

Influencia de los vertidos radiactivos hospitalarios en las estaciones depuradoras de aguas residuales

Soiartze Tellaetxe¹, Iñigo González² y Fernando Legarda¹

¹Aula del Agua "CABB", Escuela de Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco UPV/EHU; stellaache001@ikasle.ehu.eus; f.legarda@ehu.eus

²Consortio de Aguas Bilbao Bizkaia, igonzalez@consorciodeaguas.eus

Resumen: En los procedimientos de medicina nuclear, los radionucleidos se administran a pacientes con fines terapéuticos y de diagnóstico. En consecuencia, las excretas de los pacientes tratados contienen material radiactivo que se introduce al sistema de saneamiento y finaliza en las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR). Dado el aumento del uso de radionucleidos en medicina, el objetivo de este trabajo es caracterizar las aguas residuales de entrada, los efluentes y los lodos de depuración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Galindo, en el área metropolitana de Bilbao. En los días 12, 13 y 14 de febrero, se monitorizaron los niveles de radiactividad mediante la recolección de muestras en diferentes puntos de control en la planta de tratamiento de aguas residuales. Mediante espectrometría gamma, se determinaron las concentraciones de los cinco radionucleidos más utilizados en medicina nuclear, ¹³¹I, ¹²³I, ^{99m}Tc, ⁶⁷Ga y ¹¹¹In. Los resultados mostraron la presencia de ^{99m}Tc y ¹³¹I en aguas residuales y ^{99m}Tc, ¹³¹I y ⁶⁷Ga en los lodos de depuración, aunque a bajos niveles. Esto se debe a los tiempos de retención en la planta y en la red de saneamiento, que funcionan como sistemas de decaimiento.

Summary: In nuclear medicine procedures, radionuclides are used and administered to patients for therapeutic and diagnostic purposes. In consequence, the excreta from treated patients contain radioactive material that enter the sewage system and end up in wastewater treatment plants. Given the increase of the use of radionuclides in medicine, the aim of this paper is to characterize the inflow wastewater, the effluent and the sewage sludge in the Wastewater Treatment Plant of Galindo, in the metropolitan area of Bilbao. On February 12th, 13th and 14th, radioactivity levels were monitored by sample collection at different control points in the wastewater treatment plant. By means of gamma-spectroscopy, concentrations of the five most used radionuclides in nuclear medicine, ¹³¹I, ¹²³I, ^{99m}Tc, ⁶⁷Ga and ¹¹¹In, were determined. Results showed the presence of ^{99m}Tc y ¹³¹I

in wastewater and ^{99m}Tc , ^{131}I y ^{67}Ga in sewage sludge, although at low levels. This is due to the retention times at the plant and at the sewage network, working as decay systems.

1. Introducción

Las aguas residuales contienen diferentes tipos de contaminantes, como, por ejemplo, los isótopos utilizados en los procedimientos de medicina nuclear. Los hospitales realizan vertidos radiactivos a la red de saneamiento, procedentes de las excretas de los pacientes sometidos a terapias o diagnósticos de medicina nuclear. En prácticas de diagnóstico se emplean emisores gamma con periodos de semidesintegración relativamente cortos, como el ^{99m}Tc . Por otro lado, en terapia se administran radionucleidos de periodos de semidesintegración mayores, como es el caso del ^{131}I . Estas prácticas se realizan siguiendo protocolos recogidos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica (IAEA, 2014).

El material radiactivo suministrado a los pacientes, el radiofármaco, se elimina por vía de la orina. En el caso de los radionucleidos empleados en diagnóstico y terapia ambulatoria, se realizan descargas directas de las excretas a la red de saneamiento. En algunos países como Reino Unido, Estados Unidos, Dinamarca o Finlandia, las excretas de los pacientes hospitalizados se vierten directamente a la red de saneamiento (Mulas et al., 2019). En países como Alemania, Francia y España, los hospitales emplean sistemas de decaimiento, en los que las excretas radiactivas de los pacientes hospitalizados se retienen hasta que su actividad haya disminuido y, posteriormente, se realiza el vertido a la red (IAEA, 2009) (ICRP, 1998). Hasta el día de hoy, se han realizado varios estudios para demostrar la eficacia de los sistemas de decaimiento (Krawzyk et al., 2010, McGowan et al., 2013).

