

# Metodología para la caracterización y calibración de los sistemas de dosimetría individual en términos Hp(3)

## Proyecto Calidosis

# i+d

Colección Documentos I+D 30.2025

**Metodología para la caracterización y calibración  
de los sistemas de dosimetría individual en términos Hp(3)**

**Proyecto Calidosis**

# Metodología para la caracterización y calibración de los sistemas de dosimetría individual en términos Hp(3)

## Proyecto Calidosis

Universitat Politècnica  
de Catalunya  
(INTE\_UPC)  
Institut de Tècniques  
Energètiques

A. Cortés, A. Camp, M.A. Duch, M. Ginjaume

Coordinadores del CSN

Isabel Villanueva Delgado, Susana Pereira  
Cuesta y María Dolores Rueda Guerrero.

Colección  
Documentos I+D  
30.2025

Colección: Documentos I+D  
Referencia: DID-30.25

Copyright 2025, Consejo de Seguridad Nuclear  
Edita y distribuye:  
Servicio de Publicaciones  
Consejo de Seguridad Nuclear  
C/ Pedro Justo Dorado Dellmans, 11 28040 Madrid  
[www.csn.es](http://www.csn.es)  
[peticiones@csn.es](mailto:peticiones@csn.es)  
Maquetación: Elisa Soria Climente

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>II. EQUIPO INVESTIGADOR</b> .....	8
<b>III. OBJETIVOS</b> .....	10
<b>IV. DESARROLLO DEL PROYECTO</b> .....	12
<b>V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b> .....	14
V.1. Puestos de trabajo potencialmente afectados por la reducción del límite de dosis equivalente para el cristalino en la exposición ocupacional .....	15
V.2. Planificación de los colectivos potencialmente expuestos a la exposición del cristalino para adaptarse a los nuevos requisitos normativos en relación al control dosimétrico individual de la dosis equivalente en cristalino .....	16
V.3. Planificación de los SDPE autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear para la implantación de un sistema dosimétrico individual para la determinación de Hp(3) .....	17
V.4. Estudio piloto para la caracterización de la respuesta radiológica de un conjunto de dosímetros de cristalino de acuerdo con los requisitos de la norma IEC 62387 (2020) .....	18
V.5. Protocolo para la calibración de dosímetros pasivos de cristalino .....	18
V.6. Protocolo para la caracterización de los sistemas de dosimetría individual en términos de Hp(3) .....	19
<b>VI. CONSIDERACIONES FINALES</b> .....	20
<b>VII. REFERENCIAS</b> .....	22

# I. Introducción

El presente documento consiste en el informe final del proyecto de investigación y desarrollo del Institut de Tècniques Energètiques (INTE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), denominado “Metodología para la caracterización y **CALIB**ración de los sistemas de **DOSI**metría individual en términos  $H_p(3)$  (CALIDOSIS)”, subvencionado por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) en la convocatoria de I+D+i 2022. El estudio tiene como objetivo general desarrollar metodologías para facilitar la implementación del Real Decreto 1029/2022 [1] en relación al control dosimétrico del cristalino de los trabajadores expuestos.

El Real Decreto 1029/2022 aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes (RPSRI), constituyendo una transposición parcial de la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo [2]. En el reglamento se establece un nuevo límite de dosis equivalente en el cristalino para los trabajadores expuestos: 100 mSv a lo largo de cinco años oficiales consecutivos, con una dosis máxima de 50 mSv en un único año oficial. La aplicación del nuevo límite es efectiva desde el 22 de junio de 2024 y su implementación requiere introducir el control dosimétrico del cristalino en algunos puestos de trabajo.

## **II. Equipo Investigador**

El proyecto se ha realizado por investigadoras del INTE de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Dra. Mercè Ginjaume Egado: investigadora principal del proyecto, directora de investigación.

Dra. María Amor Duch Guillén: directora de investigación, jefa de protección radiológica de la UPC y jefa de los laboratorios de calibración y dosimetría y de dosimetría termoluminiscente del INTE.

Dra. Anna Camp Brunes: investigadora contratada parcialmente para el proyecto, supervisora y técnica acreditada del laboratorio de calibración y dosimetría.

Gda. Arlene Cortés Balcells: técnica auxiliar de investigación contratada parcialmente para el proyecto.

