

EXPERIENCIA DEL CIEMAT EN LA DESCLASIFICACION DE EDIFICIOS

ALICIA ALVAREZ

Jefa del Servicio de Protección Radiológica
CIEMAT

CARMEN NOGUERALES

Subjefa del Servicio de Protección Radiológica
CIEMAT

ANA VICO

Técnico Servicio de Protección Radiológica
CIEMAT

LUIS YAGÜE

Técnico Servicio de Protección Radiológica
CIEMAT

LINA RODRIGUEZ-RODRIGO

Subdirectora Seguridad y Mejora de las Instalaciones
CIEMAT

CRITERIO RADIOLÓGICO

El criterio radiológico a aplicar en el proyecto PIMIC para desclasificar paramentos, estructuras y grandes piezas coincide con el propuesto por la Unión Europea (UE) [2] correspondiente a una dosis individual considerada como trivial de $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ para el grupo crítico; los niveles de desclasificación para este criterio han sido calculado por la UE en términos de concentración de actividad por unidad de superficie ($\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$) [2], de acuerdo con escenarios realistas para el uso futuro de los emplazamientos de las instalaciones. La demostración de su cumplimiento permite la reutilización de los edificios o su demolición; en este último caso, los escombros se envían a un vertedero convencional o entran en una vía de reciclado que permite su uso posterior en obras civiles.

Los niveles de desclasificación aplicar son específicos para cada uno de los radionucleidos que contribuyen a la actividad residual de cada edificio. En el área de PIMIC-R, en los edificios donde en el pasado se realizaron lixiviaciones del mineral de uranio para obtener concentrados, la contaminación es debida a uranio procesado, mientras que en zonas exteriores próximas, se han identificado radionucleidos naturales en las proporciones isotópicas correspondientes a minerales y a estériles de minería [3]. Por otra parte, en el área restringida correspondiente a las actuaciones del proyecto PIMIC-D, existían radionucleidos artificiales derivados de las operaciones del reactor nuclear JEN-1 y del reproceso del combustible.

Debido a estas diferencias, antes de iniciar el proceso de desclasificación, fue necesario diseñar y realizar para cada edificio y zona exterior, muestreos adecuados para establecer los radionucleidos existentes y sus proporciones

isotópicas. Esa información junto con la descripción de la metodología y medios a utilizar para desclasificar superficies forma parte de un documento denominado “Plan de control de materiales desclasificables (PCMD)” licenciado por el CSN para el proyecto PIMIC-D en 2008 y para PIMIC-R en 2014.

PLANIFICACIÓN DEL PROCESO DE DESCLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS

La demostración del cumplimiento de los niveles de desclasificación establecidos para paramentos y estructuras se está realizando de acuerdo con la metodología MARSSIM (*Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual* [4]); se trata de una guía elaborada por distintas agencias americanas sobre diseño, realización y evaluación del proceso de desclasificación.

Su aplicación exige amplia experiencia en instrumentación y medida en campo así como conocimientos de estadística; se trata de una metodología flexible que permite acordar requisitos y condiciones entre el titular y el regulador para cada escenario particular. La Figura 1 muestra un esquema de las etapas del proceso desde la planificación hasta la decisión sobre la desclasificación.

La primera etapa de planificación consiste en identificar todos radionucleidos que existen en las áreas a desclasificar (emisores alfa, beta puros y beta-gamma) para estimar su proporción, lo que se denomina “isotópico-tipo”. Para el proyecto PIMIC-D, se han definido hasta 8 isotópicos-tipo en la zona restringida y en otras zonas exteriores impactadas con radionucleidos naturales, pero solo dos de ellos, los denominados “reactor” y “efluentes-reprocesado” se aplican para la desclasificación de edificios mientras que el resto se han aplicado a desclasificación de materiales y a li-



Figura 1. Esquema general del proceso de desclasificación de acuerdo con MARSSIM [4].

beración de terrenos. Adicionalmente, para su aplicación en la desclasificación de edificios dentro del proyecto PIMIC-R, CIEMAT ha definido dos isotópicos, el denominado “uranio procesado” a aplicar en el Edificio 20 y zonas aledañas (que había sido ya aplicado para la desclasificación de IN-03), y el isotópico de radionucleidos artificiales definido para la desclasificación de la instalación IN-04.