Los radionucleidos viajan a través de la red de saneamiento hasta las estaciones depuradoras de aguas residuales, donde el vertido radiactivo puede suponer una fuente de exposición para los trabajadores de las estaciones y de la red de saneamiento (Sundell-Bergma et al., 2008 and Jiménez et al., 2011). Asimismo, el material radiactivo se concentrará en los lodos, producto de la depuración del agua, o se verterá al medioambiente junto con el agua tratada.

En los últimos años, el uso de radiofármacos se ha incrementado, por lo que su vertido al medioambiente ha despertado cierta preocupación. El radionucleido con mayor efecto desde el punto de vista de protección radiológica es el ^{131}I , el cual se utiliza regularmente en los procedimientos de medicina nuclear (UNSCEAR, 2000). Es por ello que es de gran interés determinar el contenido radiactivo en las estaciones depuradoras de aguas

residuales y así, conocer el comportamiento de estos radionucleidos en las diferentes fases del tratamiento.

El objetivo de este trabajo es caracterizar la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Galindo en el área Metropolitana de Bilbao con el fin de determinar los niveles de radiación en el agua residual y en los productos de depuración. Este estudio abre las puertas a futuros trabajos de impacto ambiental y permite una visión global del comportamiento de los radionucleidos hospitalarios en la EDAR.

2. Material y Métodos

2.1. Red de saneamiento del Bilbao Metropolitano

Ubicada en Sestao (Bizkaia), la EDAR de Galindo tiene como cometido tratar las aguas residuales urbanas del Gran Bilbao y alrededores, dando servicio a 28 municipios con una población del orden de 900000 habitantes y una población equivalente de 1200000 habitantes, ocupando una superficie de 20 ha. El Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia (Eizaguirre, 2017) es la entidad gestora de la EDAR de Galindo, la cual es una pieza básica del "Plan Integral de Saneamiento de la Comarca del Gran Bilbao".

En Galindo, se realiza la depuración de las aguas residuales y el tratamiento de los lodos resultantes del proceso. Por un lado, la depuración de las aguas tiene diferentes fases: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario. De esta manera, la estación en condiciones normales depura 3 m³/s y cuenta con una capacidad máxima de 12 m³/s en el tratamiento primario y 6 m³/s en el secundario.

En la ilustración 1 se muestra el esquema básico de operación de la EDAR de Galindo. En primer lugar, se eliminan los residuos sólidos de gran tamaño mediante tamices. Posteriormente, el agua se dirige a un tanque donde la arena decanta en el fondo y las grasas flotan en la superficie. Las grasas se retiran mediante rasquetas y las arenas por bombeo. El agua residual se conduce mediante un canal a la decantación primaria, donde la materia orgánica en suspensión sedimenta en el fondo y se forman los fangos primarios. Tras retirar estos fangos primarios, se procede al tratamiento biológico o secundario del agua.

En los tanques del tratamiento secundario, mediante un sistema de oxigenación, se facilita el desarrollo de microorganismos que se alimentan de la materia orgánica presente en el agua residual. Tras la eliminación de esta materia orgánica, se procede a

una decantación secundaria. El resultado de la decantación es un efluente, que se vierte al río Ballonti, que cumple con las condiciones de calidad necesarias.

Los lodos extraídos en la decantación primaria y secundaria se someten a diferentes procesos de espesamiento, flotación y deshidratación antes de conducirlos a incineración. El vapor que se extrae en los hornos de incineración se utiliza para la producción de energía eléctrica que abastece parte de las necesidades de la planta depuradora.



Ilustración 1. Esquema básico de operación de la EDAR de Galindo

2.2. Servicios de medicina nuclear

En Bizkaia, dentro de la cuenca de vertido del Gran Bilbao, se encuentran 4 centros con servicio de medicina nuclear: Hospital Universitario de Basurto, Hospital Universitario de Cruces, Clínica IMQ Zorrotzaurre, Hospital QuirónsaludBizkaia. Los pacientes tratados en estos centros eliminarán el material radiactivo administrado principalmente por vía de la orina. Esta puede gestionarse de dos maneras, realizando un vertido directo a la red de saneamiento (dilución y dispersión) o por evacuación mediante sistemas de vertido controlado (concentración y retención). En el caso de que el paciente tenga una alta actividad retenida en su organismo, tal y como lo establecen las medidas de protección radiológica, se procede a la hospitalización con aislamiento y recogida de excretas.

