

FORO: CRITERIOS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA EN INSTALACIONES CON CICLOTRÓN

**Andrada Contardi, F.A.¹, Facure, A.², Di Prinzio, R.², Cárdenas, C.³, Hernandez, R.⁴,
Pérez Mulas, A.⁵, Salinas, J.⁶, Ravello, Y.⁷, Souto, B.⁸, Pacheco, R.⁹**

¹ Autoridad Regulatoria Nuclear, Argentina

² Comissão Nacional de Energia Nuclear, Brasil

³ Comisión Chilena de Energía Nuclear, Chile

⁴ Centro Nacional de Seguridad Nuclear, Cuba

⁵ Consejo de Seguridad Nuclear, España

⁶ Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, México

⁷ Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú

⁸ Autoridad Reguladora Nacional en Radioprotección, Uruguay

⁹ Organismo Internacional de Energía Atómica

RESUMEN

En los últimos años se ha incrementado notablemente la demanda de radiofármacos emisores de positrones, por ende las autoridades reguladoras de la región Iberoamericana han recibido crecientes solicitudes de licenciamiento de instalaciones con ciclotrón y radiofarmacia. Desde el Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO) se identificó la posibilidad de compartir y difundir las experiencias adquiridas entre sus países miembros, mediante la elaboración de un documento donde se contemplan los criterios de seguridad radiológica a tener en cuenta, tanto en el proceso de licenciamiento como de inspección para este tipo de instalaciones. El presente trabajo describe los resultados del proyecto sobre ciclotrones desarrollado en el ámbito del Foro y la metodología de trabajo empleada.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de emisores de positrones para la realización de imágenes médicas ha experimentado en los últimos diez años un considerable aumento en el número de procedimientos realizados, debido a la posibilidad de diagnosticar, estadificar, vigilar el desarrollo de tratamientos y evaluar la recurrencia de tumores. Como consecuencia, el número de instalaciones con equipos PET en los países miembros del Foro ha aumentado significativamente y por tanto la demanda de los radiofármacos que son usados en los exámenes.

La glucosa marcada con flúor (FDG), es el radiofármaco más ampliamente utilizado para exámenes con PET. El uso del FDG es justificado por la vida media del ¹⁸F (110 minutos), que permite su transporte desde una instalación productora hasta un centro médico relativamente distante.

Debido a este aumento de la demanda de radiofármacos emisores de positrones, las autoridades reguladoras de los países miembros del Foro han recibido crecientes solicitudes de licencias para instalaciones con aceleradores ciclotrones para su producción. Estas

¹ fandrada@arn.gob.ar

instalaciones tienen el potencial para producir todos los días grandes cantidades de radioisótopos, como fuentes no selladas mediante reacciones que, en la mayoría de los casos, producen altas dosis de neutrones secundarios. Por lo tanto, esta práctica presenta peculiaridades que deben ser evaluadas detenidamente en el proceso de concesión de licencias.

En este trabajo se resumen los criterios técnicos para la evaluación de seguridad de instalaciones con ciclotrón y laboratorio de radiofarmacia en etapa de autorización y que se aplican en inspección, en base a la experiencia de los países miembros del Foro. Los mismos se desarrollan con mayor amplitud en la publicación del FORO “Propuesta de establecimiento de criterios para el licenciamiento y requisitos de inspección de instalaciones con ciclotrones para producción de radioisótopos utilizados en aplicaciones e investigaciones médicas”.

2. LICENCIAMIENTO DE INSTALACIONES CON CICLOTRÓN Y RADIOFARMACIA

El licenciamiento de instalaciones con ciclotrones es distinto en los diferentes países. No obstante, existen una lógica y un orden en la ejecución de acciones y análisis de documentos. Las etapas en el proceso de licenciamiento comprenden: 1)Notificación y emplazamiento, 2)Construcción, 3)Puesta en marcha, 4)Operación, 5)Cierre y clausura.

2.1. Notificación y Emplazamiento

La organización interesada en la instalación de un ciclotrón notificará al organismo regulador su intención de construir y operar la instalación, justificando la intención de establecer la práctica, describiendo su alcance y aportando, al menos, la siguiente información: 1)Descripción del equipamiento, 2)Producción prevista, 3)Responsables legal y técnico, 4)Cronograma, 5)Personal, 6)Ubicación.