En la Tabla 1 se incluyen los niveles de desclasificación a aplicar para reuso y demolición de edificios de acuerdo con la apreciación favorable del CSN de 2002, [5]. La condición a cumplir es la siguiente:

$$\frac{C_1}{ND_1} + \frac{C_2}{ND_2} + \dots + \frac{C_n}{ND_n} \leq 1 \quad (1)$$

Donde:

Ci: actividad superficial residual del radionucleido (i).
NDi: nivel de desclasificación a aplicar (reutilización o demolición).

Radionucleidos R-ER	ND (Bq·cm ⁻²)	
	Reuso	Demolición
¹⁴ C	1000	10000
⁵⁵ Fe	10000	10000
³ H	10000	10000
¹²⁹ I	10	10
⁶³ Ni	10000	100000
⁹⁹ Tc	100	100
⁹⁰ Sr	100	100
⁶⁰ Co	1	1
¹³⁷ Cs	1	10
²⁴¹ Am	1	1
²³⁸ Pu	1	1
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0.1	1
²⁴¹ Pu	10	100
²³⁰ Th	1	1
²²⁶ Ra*	1	1
²¹⁰ Po	10	100
²³⁴ U	1	10
²³⁵ U*	1	10
²³⁸ U	1	10
²³⁸ U*	1	10

* Short-lived progeny of ²³⁸U, ²³⁵U, ²²⁶Ra assumed to be in secular equilibrium.

Tabla 1. Niveles de desclasificación para reuso y demolición de edificios.

Para cada isotópico-tipo se selecciona un radionucleido, normalmente un emisor gamma cuya energía e intensidad de emisión sea la mayor posible de manera que se pueda realizar la medida en campo, y permita estimar mediante las proporciones definidas en el isotópico la actividad debida a otros de difícil medida, como emisores alfa o emisores beta débiles. A ese radionucleido se le denomina “radionucleido llave”.

La etapa de planificación incluye también la identificación de las áreas impactadas, que en el caso del pro-

yecto PIMIC, se ha realizado en base a la antigua documentación de licenciamiento y al análisis de resultados de las distintas caracterizaciones radiológicas realizadas en el emplazamiento, [7, 8]. La clasificación de áreas propuesta por MARSSIM está concebida para optimizar el número de medidas a realizar en superficies, en general mucho más extensas que las existentes en los emplazamientos españoles a liberar, en función de su potencial impacto radiológico, de manera que se distinguen tres clases: Clase 1, correspondiente a áreas en las que existió (antes de las actuaciones de descontaminación) contaminación radiactiva superior a los niveles de desclasificación, Clase 2, que corresponde a áreas en las que existió (antes de las actuaciones de descontaminación) contaminación radiactiva pero en niveles que no exceden los niveles de desclasificación y Clase 3, donde no se espera que exista actividad residual, o que sea una pequeña fracción de los niveles de desclasificación. Esta clasificación permite realizar más medidas en las áreas con una mayor contaminación y menos en aquellas en las que se presupone una menor actividad residual.

La Figura 2 muestra el esquema de un ala de un edificio a desclasificar, donde mediante un código de colores se visualiza la clasificación de áreas impactadas. Para cada área se establecen las denominadas unidades de desclasificación (UD), donde se aplicará el proceso; en el caso de soleras de edificios, el PCMD de PIMIC-D establece un condicionamiento radiológico sobre el subsuelo que es necesario cumplir para desclasificar el edificio en su totalidad, que ha sido adoptado también para los edificios de la zona PIMIC-R.

DISEÑO DEL PROCESO DE DESCLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS

La etapa de diseño incluye la selección de los equipos de medida adecuados de acuerdo con las características del isotópico-tipo y en particular de su radionucleido llave, teniendo en cuenta que las medidas pueden ser de actividad alfa y/o beta total o de un radionucleido en particular utilizando equipos espectrométricos. En el primer caso se utilizan monitores de contaminación superficial con sondas adecuadas (detectores de gases o plásticos de centelleo), cuyo uso presenta múltiples ventajas prácticas pero a la vez otras limitaciones derivadas de las condiciones de la superficie (rugosa o lisa), área de la sonda superficial o accesibilidad.

