 2, basadas en los valores de Dosis Indicativa



4. Documentación a presentar para la reducción de la frecuencia de muestreo

Este anexo expone el índice de información para la presentación de la **documentación mínima** que deberá contener la solicitud de reducción de la frecuencia de muestreo para las sustancias radiactivas en agua de consumo.

El **gestor/es y/o ayuntamiento/s de la ZA o ZAs** deberán presentar a la autoridad autonómica competente, al menos la información que consta en este documento, para la solicitud de reducción de la frecuencia de muestreo para las sustancias radiactivas en agua de consumo.

La **autoridad autonómica competente** podrá pedir más información o poner criterios más estrictos en el ámbito de su territorio. Siempre y cuando se ciña al Real Decreto 314/2016 y en función de los documentos interpretativos del mismo.

La **autoridad autonómica competente** remitirá al Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, al menos lo que se señala en este documento, así como la resolución u oficio del Director/a General conforme se ha aceptado la reducción y los motivos principales de la aprobación.

La remisión al Ministerio de Sanidad se hará preferentemente en formato electrónico **ACOMPANADO DEL OFICIO DE REMISIÓN**

Datos de la/s Zona/s de Abastecimiento (ZA) afectadas

Provincia			
Denominación de la ZA			
Código SINAC de la ZA			
Nº de municipios suministrados			
Población censada			
Tipo de ZA(Tabla de SINAC)			
Volumen de agua distribuido por día de media anual (m³)			

Origen del Agua

Confederación hidrográfica			
Masa de agua Denominación y código			
Denominación del Recurso hídrico			
Código SINAC			
Tipo de captación			

Tratamiento de potabilización

<i>Código SINAC de la captación</i>			
<i>Sin tratamiento</i>			
<i>Tratamiento en captación</i>			
<i>Tratamiento en depósito</i>			
<i>Tratamiento en ETAP</i>			
<i>Principales PUT</i>			

Estudios previos de radiactividad en la masa de agua que afecta a la/s ZA/s

<i>Denominación de la masa de agua y código</i>	<i>Título del estudio, fecha, Organismo, autor.</i>

Análisis de los cinco últimos años de radiactividad en agua de la ZA/s

<i>Fecha de la toma de muestra</i>								
<i>Tipo de PM</i>								
<i>Código SINAC del PM</i>								
<i>Parámetro radiactivo</i>								
<i>Valor cuantificado</i>								
<i>Unidades</i>								
<i>Laboratorio</i>								
<i>Código SINAC del laboratorio</i>								
<i>Método de análisis</i>								
<i>Acreditación del método por la 17025</i>								

Solicitud de reducción de la frecuencia de muestreo

<i>Parámetro</i>	
<i>Frecuencia actual</i>	
<i>Frecuencia solicitada</i>	
<i>Motivos</i>	
<i>Actuaciones previstas</i>	
<i>Fecha de solicitud</i>	
<i>Firma y sello de la entidad del solicitante</i>	

Documentación que se adjunta

<i>Título</i>	<i>Archivo en forma de icono</i>

Madrid, junio de 2019