2.2. Construcción

Antes del inicio de la construcción de la instalación, el solicitante presentará las informaciones siguientes:

2.2.1. Planos de la instalación

Los planos de la instalación deben mostrar los detalles técnicos y de construcción que permitirán el análisis del blindaje y de los sistemas de seguridad. Se deben proporcionar los siguientes planos a escala y acotados:

a. Plano de localización zonal: localización de la instalación en relación a su vecindario.

b. Planos de la instalación: 1) la distribución y función de los locales de la instalación y los locales adyacentes, 2) la localización del ciclotrón, de las celdas calientes y de las líneas de transferencia, 3) las vías de comunicación entre locales, 4) Descripción de flujos de personas y materiales, 5) Clasificación de áreas, 6) Identificación y ubicación preliminar de equipos de seguridad y detectores, 7) Descripción de los niveles de presión de las celdas y locales.

c. Planos constructivos con cortes axiales y transversales: indicación de los materiales, espesores, ductos (eléctricos, de ventilación, incluyendo la chimenea, refrigeración, gases y otros) y bancos de filtros.

2.2.2. Sistemas de seguridad

En la documentación presentada por el solicitante se deben describir todos los sistemas de seguridad con los detalles de su lógica de actuación y su ubicación prevista. Pueden ser considerados los siguientes sistemas:

a. Enclavamientos:

- 1) Botones de última persona: Garantizan que no quede nadie dentro del bunker durante la operación del ciclotrón, complementando la inspección visual previa a su puesta en marcha con un botón de última persona o de cierre continuo. Si se detiene o retrasa el proceso de cierre de puerta, se realiza una secuencia incorrecta de pulsación de botones o si la puerta se abre, el proceso debe volver a iniciarse.
- 2) Sistema de llave única: Garantiza que la llave de operación es la misma que la utilizada para el cierre y apertura de la puerta del bunker. Como buena práctica, esta llave se acopla a un detector portátil de radiación.
- 3) Enclavamiento de puerta del bunker asociado a la operación del ciclotrón: Garantiza que el ciclotrón no opere cuando la puerta está abierta, que no se pueda abrir la puerta durante su operación, y que en caso de abrirse durante la operación el ciclotrón se detenga.
- 4) Enclavamiento por tasa de dosis y falla de detectores: Garantiza que no se puede abrir la puerta del bunker o de las celdas calientes si la tasa de dosis en su interior supera un valor de referencia, o si se presentan fallas en los detectores asociados.
- 5) Enclavamiento por pérdida de nivel de presión: Garantiza que no se puede operar el ciclotrón y que las celdas calientes no recibirán material desde el ciclotrón si no existen los niveles de presión requeridos. Complementariamente, se puede deshabilitar el haz si se pierde la depresión del bunker durante una irradiación. Además, para el escenario de pérdida de depresión de una celda durante su operación, se deberá analizar si resulta necesario cortar automáticamente la ventilación general de los locales adyacentes, a fin de minimizar el movimiento de aire hacia afuera de la celda con el consiguiente arrastre de material radiactivo, teniendo en cuenta para el análisis el diseño del sistema de ventilación y la depresión relativa entre locales.
- 6) Enclavamiento relacionado a la transferencia de material desde el ciclotrón hasta las celdas calientes: Garantiza que no se pueda iniciar la transferencia del material radiactivo si las puertas de las celdas están abiertas, o si sus condiciones de presión no son las requeridas. Asimismo, garantiza que durante la transferencia no se pueda abrir la puerta de la celda, o que si se abre se detiene la transferencia, confinando el material en la línea de transferencia.

- 7) Enclavamientos de los autoblandajes: En el caso de los ciclotrones autoblandados, este sistema garantiza que no se puede operar el ciclotrón si los blindajes no están en la posición segura o si hay pérdida de su capacidad de blindaje (por ejemplo, en caso de reducción de los niveles en blindajes líquidos). Adicionalmente, durante la operación no está permitido el movimiento de blindajes.
- 8) Además, solamente se pueden abrir los blindajes de los equipos autoblandados después de la transferencia de los materiales producidos. Este enclavamiento no se encuentra implementado en todas las instalaciones con ciclotrón operativas en los países miembros del Foro, y el control del escenario de exposición asociado al mencionado enclavamiento se realiza por procedimiento. Se sugiere que en etapas tempranas de licenciamiento se exija este enclavamiento, dado que los sistemas automáticos resultan de preferencia sobre los procedimientos para este tipo de escenarios.
- 9) Enclavamiento por descargas en la chimenea: Garantiza que si se sobrepasa los niveles preestablecidos para las emisiones por la chimenea los gases se retienen en la instalación en un sistema proyectado para dicho fin.
- 10) Estanqueidad: Antes de cada producción, el sistema que opera el ciclotrón debe realizar una prueba de estanqueidad en el portablancos y línea de transferencia a utilizar. No se puede operar el ciclotrón si estos ensayos de estanqueidad no resultan satisfactorios. Además, no se puede iniciar la síntesis con productos gaseosos si no resulta satisfactorio el ensayo de estanqueidad del correspondiente módulo de síntesis.

