

LAS MULTIPLES APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN ARGENTINA

Alberto Manzini
Programa de Radioisótopos y Radiaciones
Comisión Nacional de Energía Atómica
República Argentina

En Argentina, las actividades relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear comenzaron en 1950, en forma conjunta con la creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

Las aplicaciones de la tecnología nuclear pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Aplicaciones energéticas
- Aplicaciones no energéticas

Aplicaciones energéticas

Las aplicaciones en el campo de la producción de energía hacen uso de la energía liberada durante el proceso de fisión nuclear para producir energía eléctrica.

Ejemplo de ello son, en nuestro país las centrales nucleares de potencia Atucha I en operación desde 1973 y Embalse en funcionamiento desde 1983. Con una potencia instalada de alrededor de 1.000 MW, ambas contribuyen a la fecha con alrededor del 12% del consumo eléctrico de Argentina.

Muchas de las actividades de investigación y desarrollo que se realizan en CNEA, como asimismo de producción en sus empresas asociadas, están relacionadas con el ciclo del combustible utilizado en las centrales nucleares de potencia, esto es desde la prospección, exploración y explotación de Uranio, pasando por la producción de elementos combustible, el enriquecimiento de Uranio, el tratamiento de residuos y la recuperación del Uranio de los elementos combustibles quemados luego de su utilización.

Además, se prestan servicios a las centrales nucleares relacionados con la operación de las mismas, tales como química y física de reactores, vigilancia e inspección de componentes, desarrollo de equipamiento de instrumentación y control.

También puede mencionarse entre las aplicaciones energéticas el aprovechamiento de la energía liberada en la fisión con propósitos de calefacción, propulsión naval y desalinización de agua de mar, si bien estas aplicaciones no se llevan a cabo en nuestro país.

Aplicaciones no energéticas

Entre las aplicaciones no energéticas pueden mencionarse preferentemente el uso de los radioisótopos y de las radiaciones ionizantes, mal llamadas muchas veces subproductos de la energía nuclear.

Uno de los objetivos primarios de CNEA ha sido el desarrollo de tecnologías innovativas en el área de la producción de radioisótopos y de las radiaciones ionizantes y de sus aplicaciones en medicina e industria y como herramienta de investigación. Para cumplir con los objetivos señalados CNEA ha organizado el Programa de Radioisótopos y Radiaciones. Dentro del mismo se impulsan aquellos temas que tienen una aplicación y transferencia clara y definida, los cuales son manejados en forma de Proyectos.

Para la ejecución y el éxito de los proyectos, lo mismo que para llevar adelante aplicaciones en distintas áreas CNEA dispone de una serie de instalaciones únicas en el país y de reconocido nivel mundial, a las cuales deben sumarse las instaladas por el sector privado. Entre las instalaciones más importantes cabe mencionar:

- Reactor nuclear de investigación RA-1. Utilizado para la producción de radioisótopos en caso de no ser necesarios altos flujos neutrónicos y para llevar a cabo experiencias relacionadas con el proyecto BNCT (terapia por captura neutrónica en Boro).
- Reactor nuclear de investigación RA-3. Es el principal reactor utilizado para mantener un programa comercial de producción de radioisótopos primarios.
- Reactor nuclear de investigación RA-6, utilizado para investigación y docencia y para experiencias relacionadas con el Proyecto BNCT.
- Ciclotrón de producción. Utilizado para la producción de radioisótopos de periodos de semidesintegración corto y medio, deficientes en neutrones, como ser TI-201, I-123 y F-18.
- Ciclotrón de pie de hospital. Se utiliza para la producción de radioisótopos de periodo de semidesintegración corto y ultra corto, fundamentalmente F-18.
- Central nuclear Embalse. Es donde se produce el Co-60
- Planta de producción de radioisótopos. En la misma se procesan los radioisótopos producidos en el reactor RA-3
- Planta de producción de Mo-99 por fisión
- Planta de encapsulado de Co-60
- Plantas de irradiación semi-industrial (Utilizada para el desarrollo de la tecnología de procesamiento por radiaciones, brinda, además, servicios de irradiación comercial) e industrial.
- Irradiadores móviles
- Laboratorios de empresas productoras de radiofármacos
- Planta de encapsulado de fuentes de Ir-192 para gammagrafía

Producción de radioisótopos

En cuanto a las actividades de producción de radioisótopos propiamente dichas, merece mencionarse en primer lugar la producción de Co-60. Anualmente se producen en Argentina 3.500.000 Ci de Co-60 lo que coloca a Argentina en el tercer productor mundial. Parte del mismo se exporta a granel, encapsulándose el resto como fuentes selladas para uso industrial y para teleterapia. Para llevar a cabo la producción de

fuentes selladas se dispone de una instalación con dos celdas calientes, una de encapsulado y otra de control de calidad.