Por ello, con el objetivo de controlar el vertido radiactivo, se emplean sistemas de retención o decaimiento. De este modo, las excretas radiactivas se recogen en tanques aislados y decaen. Cuando la actividad de las excretas almacenadas está por debajo del límite de concentración de actividad, se realiza la descarga a la red de saneamiento. Los centros vizcaínos mencionados anteriormente, serán los únicos en realizar vertidos radiactivos hospitalarios a la red de alcantarillado del sistema Galindo-Lamiako (Ilustración 2).



Ilustración 2. Red de saneamiento del sistema Galindo-Lamiako y localizaciones de los hospitales con servicio de medicina nuclear

El Hospital QuirónsaludBizkaia realiza procedimientos de terapia ambulatoria y diagnóstico de manera puntual y en menor medida que los centros citados anteriormente. En los procedimientos, el radionucleido más empleado es el ^{18}F , de un corto periodo de semidesintegración. Por lo tanto, el vertido procedente del Hospital QuirónsaludBizkaia por lo general carecerá de material radiactivo. Es por ello, que el vertido de este centro no se ha tenido en cuenta en este estudio.

En Bizkaia, se cuenta con un hospital con sistema de vertido controlado para los pacientes de terapia con hospitalización: el Hospital Universitario de Cruces. El Servicio de Protección Radiológica del centro es el encargado de garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas del vertido (CSN, 2002 y 2003).

Tabla1: Límite de vertido para las instalaciones radiactivas

Radionucleido	Límite de vertido (Bq/L)	Límite en base seca (Bq/kg)
I-131	7,5E+01	1,0E+05
I-123	7,9E+03	1,0E+05
In-111	5,7E+03	1,0E+05
Tc-99m	7,5E+04	1,0E+04
Ga-67	2,5E+04	1,0E+05

2.3 Muestreo

En los días 12, 13 y 14 de febrero de 2020, se llevó a cabo una campaña de muestreo del agua y lodos en diferentes puntos de control de la EDAR de Galindo. En total se recolectaron 54 muestras: 24 en el agua residual de entrada, posterior al pretratamiento; 24 en el efluente al río Ballonti; y 6 en lodos deshidratados.

Se empleó un tomamuestras automático, con el que se recogió 1 L de agua cada hora. La recogida de las muestras del agua residual de entrada y del efluente no se realizaron simultáneamente, ya que debido al tiempo aproximado de 24 h horas que el agua permanece en la EDAR de Galindo, se consideraron dependientes y comparables a un pulso de agua residual. Por otro lado, se recogieron 6 muestras de lodos deshidratados cada 8 horas.

2.4. Tratamiento de muestras y medidas

Para la determinación de los radionucleidos en las muestras, se prepararon recipientes Marinelli de 0,5 L de agua (entrada y efluente) y, en el caso de los fangos, se emplearon cápsulas Petri. Debido a la rápida desintegración de algunos radionucleidos, la preparación de las muestras se realizó inmediatamente tras su llegada al laboratorio. La medida de las concentraciones de radionucleidos empleados en medicina nuclear se realizó mediante análisis por espectrometría gamma. Para ello, se utilizaron dos detectores coaxiales de Germanio de alta pureza, en los que, periódicamente, se realizaron controles de calidad. La actividad de las muestras de agua se midió en unidades de Bq/L y las correspondientes a los lodos en Bq/kg.

Los periodos de semidesintegración de los radionucleidos más habituales empleados en medicina nuclear se muestran en la ilustración 3.

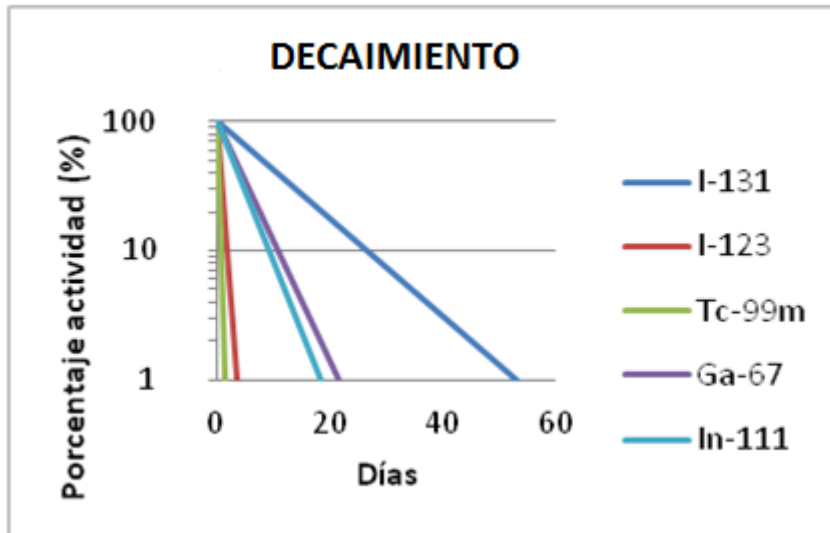


Ilustración 3 Periodos de semidesintegración de los radionucleidos empleados en medicina nuclear.