b. Sistemas manuales de seguridad: 1) Botones de parada de emergencia, 2) Sistema de apertura interna de la puerta del búnker del ciclotrón.

c. Indicaciones sonoras y visuales: 1) Alarma de preparación de la irradiación, 2) Alarmas de inicio de irradiación, 3) Alarmas de ciclotrón operativo, 4) Alarmas por alta tasa de dosis en los monitores de área, 5) Alarmas de transferencia de material radiactivo desde el ciclotrón hacia la celda caliente, 6) Alarmas por fallas en el sistema de ventilación, 7) Alarmas por fallas de los detectores de área, 8) Alarmas por apertura de puerta de celdas, de búnker o autoblandaje, 9) Alarma por superación del nivel de descargas de actividad en la chimenea, 10) Alarmas por aumento de concentración de actividad en locales, 11) Alarmas asociadas a los autoblandajes líquidos.

d. Sistema de ventilación

El sistema de ventilación de una instalación con ciclotrón debe cumplir con los criterios básicos de diseño y construcción, aplicables a toda instalación que maneje fuentes radiactivas no selladas a los fines de proteger a trabajadores, público y medioambiente. Sin embargo, por tratarse de una instalación productora de radiofármacos, resulta necesario incluir sobrepresiones en al menos en un local a los fines de proteger al producto (de acuerdo a normas GMP). El aire que se mueva en sentido de probabilidad de contaminación decreciente a causa de la sobrepresión (y que eventualmente podría transportar material radiactivo) debe conducirse hacia el banco de filtros de la extracción general. Se recomienda que las celdas presenten la máxima depresión de la instalación. Además, teniendo en cuenta que los gases producidos en el proceso de síntesis representan un volumen bajo y decaen rápidamente, se recomienda la implementación de un sistema de retención de gases para su decaimiento antes de la descarga a través del banco de filtros.

e. Blindajes

Para las instalaciones que operan con ciclotrones se requieren distintos tipos de blindajes para las áreas donde se almacenan, procesan o utilizan los materiales radiactivos. Los espesores y materiales de los blindajes dependerán del modo de desintegración del radioisótopo que se utiliza, los campos de radiación, carga de trabajo y características de las distintas zonas. Típicamente, durante la producción de ^{18}F en ciclotrones, son generadas dosis de neutrones del orden de $300 \text{ mSv/h}/\mu\text{A}$ a 1 m del blanco. La capa hemirreductora para esos neutrones, cruzando barreras de hormigón convencional, es aproximadamente de 11 cm. Para emisores de positrones, donde la principal fuente de exposición a la radiación son los rayos gamma de 511 keV, la capa hemirreductora para plomo es 4,1 mm y para hormigón convencional es 3,4 cm. Los espesores típicos de las paredes de las salas de los ciclotrones no autoblandados son del orden de 200 cm.

El búnker para un ciclotrón también puede ser construido con laberinto, reduciendo al máximo la incidencia de radiación directa en la puerta minimizándose su espesor.

Las celdas calientes generalmente son construidas con ladrillos de plomo de 5 cm.

Las líneas de transferencia, por donde el material producido en el ciclotrón es conducido hasta las celdas calientes situadas en el laboratorio de radiofarmacia, generalmente se instalan debajo del piso o en canales blindados con ladrillos de plomo.

Además del bunker y celdas calientes, también deben ser previstos algunos recipientes blindados para almacenar las piezas activadas, debido a su irradiación por el haz primario y por los neutrones producidos en el acelerador, así como blindajes móviles para la manipulación de estas piezas asociadas a tareas de mantenimiento.

Los viales o jeringas que contienen el material producido se retiran de las celdas en contenedores blindados, generalmente de plomo o tungsteno.

Los desechos generados debido a descontaminaciones también deben ser almacenados en recipientes blindados.