## **III. Objetivos**

Los objetivos principales del proyecto son:

1. Analizar el funcionamiento de los sistemas de dosimetría de cristalino disponibles en España.
2. Elaborar una propuesta de metodología de calibración para dosímetros personales de cristalino.
3. Elaborar un protocolo para la caracterización de dosímetros personales de cristalino.

## **IV. Desarrollo del proyecto**

El proyecto se ha llevado a cabo entre diciembre 2022 y diciembre 2024. Los objetivos propuestos se han alcanzado a través de cinco actividades principales:

**Actividad 1:** Distribución de una encuesta dirigida a centros sanitarios que disponían de servicios de cardiología intervencionista y radiología intervencionista y a unidades técnicas de protección radiológica (UTPR) que ofrecen servicio a centros sanitarios para conocer su planificación en relación al control dosimétrico del cristalino.

**Actividad 2:** Encuesta dirigida a servicios de dosimetría personal externa (SDPE) autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear.

**Actividad 3:** Estudio piloto sobre las prestaciones de un grupo de dosímetros de los SDPE, de acuerdo con la norma IEC 62387 (2020) [3].

**Actividad 4:** Redacción de un Protocolo para la calibración de dosímetros pasivos de cristalino.

**Actividad 5:** Redacción de un Protocolo para la caracterización de los sistemas de dosimetría individual en términos de  $H_p(3)$ .

En el presente informe se destacan los resultados y conclusiones derivados del proyecto CALIDOSIS.

## **V. Resultados y conclusiones**

## **V.1. Puestos de trabajo potencialmente afectados por la reducción del límite de dosis equivalente para el cristalino en la exposición ocupacional**

A partir del estudio bibliográfico de diversas guías y recomendaciones publicadas por organizaciones internacionales: ICRP [4, 5], IAEA [6], el National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) [7], la Asociación Internacional para la Protección Radiológica (IRPA) [8] y el Netherlands Commission on Radiation Dosimetry (NCS) [9], así como la Guía de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) [10] se ha propuesto una clasificación de los puestos de trabajo en función de su mayor afectación respecto a la nueva regulación para la vigilancia dosimétrica del cristalino.

En la tabla 1, se han clasificado los puestos de trabajo en tres grupos en función del nivel potencial de exposición del cristalino. Aunque dicha clasificación depende de diversos factores como la carga de trabajo, los procedimientos de trabajo y los sistemas de protección disponibles, hay consenso en señalar los profesionales que participan en procedimientos intervencionistas, como el colectivo que potencialmente puede requerir mayores cambios en su vigilancia dosimétrica derivados de la nueva normativa. En este contexto, el proyecto CALIDOSIS ha analizado principalmente la planificación de los profesionales del medio hospitalario que participan en prácticas intervencionistas para adaptarse a los nuevos requisitos de protección radiológica.

El documento DID 29.23 [11] del CSN presenta una metodología para identificar los colectivos afectados por el nuevo límite de dosis en cristalino, que puede utilizarse para comprobar en cada caso el riesgo radiológico asociado al puesto de trabajo y definir la vigilancia individual más adecuada.

Tabla 1. Clasificación de los puestos de trabajo en función del nivel potencial de exposición a la radiación del cristalino

Niveles de exposición	Puestos de trabajo
Es probable recibir dosis equivalente en cristalino superior a 6 mSv/año e incluso superior a 20 mSv/año.	Especialistas médicos que participan en procedimientos guiados por fluorescencia, en particular en radiología intervencionista, cardiología intervencionista (hemodinámica), cirugía vascular y neuroradiología.
Riesgo moderado de recibir una dosis equivalente en cristalino superior a 6 mSv/año, muy poco probable recibir una dosis equivalente superior a 20 mSv/año.	Otros especialistas médicos que participan en procedimientos guiados por fluorescencia.  Personal de enfermería, anestesistas y técnicos de radiodiagnóstico que participan en procedimientos guiados por fluorescencia.  Especialistas y técnicos de radiofarmacia que participan en la preparación de radiofármacos.  Veterinarios que utilizan equipos de rayos X móviles o fluoroscopia, en particular con caballos.  Operaciones de mantenimiento en ciclotrones (cambio del blanco) o en la industria nuclear (desmantelamiento o descontaminación).
Muy poco probable recibir una dosis equivalente en cristalino superior a 6 mSv/año.	Resto de profesiones, incluidos pilotos, profesionales que participan en tratamientos de teleterapia o braquiterapia, especialistas de medicina nuclear.