La cuantificación de la actividad superficial, requiere el cálculo de la eficiencia de detección de acuerdo con la norma ISO 7503-1 [8], y deben cumplir además los requerimientos

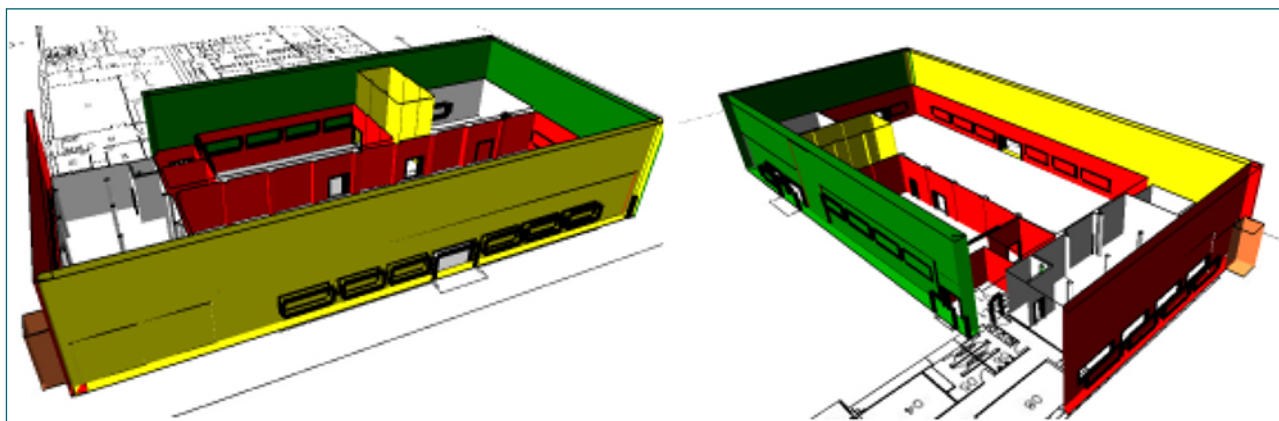


Figura 2. Clasificación Áreas: Clase 1 (rojo), Clase 2 (amarillo) y Clase 3 (verde).

de MARSSIM en cuanto a sensibilidad [9]; el límite de detección, que depende de la eficiencia, del tiempo de medida y del fondo debe ser inferior al 50 % del nivel de desclasificación.

El sistema de medida mediante espectrometría gamma *in situ* utilizado en el proyecto PIMIC para desclasificación de superficies se muestra en la Figura 3; está compuesto por un detector de Ge que va montado en un bastidor que permite ajustar la distancia entre el detector y la superficie a medir. Este bastidor, en función de las características de la superficie a medir, se coloca en un carrito que permite su desplazamiento de un punto a otro o en un toro elevador de carga manual que además posibilita el movimiento del detector en sentido vertical a diferentes alturas. Además, se dispone de un juego de blindajes de plomo 5 mm de espesor que reducen el fondo radiactivo y diferentes colimadores para delimitar la superficie de medida.

El detector está conectado a un analizador multicanal (Inspector 2000) para obtener espectros gamma como el que se muestra en la Figura 3 que se analizan mediante secuencias preestablecidas por el usuario que permiten la localización e identificación de picos, cálculo de la actividad, su incertidumbre y los límites característicos utilizando un programa comercial [10].

La desclasificación de edificios impactados con radionucleidos naturales cuyo isotópico-tipo es siempre el “uranio procesado” se realiza midiendo la radiación beta del ^{234}mPa , descendiente inmediato del ^{238}U mediante monitores portátiles de contaminación superficial, descartándose para este isotópico la medida mediante espectrometría gamma [11]. La medida de la actividad beta total ha sido también aplicada en la desclasificación de edificios del área restringida de PIMIC-D y en la de la instalación IN-04 cuando las características de rugosidad de la superficie lo permiten.

Cuando las características de la superficie a desclasificar no permiten medidas con sondas para contaminación superficial, se realizan medidas espectrométricas que permiten obtener un espectro gamma y son particularmente útiles para la detección de ^{137}Cs y de ^{60}Co , que son los dos radionucleidos llave en los isotópicos-tipo artificiales definidos para el PIMIC.