Con relación a la información relativa a los blindajes, se deberá presentar una memoria analítica que contenga los cálculos detallados, incluyendo hipótesis, fórmulas, modelos, códigos de cálculo utilizados y carga de trabajo anual, tomando en cuenta la producción, mantenimiento y pruebas. Para cada área de la instalación se estimarán las dosis anuales recibidas por el público y trabajadores.

El uso de un ciclotrón autoblandado no exime la presentación de la memoria de cálculo, ya que pueden ser necesarios blindajes adicionales. En este caso se deberá presentar la documentación soporte, en donde consten las dosis alrededor del ciclotrón (ya que las mismas no pueden ser reproducidas por cálculos independientes en caso de carecerse de datos técnicos de los blindajes intrínsecos del ciclotrón).

2.2.3. Proyección de descargas

Se estimará el impacto radiológico de la operación de la instalación, considerando los valores máximos de producción previstos (carga de trabajo) demostrando que no se superan las restricciones de dosis para público preestablecidas. El estado del arte contempla la retención y decaimiento de los gases generados durante la síntesis, y posterior descarga a través de un banco de filtros tanto para aerosoles como para gases y vapores. La descarga debe ser modelada tanto para operación normal como para situaciones anormales, a través de una metodología reconocida.

2.2.4. Estimación de dosis

Se deben estimar las dosis de trabajadores y público en operación normal y en situaciones de emergencia debidas a irradiación externa e interna. Se deben tener en cuenta los factores de ocupación, la carga de trabajo, y los distintos tipos de radiación presentes en la instalación. Se debe demostrar que no se superan las restricciones de dosis correspondientes.

2.2.5. Personal

Las funciones y tareas inherentes a estas instalaciones implica la necesidad de personal no solamente con formación adecuada a las mismas, sino también entrenado y competente en protección radiológica con conocimiento de las diferentes regulaciones aplicables que tienen que ser cumplidas.

Se recomienda que en esta fase del proceso de licenciamiento el personal de la instalación inicie el programa de entrenamiento, que se extenderá también durante la puesta en marcha de tal modo que al momento de la operación el personal cuente con la capacitación adecuada. Se debe remitir al Organismo Regulador el organigrama, funciones y requisitos de personal, y programa de entrenamiento.

2.3. Puesta en Marcha

Previo al permiso de operación se debe solicitar la autorización de puesta en marcha, presentando el programa de pruebas el cual garantiza que la construcción y la instalación de los sistemas se han llevado a cabo de acuerdo con el proyecto inicial y con los requisitos de seguridad radiológica. Deben ser presentadas al menos las informaciones siguientes:

- Cronograma, teniendo en cuenta que las pruebas en frío deben realizarse en forma previa a las pruebas en caliente.
- Alcance y descripción de las pruebas.
- Criterios de aceptación de cada prueba, indicando la norma de referencia.
- Personal involucrado y sus responsabilidades, incluyendo la presentación del personal técnico que realizará el montaje de los equipamientos y sistemas de seguridad (certificaciones, capacitación, historial de dosis, etc.).
- Procedimientos operacionales.
- Manual de protección radiológica.
- Plan de emergencias, contemplando al menos las situaciones accidentales/incidentales siguientes: 1)Rotura de ventanas, 2)Rotura o desconexión de las líneas de transferencia, 3)Derrame de material radiactivo, 4)Presencia inadvertida en áreas no autorizadas, 5)Descargas no previstas al medioambiente, 6)Incendio, 7)Sobreexposición.

2.4. Operación

El solicitante presentará las siguientes informaciones:

2.4.1. Informe de Puesta en Marcha

En ese documento se presentan los resultados de las pruebas de puesta en marcha.

2.4.2. Informe Final de Seguridad

Este documento recopila toda la información necesaria para la operación segura de la instalación. El informe final de seguridad incluye las modificaciones en relación al proyecto inicial aprobado y describe, entre otros, los documentos siguientes:

a. Manual de mantenimiento

Este manual describe el proceso de mantenimiento del ciclotrón y de los sistemas asociados, con los detalles siguientes:

- Funciones y responsabilidades.
- Clasificación de sistemas, equipos y componentes.
- Procedimiento para efectuar el mantenimiento, con presentación del contrato de mantenimiento con el proveedor del equipo, cuando sea aplicable.
- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Frecuencia.
- Planilla de registros.

b. Procedimientos de gestión de desechos radiactivos

Se presentará un plan de gestión de desechos radiactivos indicando: la ubicación segura de los desechos, forma de registro, clasificación, segregación, caracterización, tratamiento, acondicionamiento, almacenamiento, dispensa y transporte cuando corresponda según las normas nacionales. Tener en cuenta que el plan de vigilancia radiológica debe incluir el monitoreo de todos los materiales que salgan de las áreas controladas (por ejemplo, se ha detectado activación en luminarias del bunker).