2.5. Consumo de radionucleidos

Tras la administración de radionucleidos a los pacientes, el tiempo que permanecerá el material radiactivo en el organismo dependerá del diagnóstico o terapia realizada y del radiofármaco empleado, por lo que la excreción de radiactividad se prolongará varios días tras el procedimiento (Mulas et al., 2019). Por ello, la aportación de radionucleidos a la red de saneamiento en el periodo de muestreo, no sólo se corresponderá con lo consumido en ese periodo, sino que también se corresponderá con lo administrado en días anteriores.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las ilustraciones 4 y 5 muestran el contenido de radionucleidos de origen hospitalario en el agua residual de entrada a la planta y en el efluente. La Ilustración 6 representa la concentración de radionucleidos en base seca en los fangos deshidratados.

En el caso del agua de entrada, se detectó ^{131}I y $^{99\text{m}}\text{Tc}$, con valores que oscilan entre 0,87 Bq/L y 11,19 Bq/L para el ^{131}I y entre 0 Bq/L y 27,19 Bq/L para el $^{99\text{m}}\text{Tc}$. En ambos casos, las concentraciones están muy alejadas de las limitaciones que se reflejan en la tabla 1: 75 Bq/L y $7,5\text{E}+04$ Bq/L respectivamente.

En los lodos se detectó ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ y ^{67}Ga , con actividades entre 177,4 Bq/kg y 251,5 Bq/kg, 75,77 Bq/kg y 177,2 Bq/kg y 18,49 Bq/kg y 24,92 Bq/kg, respectivamente. Al igual que en el agua, las concentraciones están muy por debajo de las limitaciones. $1,0\text{E}+05$ Bq/kg, $1,0\text{E}+04$ Bq/kg y $1,0\text{E}+05$ Bq/kg respectivamente.

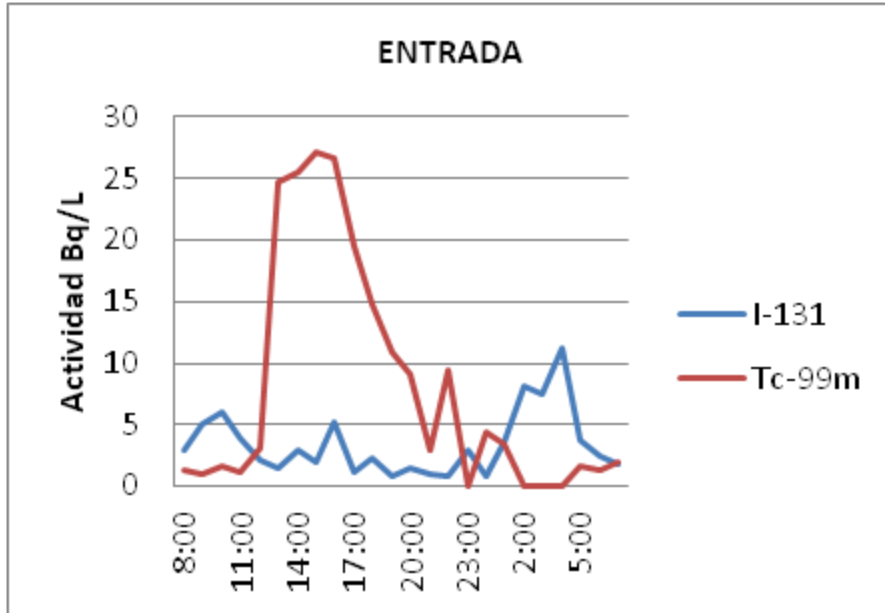


Ilustración 4 Actividad específica (Bq/L) de ^{131}I y $^{99\text{m}}\text{Tc}$ en el agua residual de entrada