En todos los casos es necesario calcular el nivel derivado de desclasificación, es decir el valor que corresponde al nivel

de desclasificación para un tipo de medida y un isotópico determinado. Se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$ND = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{f_i}{ND_i}} \quad (2)$$

donde:

ND: nivel derivado de actividad.

fi: Fracción isotópica del isótopo i decaído a la fecha de medida.

NDi: Nivel de desclasificación para reúso o demolición de edificios del isótopo i.

La siguiente etapa del diseño corresponde a la elección de uno de los dos escenarios establecidos por MARSSIM (A y B). El escenario A se aplica siempre que la actividad residual corresponda a radionucleidos artificiales, mientras que en el caso de naturales permite elegir entre el A y el B. El esce-

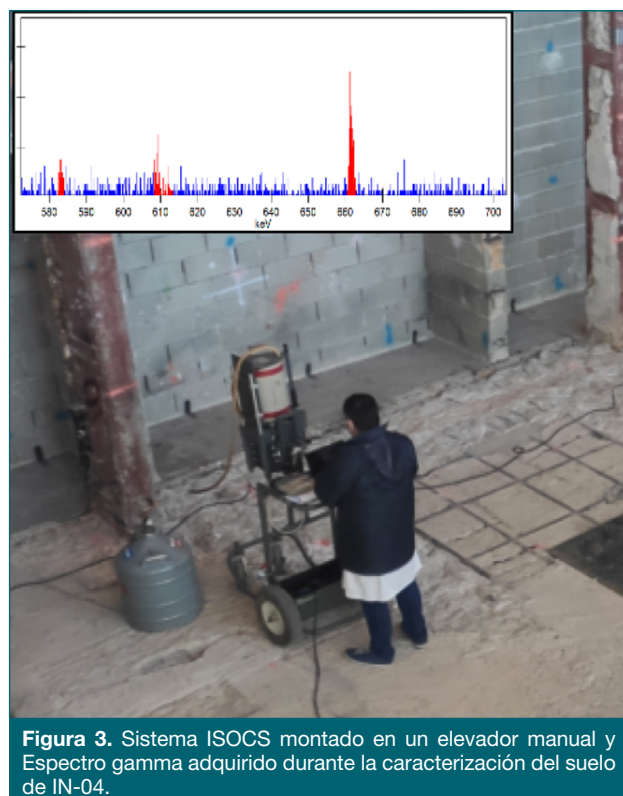


Figura 3. Sistema ISOCS montado en un elevador manual y Espectro gamma adquirido durante la caracterización del suelo de IN-04.

nario B implica un diseño basado en la comparación de los resultados de las medidas radiológicas en las áreas impactadas con los de las áreas de referencia del fondo y se aplica cuando la actividad residual es indistinguible del fondo. Aunque este escenario ha sido valorado por CIEMAT, [12] finalmente en el caso de radionucleidos naturales se acordó con el CSN la aplicación conservadora del escenario A para todos los edificios e isotópicos-tipo del emplazamiento.

La verificación del cumplimiento del nivel de desclasificación se realiza formulando la hipótesis nula " H_0 ". Se producen dos tipos de errores: tipo I, si se rechaza la " H_0 " cuando en realidad es verdadera y debiera aceptarse, y tipo II cuando la " H_0 " es aceptada y en realidad es falsa y debiera rechazarse. Las probabilidades de ambos tipos de errores se han establecido de acuerdo con el CSN ($\alpha = 0.05$ y β entre 0.05 y 0.3).

REALIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DESCLASIFICACIÓN

Una vez realizada la planificación y el diseño del proceso y concluidas las actividades de descontaminación además de disponer de un PCMD licenciado por el CSN, se inicia el proceso de medida. La Figura 4 muestra un ejemplo de una superficie interior de un edificio a desclasificar.

En el caso del proyecto PIMIC, desde el inicio de las primeras desclasificaciones en los edificios del área restringida, cada vez que se aborda el proceso con un isotópico-tipo se realiza un plan de pruebas en una o varias UD, de manera que el regulador realice una inspección en campo y se acuerden a la vez criterios y condiciones específicos. El

titular remite posteriormente al CSN los resultados para la apreciación favorable.