## V.2. Planificación de los colectivos potencialmente expuestos a la exposición del cristalino para adaptarse a los nuevos requisitos normativos en relación al control dosimétrico individual de la dosis equivalente en cristalino

En el marco de la actividad 1 del proyecto, se remitió una encuesta a 101 centros sanitarios españoles y 26 unidades técnicas de protección radiológica que dan servicio al sector sanitario. Se recibieron 47 respuestas de los centros sanitarios (47 % de participación) y 14 respuestas de las UTPR (54 % de participación). En base a las respuestas recibidas se han establecido las siguientes conclusiones:

1. Los responsables de los servicios de protección radiológica de los centros hospitalarios (SPR) con servicios de radiología intervencionista y cardiología intervencionista, así como los res-

ponsables de las UTPR que prestan servicio a centros sanitarios conocen la nueva normativa y las implicaciones que puede conllevar en la vigilancia individual de algunos trabajadores.

2. Muy pocos SPR y UTPR han realizado un estudio completo y sistemático para estimar los niveles de exposición del cristalino de los trabajadores y poder clasificar los trabajadores como de categoría A o B, según el Real Decreto 1029/2022.
3. Aproximadamente en la mitad de los estudios realizados por dichos servicios se identifican algunos trabajadores que requieren dosimetría de cristalino.
4. La dosimetría de delantal, técnica internacionalmente aceptada para poder efectuar una primera estimación de los niveles de exposición del cristalino en los trabajadores que protegen su cuerpo mediante un delantal plomado, se utiliza, aproximadamente, en un 25 % de los centros que han contestado la encuesta.

En la tabla 1 se ha clasificado el personal que trabaja en centrales nucleares tanto en su funcionamiento habitual como en tareas de mantenimiento y desmantelamiento como personal con riesgo moderado. Estas instalaciones disponen de un servicio de dosimetría personal propio o concertado con otra central nuclear y todos ellos disponen de servicio de protección radiológica. Por ello, en este caso, se utilizó la encuesta de los servicios de dosimetría personal para conocer la planificación de los responsables de protección radiológica en relación al control dosimétrico del cristalino. A partir del análisis de sus respuestas se puede concluir que:

5. Los responsables de los SPR de las centrales nucleares conocen la nueva normativa en relación a la reducción del límite de dosis en el cristalino para los trabajadores y que han efectuado estudios internos para evaluar los niveles de exposición de sus trabajadores.
6. En base a la evaluación de los niveles de exposición de sus trabajadores, los SDP de las centrales nucleares han concluido que no requieren un control dosimétrico específico del cristalino y que el dosímetro corporal es adecuado para estimar la dosis equivalente en el cristalino en sus puestos de trabajo.

### **V.3. Planificación de los SDPE autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear para la implantación de un sistema dosimétrico individual para la determinación de $H_p(3)$**

En el marco de la actividad 2 del proyecto se ha distribuido a los 21 SDPE autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear una encuesta sobre la planificación de los SDPE para la implantación de un sistema dosimétrico individual para la determinación de  $H_p(3)$ . Se han recibido 17 respuestas (81 % de participación), que supone una fracción importante de los trabajadores monitorizados en España.

1. La encuesta muestra que los servicios han estudiado las necesidades de sus usuarios y, esencialmente, este control se ofertará por parte de aquellos servicios con usuarios en el campo de la cardiología/radiología intervencionista, que son los sectores con mayor posibilidad de requerir medidas específicas.

Así, de los seis servicios que tienen usuarios en este ámbito, dos ya disponen de un dosímetro específico para el cristalino y dos prevén disponer de un sistema dosimétrico de cristalino en los próximos dos años.