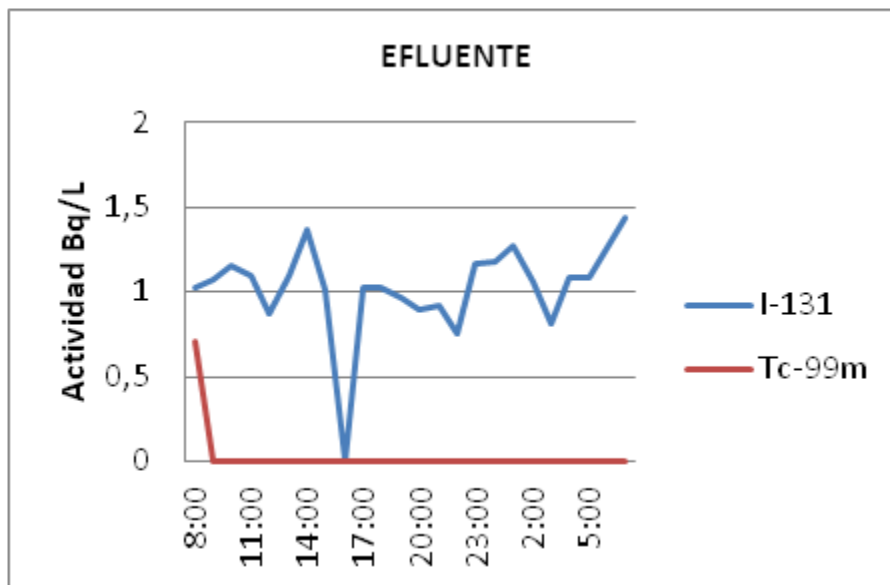


Ilustración 5 Actividad específica (Bq/L) de ^{131}I y $^{99\text{m}}\text{Tc}$ en el efluente

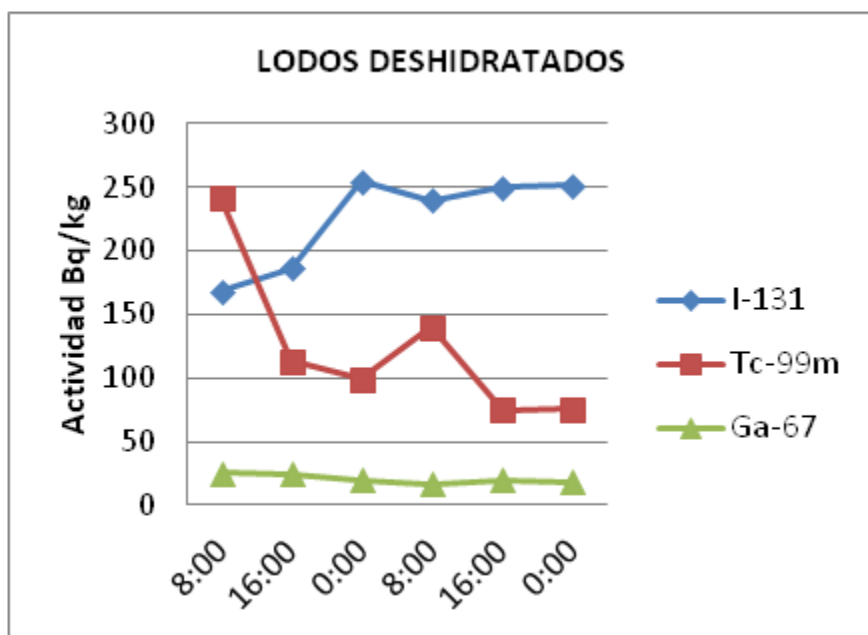


Ilustración 6 Actividad específica (Bq/kg) de los radionucleidos en los lodos deshidratados

4. CONCLUSIONES

Los vertidos con radionucleidos, de los 4 centros hospitalarios con servicio de medicina nuclear, que vierten a la EDAR de Galindo cumpliendo las limitaciones que establece el CSN, generan una actividad específica en la planta depuradora que está muy alejada de las concentraciones máximas permitidas, tanto en agua como en fangos.

Tal y como se ha indicado anteriormente, para la realización del presente estudio se diseñó el programa de muestreo teniendo en cuenta un tiempo de retención de 24 h del agua en la planta. No obstante, en las Ilustraciones 5 y 6, la tendencia del agua de entrada no es la misma que la del efluente 24 horas más tarde. Se observó que, con un tiempo de retención de 15 horas, aproximadamente, la actividad de entrada se corresponde con la de salida, la acumulada en los lodos y la debida al decaimiento. De este modo, quedó de manifiesto que las condiciones de operación de la EDAR son un factor importante en la concentración de radionucleidos en los productos de depuración, ya que la EDAR funciona a modo de sistema de decaimiento.