Las medidas a realizar sobre los paramentos son medidas dinámicas (también denominadas de barrido) y estáticas. Las medidas dinámicas señalan puntos con actividad superior al ND, ya que MARSSIM permite no descontaminar superficies con actividades superiores al nivel de desclasificación si se demuestra que se cumple el criterio radiológico establecido; para ello se establecen los denominados niveles de "actividad elevada" que garantizan que se recibe la misma dosis procedente de una amplia superficie débilmente contaminada que de una pequeña superficie con mayor contaminación.

Debido a que esta aproximación no ha sido admitida por el CSN para el proyecto PIMIC, cuando al realizar las medidas en barrido se detectan niveles superiores al nivel de desclasificación se deben descontaminar, pero a la vez dichas medidas sirven para estimar la actividad residual en el paramento o superficie. Las medidas en barrido se realizan en el 100 % de la superficie a desclasificar solo para Clase 1, en el resto de clases se barre un porcentaje acordado con el CSN, y a continuación se realizan N medidas estáticas en la UD que permiten en una cuadrícula determinada obtener la actividad residual con mayor sensibilidad que en el caso de las medidas dinámicas. El número de medidas estáticas a realizar en cada UD se establece de acuerdo con MARSSIM a partir de la estimación de la actividad residual, la desviación estándar, las probabilidades de error (tipo I y II) y el nivel de desclasificación derivado.

El CIEMAT ha desarrollado una aplicación informática [13] que permite generar los planos de cada UD identificando

cada cuadrícula de 1 m² sobre la que se van a realizar las medidas en campo; la aplicación permite además seleccionar al azar los N puntos de las medidas estáticas. La Figura 5 muestra un ejemplo de la localización de esos puntos (señalados con cruces) para una UD particular.

MARSSIM incluye para la evaluación de los resultados de las medidas la utilización de test estadísticos, que en el caso del proyecto PIMIC no son necesarios debido a la ausencia de áreas con actividad superior a los ND.

CONCLUSIONES

Entre los años 2008 y 2009 se desclasificaron dentro del proyecto PIMIC-D un total de 39 UD (aproximadamente 6000 m²) en la zona oeste del área restringida correspondientes tanto al edificio del reactor nuclear como a estructuras enterradas asociadas a esa instalación. Sin embargo, debido a que el



Figura 4. Unidad de desclasificación UD-1-UP (clase 1, isotópico U procesado).

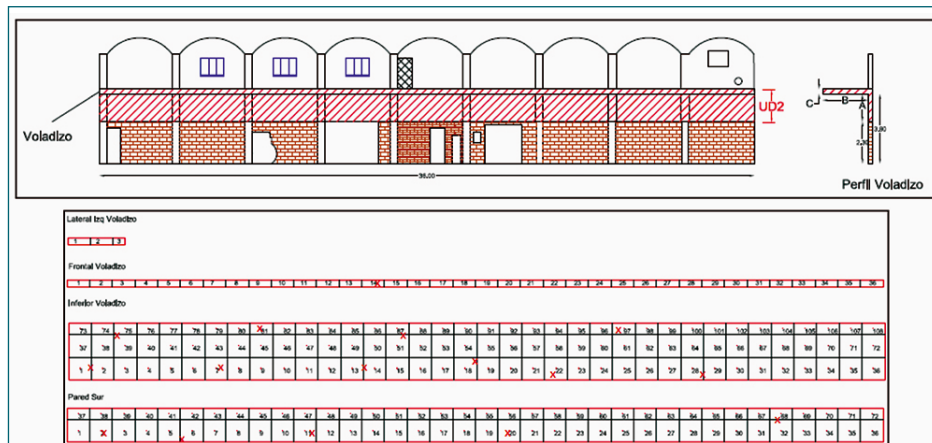


Figura 5. Alzado y plano generado por la aplicación SUDES para UD-1-UP.

edificio ha sido utilizado como almacén de residuos radiactivos, no se desclasificó la totalidad de su superficie interior, y tampoco se elaboró un informe sobre el estado radiológico del subsuelo; por tanto, no se ha realizado la desclasificación completa del edificio.