2. En julio de 2023, cuando se distribuyó la encuesta entre SDPE, ningún SDPE disponía de autorización del Consejo de Seguridad Nuclear para la determinación de la dosis en cristalino. Sin embargo, dos SDPE manifestaron disponer de un sistema específico para la determinación del equivalente de dosis  $H_p(3)$  y dar servicio a más de 250 usuarios que utilizan este tipo de dosímetro, a modo de dosimetría operacional. Otro SDPE informó que disponía de un dosímetro de cristalino prototipo para llevar a cabo estudios específicos y proyectos de investigación.
3. En mayo de 2024, el CSN autorizó un SDPE para la prestación de servicio de dosimetría de cristalino en términos de la magnitud de  $H_p(3)$ .

#### **V.4. Estudio piloto para la caracterización de la respuesta radiológica de un conjunto de dosímetros de cristalino de acuerdo con los requisitos de la norma IEC 62387 (2020)**

En base a las respuestas obtenidas a través de la encuesta realizada a los SDPE (actividad 2) se seleccionaron tres sistemas dosimétricos y se han realizado los ensayos siguientes para evaluar distintos aspectos fundamentales de la respuesta dosimétrica de los sistemas evaluados:

- Estudio del coeficiente de variación en la respuesta utilizando la calidad de radiación S-Cs.
  - Estudio de la linealidad en la respuesta utilizando la calidad de radiación S-Cs.
  - Respuesta energética para irradiación normal utilizando las calidades N-20, N-40, N-60, N-80, N-100, N-200, N-300, S-Cs.
  - Respuesta angular para N-60 y  $75^\circ$ .
  - Influencia de la respuesta cuando el dosímetro se encuentra a  $90^\circ$ .
  - Respuesta para radiación beta, irradiación normal y a  $60^\circ$  con una fuente de  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ .
1. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que los tres sistemas dosimétricos que han participado en el estudio cumplen con los requisitos de la norma IEC 62387 [3] para radiación fotónica. Uno de los sistemas no está diseñado para la medida de la radiación beta y los otros dos miden de manera adecuada  $H_p(3)$  para una fuente de  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  e incidencia normal ( $0^\circ$ ), pero sobrestiman el equivalente de dosis personal para una fuente de  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  e incidencia de  $60^\circ$ .

Finalmente, la evaluación global de los tres sistemas analizados a partir de los requisitos establecidos en la norma ISO 14146 [12], indica que se cumplen los requisitos internacionales.

#### **V.5. Protocolo para la calibración de dosímetros pasivos de cristalino**

Se ha elaborado un protocolo para la calibración de dosímetros pasivos de cristalino, diseñados para ser posicionados lo más cerca posible del ojo más expuesto de los trabajadores y medir el equivalente de dosis personal,  $H_p(3)$ .

El documento está dirigido principalmente a los laboratorios de calibración y se basa en los procedimientos de calibración descritos en las normas ISO 4037-3 [13] e ISO 6980-3 [14].

## **V.6. Protocolo para la caracterización de los sistemas de dosimetría individual en términos de $H_p(3)$**

Se ha elaborado un protocolo para la caracterización dosimétrica de dosímetros pasivos de cristalino, diseñados para ser posicionados lo más cerca posible del ojo más expuesto de los trabajadores y medir el equivalente de dosis personal,  $H_p(3)$ . El documento está dirigido principalmente a los servicios de dosimetría personal externa y al organismo regulador. Se basa en la norma IEC 62387 [3].

## **VI. Consideraciones finales**

Los resultados del proyecto ponen de manifiesto que los responsables de protección radiológica de los SPR y de las UTPR, así como los responsables técnicos de los SDPE conocen bien el cambio del límite de dosis al cristalino introducido en la nueva normativa.

Los estudios preliminares efectuados por algunos de estos profesionales, así como estudios internacionales de diversas organizaciones, muestran que un número importante de trabajadores no requiere cambios en su programa de vigilancia individual. Sin embargo, en algunos puestos de trabajo, deberán implementarse nuevas medidas de protección como el uso de sistemas de protección individual, la optimización de los procedimientos o la reducción de la carga de trabajo, así como un control específico de la dosis equivalente en cristalino. En general, la clasificación sistemática de los trabajadores en función de su riesgo de exposición del cristalino no se ha implementado.

El proyecto ha permitido verificar que al menos tres sistemas dosimétricos disponibles en España permiten una adecuada medida de  $H_p(3)$  de acuerdo con los criterios de aceptabilidad internacionales.