Por otro lado, las características de los vertidos hospitalarios, de la zona de vertido y de la red de saneamiento tienen gran influencia en la dinámica de la actividad de los

radionucleidos, pues la red de saneamiento, al igual que la EDAR, cumple la función de un sistema de decaimiento.

Asimismo, se ha observado la tendencia de ciertos radionucleidos a la acumulación en los fangos o en el efluente. Sin embargo, la concentración de estos no supera en ningún caso el límite de concentración establecido (Tabla 1).

Finalmente, resultaría de gran interés ampliar el periodo de muestreo para obtener una visión más amplia de la evolución de los radionucleidos en la EDAR de Galindo. Del mismo modo, una campaña de muestreo en los puntos de descarga de los hospitales proporcionaría información más detallada acerca de la dinámica de los vertidos radiactivos. En conclusión, este trabajo sirve de precedente a futuros estudios.

5. AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer al personal de la EDAR de Galindo la ayuda y el material prestado para la realización del estudio y al personal del Hospital Universitario de Cruces, Hospital de Basurto y Hospital IMQ Zorrotzaurre la ayuda prestada

6. REFERENCIAS

- Jiménez, F., Debán, L., Pardo, R., López, L., García-Talavera, M. 2011. Levels of ¹³¹I and Six Natural Radionuclides in Sludge from the Sewage Treatment Plant of Valladolid. *Water, Air, & Soil Pollution*, 217, 515–521. Doi: 10.1007/s11270-010-0605-8
- Krawzyk, E., Piñero-García, F. and Ferro-García, M.A., 2013. Discharges from nuclear medicine radioisotopes in Spanish hospitals. *Journal of Environmental Radioactivity* 116, 93-98, doi: 10.1016/j.jenvrad.2012.08.011
- McGowan, D.R., Pratt, B.E., Hinton P.J., Peet D.J. Crawley, M.T., 2013. Iodine-131 monitoring in sewage plant outflow. *Journal of Radiological Protection*, 34, Number 1. Doi: 10.1088/0952-4746/34/1/1

- Mulas, D., Camacho, A., Garbayo, A., Devesa, R., Duch, M.A. 2019. Medically-derived radionuclides levels in seven heterogeneous urban wastewater treatment plants: The role of operating conditions and catchment area. *Science of The Total Environment* 663, 818-829, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.349
- Sundell-Bergmana, S., de la Cruz, I., Avila, R., Hasselblad, S., 2008. A new approach to assessment and management of the impact from medical liquid radioactive waste. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 10, 1572-1577. Doi: 10.1016/j.jenvrad.2007.12.005.
- Consorcio de Aguas del Gran Bilbao (1967). *Memorias de 40 años de Gestión*. José Miguel Eizaguirre. Impreso por Gráficas Ulzama. 1ª edición: noviembre 2017.
- García, J.P., Ramos L.M., Gil E. Límites derivados para la aplicación del reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (RD 783/2001) relativos a la protección del público. 2002. Madrid. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)
- Instrucción IS-05 del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se definen los valores de exención para nucleidos según se establece en las tablas A y B del anexo I del Real Decreto 1836-1999 IS-05. 2003. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)
- UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and effects of ionizing radiation, Report to General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2000 Report Volume I Annex b (Exposures to the public from man-made sources of radiation). Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Sales No. E.17.IX.1. ISBN: 978-92-1-142316-7. eISBN: 978-92-1-060002-6.

https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html
- Annals of ICRP, 1998. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. Stockholm, Sweden. Volume 28 n°3. ISSN 0146-6453.

https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_28_3
- International Atomic Energy Agency, 2009. Release of patients after radionuclide therapy/with contributions from the International Commission on Radiological Protection. Vienna, Austria. (Safety reports series, ISSN 1020-6450; no. 63) STI/PUB/1417 ISBN 978-92-0-108909-0.

https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/pub1417_web.pdf

- International Atomic Energy Agency, 2014. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. Vienna, Austria. (IAEA safety standards series, ISSN 1020-525X; no. GSR Part 3) STI/PUB/1578 ISBN 978-92-0-135310-8.

https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1578_web-57265295.pdf

- Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia. Consultado el 9 de julio 2020. <https://www.consorciodeaguas.eus/Web/Inicio/index.aspx>.