Entre otros se puede considerar la siguiente clasificación primaria según el sector de generación de los desechos radiactivos:

- Componentes del ciclotrón.– Convenientemente gestionado e identificados (por ej. partes en desuso, partes cambiadas por reparación).
- Desechos del laboratorio. – Síntesis y control de la calidad.
- Los filtros de los sistemas de ventilación.– Gestionados como residuo radiactivo cuando corresponda.
- Desechos al cierre de la planta.
- Otras fuentes radiactivas en desuso (por ej. fuentes de calibración).
- Desechos generados por incidentes.

c. Informe de personal

El solicitante debe remitir al Organismo Regulador el informe de fin de entrenamiento del personal.

En ocasiones el personal es entrenado en varios puestos (cross-training), de manera que pueda desarrollar múltiples tareas y funciones, lo cual tendrá un efecto significativo en su número, no obstante, las funciones deberán estar claramente delimitadas con el objetivo de fortalecer el aseguramiento de la calidad y de evitar el conflicto de intereses.

Se requiere un reentrenamiento del personal a intervalos regulares, siendo éste fundamental para asegurar que sus habilidades y conocimientos se mantienen a un alto nivel, garantizando la calidad del producto y el cumplimiento de la normativa aplicable (cultura de la seguridad).

2.5. Cierre y Clausura

El solicitante presentará un plan de clausura que estime al menos la información siguiente: 1) Verificar si las asignaciones de responsabilidades están claramente definidas para aplicar y mantener los controles durante la operación de desmantelamiento, 2) Caracterización de los productos de activación producidos durante la operación de la instalación, 3) Gestión de los desechos producidos, 4) Descripción de las operaciones de descontaminación y desmantelamiento, 5) Vigilancia radiológica durante las operaciones de descontaminación y desmantelamiento, 6) Estimación de las dosis asociadas a las operaciones de descontaminación y desmantelamiento, 7) Gestión del sistema de registros de la instalación.

3. INSPECCIÓN DE INSTALACIONES CON CICLOTRÓN Y RADIOFARMACIA

Las inspecciones son un componente esencial de los sistemas regulatorios modernos que tienen el objetivo de verificar el cumplimiento de las normativas con el fin de lograr los resultados deseados. Por otra parte, la inspección desempeña un papel importante al proporcionar retroalimentación sobre el impacto, el nivel de cumplimiento y la aplicación de la normativa.

En una inspección de una instalación con ciclotrones se recomienda la presencia como mínimo de dos inspectores. Las inspecciones regulatorias deben ser de verificación técnica de los aspectos de seguridad radiológica asociados a cada una de las etapas de licenciamiento de una instalación. Para ello se debe realizar vigilancia radiológica independiente, verificar la operación de los sistemas de seguridad, verificar la gestión de los desechos generados, verificar los ejercicios de simulacro de resolución de situaciones accidentales/incidentales, verificar las colindancias y el vecindario, y verificar los distintos registros/documentos, de acuerdo a la documentación/normativa de base para el desarrollo de las actividades de la instalación en la etapa en que la misma se encuentre.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Durante el desarrollo del proyecto se siguió la metodología de trabajo utilizada por el FORO. La iniciativa del proyecto “Propuesta de establecimiento de criterios para el licenciamiento y requisitos de inspección de instalaciones con ciclotrones para producción de radioisótopos utilizados en aplicaciones e investigaciones médicas” surge desde el organismo regulador de Brasil y es aprobada por el FORO. Los organismos reguladores de los países miembro del FORO designan expertos técnicos en el tema, y se organizan tres reuniones técnicas. La primera de ellas se desarrolla en Belo Horizonte, Brasil, del 9 al 13 de abril de 2012, donde se elaboró una versión avanzada de un documento con los criterios asociados a la etapa de licenciamiento. La reunión contó con la presencia de un oficial técnico de OIEA. En ocasión