Desde el año 2014, cuando se aprobó la revisión del MPR en la que el SPR del titular debe aprobar todos los procesos de desclasificación, hasta el año 2016 se desclasificaron aproximadamente 3300 m² en los edificios de la zona este del área restringida; en esta zona y en particular en el edificio 18 la contaminación existente en el subsuelo no cumple con los niveles del PRE y por tanto de acuerdo con el PCMD de PIMIC-D no pueden desclasificarse las soleras del edificio.

En el proyecto PIMIC-R también existe contaminación residual en el subsuelo de algunos edificios; en el caso particular del ala norte del Edificio 20, cuyas superficies (aproximadamente 3000 m²) se han desclasificado para demolición, se ha realizado una estimación de dosis al individuo crítico debida a los embebidos radiológicos del subsuelo que será incorporada al dossier del edificio. La única de las antiguas instalaciones nucleares clausurada en la actualidad es la IN-03; dicha clausura se produjo después de haber realizado un informe de caracterización radiológica que aseguraba el cumplimiento de los niveles del PRE para el terreno de su subsuelo.

Una de las lecciones aprendidas en este proyecto, que incorpora isotópicos que corresponden a todo el ciclo del combustible, es que en general la desclasificación presenta mayor complejidad cuando se trata de radionucleidos naturales y que siempre resulta más sencilla la desclasificación de edificios que la liberación de terrenos. Ello es debido a la dificultad de establecer los límites físicos de los terrenos con contaminación residual, y sobre todo en los subsuelos de los edificios, por lo que en determinadas áreas hubiera sido más acertado realizar la descontaminación del terreno antes que la de los edificios o incluso demoler estos previamente.

El hecho de que los niveles de desclasificación para demolición sean en general un orden de magnitud más elevados que para reuso, representaría a la vez un menor esfuerzo desde el punto de vista de la propia descontaminación y posterior desclasificación con el correspondiente ahorro en recursos económicos.

Finalmente señalar que la aplicación de MARSSIM en este proyecto se ha realizado aplicando siempre las hipótesis más conservadoras como la eliminación de los test estadísticos o la aplicación del escenario "A" a los isotópicos naturales sin establecer un área de referencia del fondo pa-

ra realizar la sustracción correspondiente al contenido de radionucleidos naturales en los materiales de construcción.

REFERENCIAS

- [1]. CIEMAT, «Plan de Restauración del Emplazamiento,» Madrid, 2011.
- [2]. Comision for European Communities, Radiation Protection 113. Recommended radiological protection criteria for the clearance of buildings and building rubble from the dismantling of nuclear installations, 2000.
- [3]. L. Guitiérrez Jodra y A. Pérez Luiña, «Planta piloto de Tratamiento de minerales de uranio,» Energía Nuclear, vol. I, nº 4-18, pp. 4-18, 1957.
- [4]. DoE, «NUREG 1575 - Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM),» Department of Energy, Washginton, 2000.
- [5]. PIMIC/PDC-02/II-02, «"Criterios Radiológicos y metodología a aplicar para la desclasificación de materiales y estructuras y la liberación de suelos y espacios en el proyecto PIMIC",» Madrid, 2002.
- [6]. CIEMAT, «Análisis histórico de los edificios del CIEMAT,» CIEMAT, Madrid, Febrero 2010.
- [7]. CIEMAT, «Informes y fichas del Grupo de Caracterización Radiológica del CIEMAT,» Madrid, 2000- 2005.
- [8]. International Organization for Standardization, «ISO 7503-1 Evaluation of surface contamination part 1: beta emitters and alpha emitters,» International Organization for Standarization, 1998.
- [9]. USNRC, NUREG 1507 - Minimum detectable concentrations with typical radiation surveys instruments for varios contaminants and field conditions, Washington, DC: Department of Energy, 1998.
- [10]. Canberra Industries, Genie-2000 Spectroscopy Software - Operations manual.
- [11]. A. M. Vico Ocón, Tesis Doctoral. Metodología para la desclasificación radiológica de instalaciones del ciclo del combustible nuclear, Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2018.
- [12]. 5º Congreso conjunto 21 SEFM/16 SEPR. C. Nogueras Bartolomé, A. M. Vico Ocón, A. Álvarez García y J. Quiñones Díez, Aplicación de procesos de desclasificación. Medidas radiológicas de fondo en superficies, Girona, 2017.
- [13]. CIEMAT, «SUDES . Herramienta informática de localización de medidas.»■