Los protocolos de calibración y de caracterización de dosímetros de cristalino elaborados en el marco del proyecto CALIDOSIS facilitarán la armonización de los laboratorios de calibración y de los SDPE.

Finalmente, los resultados del proyecto pueden resultar de utilidad al CSN para cumplir con su meta estratégica estatutaria de Seguridad, es decir, garantizar la seguridad radiológica, así como el uso seguro de los generadores de radiaciones ionizantes y controlar las medidas de protección radiológica de los trabajadores expuestos y contribuir al proceso de implementación práctica del RPSRI en relación al control dosimétrico del cristalino en los puestos de trabajo que así lo requieran.

## **VII. Referencias**

[1] Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el *Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes* (RPSRI).

[2] *Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom n.d.:73.*

[3] IEC 62387 (2020) *International Electrotechnical Commission, Radiation protection instrumentation - Dosimetry systems with integrating passive detectors for individual, workplace and environmental monitoring of photon and beta radiation.*

[4] ICRP, 2013. *Radiological protection in cardiology*. ICRP Publication 120. Ann. ICRP 42(1). [https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB\\_42\\_1](https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_42_1)

[5] ICRP, 2018. *Occupational radiological protection in interventional procedures*. ICRP Publication 139. Ann. ICRP 47(2). [https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB\\_47\\_2](https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_47_2)

[6] IAEA, 2013. *Implications for occupational radiation protection of the new dose limit for the lens of the eye*. IAEA-TECDOC-1731, Vienna. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1731\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1731_web.pdf)

[7] NCRP, 2016. *Commentary No. 26 – Guidance on Radiation Dose Limits for the Lens of the Eye*. ISBN: 978-0-913392-17-1 / ISBNe 978-0-913392-16-4. Bethesda (USA).

[8] Cantone M.C., Ginjaume M., Miljanic S., Martin CJ et al., *IRPA guidance on implementation of eye dose monitoring and eye protection of workers.*, IRPA, 2017. [http://www.irpa.net/docs/IRPA%20Guidance%20on%20Implementation%20of%20Eye%20Dose%20Monitoring%20\(2017\).pdf](http://www.irpa.net/docs/IRPA%20Guidance%20on%20Implementation%20of%20Eye%20Dose%20Monitoring%20(2017).pdf)

[9] Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie (NCS), 2018. *Guidelines for Radiation Protection and Dosimetry of the Eye Lens. Report 31 of the Netherlands Commission on Radiation Dosimetry*. <https://radiationdosimetry.org/ncs/documents/ncs-31-radiation-protection-and-dosimetry-of-the-eye-lens>

[10] SEPR, 2021. *Guía sobre criterios de protección radiológica operacional para trabajadores expuestos en instalaciones radiactivas en el sector sanitario. Revisión 1*. ISBN: 978-84-09-40358-5. (Disponible en la Web SEPR para los socios).

[11] R. Sánchez Casanueva, J.M. Fernández Soto, E. Vañó Carruana, M. Ginjaume Egido, M. A. Duch Guillén. *Proyecto de I+d+i Estimaciones de dosis ocupacionales en cristalino en instalaciones sanitarias y de investigación (EDO CI). Propuestas de vigilancia radiológica individual*. Colección Documentos I+D del Consejo de Seguridad Nuclear 29.2023. Madrid, 2023. <https://www.csn.es/documents/10182/103228/DID-29.23+Proyecto+de+I%2Bd%2Bi+Estimaciones+de+dosis+ocupacionales+en+cristalino+en+instalaciones+sanitarias+y+de++investigacion+%28EDO CI%29/c8172d5f-44ef-c0c2-565f-a1800a667988>

[12] ISO 14146: 2018. Radiation protection—Criteria and performance limits for the periodic evaluation of dosimetry services. International Organization for Standardization.

[13] ISO 4037-3:1999 International Organization for Standardization. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence. Geneva.

[14] ISO 6980-3: 2022. Nuclear energy — Reference beta-particle radiation — Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the determination of their response as a function of beta radiation energy and angle of incidence. International Organization for Standardization.

# Metodología para la caracterización y calibración de los sistemas de dosimetría individual en términos Hp(3)

Proyecto Calidosis

Colección de documentos I+D  
30.2025