de la reunión se realizó una visita técnica a instalación con ciclotrón local. El documento elaborado se fue puliendo en conjunto utilizando una plataforma de trabajo virtual provista por el FORO. La segunda reunión técnica se desarrolló del 1 al 5 de octubre en Santiago de Chile, donde se elaboró una versión avanzada de un documento con los criterios técnicos asociados a la etapa de fiscalización de una instalación con ciclotrón. Se realizaron visitas técnicas a dos instalaciones con ciclotrón locales. Se continuó trabajando en el documento a través de la plataforma de trabajo virtual y se organizó una videoconferencia. Finalmente, se realizó la reunión de cierre del 23 al 27 de septiembre de 2013 en La Habana, Cuba, donde se aprueba la versión final del documento, la cual se puede consultar en forma libre en la página web del FORO.

5. CONCLUSIONES

El FORO ha logrado recopilar criterios técnicos para licenciamiento e inspección de instalaciones con ciclotrón y radiofarmacia en un documento, tomando como base la experiencia de sus países miembros. El mencionado documento, denominado “Propuesta de establecimiento de criterios para el licenciamiento y requisitos de inspección de instalaciones con ciclotrones para producción de radioisótopos utilizados en aplicaciones e investigaciones médicas”, posee información que contribuirá con los organismos reguladores de aquellos países en donde se está imponiendo la producción de radioisótopos con ciclotrón y no cuentan con experiencia en el tema, como así también en aquellos países que necesitan reforzar los controles de seguridad radiológica en instalaciones con ciclotrón existentes.

4. REFERENCIAS

La elaboración del documento técnico del FORO se ha basado en la experiencia de sus países miembros, quienes han tomado como base las regulaciones de aplicación propias de cada país. Asimismo, existen publicaciones relevantes relacionadas con el tema, destacándose:

1. AAPM Task Group 108: “PET and PET/CT Shielding Requirements”. Med. Phys. 33 (1), pp 4-15, 2006.
2. Draft de la Guía “Autorización e inspección: Instalaciones con Ciclotrón”, (2012), IAEA.
3. Facure, A, Franca, W. F. Optimal Shielding Design for Bunkers of Compact Cyclotrons used in the Production of Medical Radionuclides. Medical Physics (Lancaster). , v.37, p.6332 - 6337, 2010.
4. IAEA - Radioisotopes and Radiopharmaceuticals Series. “Cyclotron produced radionuclides: guidance Operation and Maintenance of Gas and Liquid Targets (2012).
5. IAEA - SRS 19 “Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment”, (2001).
6. IAEA - TRS 292. “Design and Operation of Off-Gas Cleaning and Ventilation Systems in Facilities Handling Low and Intermediate Level Radioactive Material”, (1988).

7. IAEA - TRS 465. "Cyclotron produced radionuclides: principles and practice", (2008).
8. IAEA - TRS 468. "Cyclotron produced radionuclides: physical characteristics and production methods", (2009).
9. IAEA - TRS 471. "Cyclotron produced radionuclides: guidelines for setting up a facility", (2009).
10. IAEA Radioisotopes and Radiopharmaceuticals Series. "Cyclotron produced radionuclides: guidance on facility design and production of [18F]fluorodeoxyglucose (FDG)", (2012).
11. ICRP 103 - 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (2007).
12. ISO 10648-1 – Containment Enclosures – Part 1 – Design Principles (1997).
13. ISO 10648-2 – Containment Enclosures – Part 2 – Classification According Leak Tightness and Associated Checking Methods (1994).
14. ISO 17873 – Nuclear Facilities – Criteria for the design and operation of ventilation systems for nuclear installations other than nuclear reactor (2003).
15. J.D.Nixon, E.J.Chapman – IAEA-SM-209/52 – Ventilation and Filtration of Active Buildings, (1952)
16. NCRP Report N°30 – Safe Handling of Radiactive Materials, (1964)
17. NCRP Report N°8 – Control and Removal of Radiactive Contamination in Laboratories, (1951)
18. NORMA IRAM 3-575 Parte I – Seguridad Radiológica Cajas de Guantes – Requisitos, (1988)
19. NORMA IRAM 3-575 Parte II – Seguridad Radiológica Cajas de Guantes - Accesorios Complementarios, (1989)
20. Report EUR 19151 "Evaluation of the Radiological and Economic Consequences of Decommissioning Particle Accelerators", (1999), European Commission on Nuclear Safety and the Environment.