El otro radioisótopo de interés relevante que se produce en Argentina es Mo-99 de fisión. El Tc-99m, producto del decaimiento del Mo-99, es el radioisótopo más utilizado en medicina nuclear. Más del 70% de todos los procedimientos médicos de diagnóstico empleando radioisótopos hacen uso de él. Debido a su corto período de semidesintegración (6 hs.) y a los efectos de posibilitar su distribución, es comercializado en forma de un generador de Mo-99 / Tc-99m, siendo el de mayor difusión por diversas razones de orden técnico y económico el producido a partir de Mo-99 obtenido por fisión de Uranio.

La Argentina es uno de los pocos países productores de Mo-99 de fisión en el mundo. Actualmente el Mo-99 es producido a partir de la irradiación de blancos conteniendo Uranio altamente enriquecido (U-235 al 90%), pero debido a problemas de proliferación nuclear y a la escasa cantidad de dicho Uranio disponible en Argentina, se ha decidido encarar el cambio por Uranio de bajo enriquecimiento. Para ello se organizó un Proyecto que tiene como objetivos el desarrollo de la tecnología de producción de Mo-99 y otros radioisótopos de interés comercial (I-131, Sr-90, Cs-137, Xe-133) a partir de la irradiación de blancos de Uranio de bajo enriquecimiento, incluyendo la recuperación del Uranio irradiado.

Para realizar la producción rutinaria de Mo-99 de fisión se cuenta con una instalación con 6 celdas calientes de procesamiento radioquímico.

Otro radioisótopo de interés en Argentina es el I-123. El mismo sustituye al I-131 utilizado hasta el presente en estudios diagnósticos. Por su corto periodo de semidesintegración y la energía de la radiación gamma emitida, el I-123 permite reducir la dosis de radiación entregada a los pacientes. Pero para ello es necesario disponer de I-123 de alta pureza lo que sólo se consigue produciéndolo a partir de blancos gaseosos de Xe-124. En este caso, dada las dificultades del desarrollo de tal tipo de blancos, se convino en organizar las actividades como un Proyecto. Parte de este desarrollo es financiado por el Organismo Internacional de Energía Atómica, quien está interesado en su posterior transferencia a terceros países.

En los últimos años el F-18 y especialmente su molécula marcada FDG están revolucionando a la Medicina Nuclear. Esta molécula, análoga de la glucosa y por lo tanto interviniente en los procesos metabólicos que hacen uso de la misma, permite la visualización temprana de problemas funcionales, mucho antes de la aparición de cambios anatómicos, haciendo posible así diagnósticos más precisos y certeros. En este sentido se organizó un proyecto para la construcción de una estación de irradiación para la producción de F-18 y un módulo de síntesis automatizado para la producción de FDG.

Otro de los proyectos en marcha es el denominado Egipto. En este caso se trata de dar asistencia técnica a INVAP S.E., una empresa Argentina que exporta tecnología nuclear, durante la ejecución de su contrato con la Atomic Energy Authority de la República Arabe de Egipto para la provisión llave en mano de una Planta de Producción de Radioisótopos.

La asistencia solicitada consiste en el desarrollo de procesos radioquímicos para la producción de diferentes radioisótopos, el entrenamiento en instalaciones argentinas

del personal egipcio que operará la futura Planta y la puesta en marcha de la nueva Planta.

Para completar aquellos temas relacionados con la producción de radioisótopos, cabe mencionar que con el aumento de potencia del reactor RA-3, previsto realizar a corto plazo, Argentina está en camino de lograr su autosuficiencia, produciendo los radioisótopos que consume y generando saldos exportables. De igual manera produce localmente gran parte de los radiofármacos y juegos de reactivos que utiliza la Medicina Nuclear.

Aplicaciones en salud humana

Con respecto a las aplicaciones de los radioisótopos y de las radiaciones ionizantes, las mismas se extienden a diversos áreas.

Merece mencionarse en primer lugar las aplicaciones en salud humana. Su número se incrementa continuamente debido al desarrollo e implementación de nuevas tecnologías y procesos. A nivel mundial cada año se llevan a cabo más de 30.000.000 de procedimientos médicos haciendo uso de radioisótopos. En nuestro país cerca de 2.000.000 de personas son tratadas anualmente con radioisótopos y / o radiaciones ionizantes. A modo de ejemplo, en los países más industrializados una de cada tres personas que ingresan a un centro hospitalario es tratada con radioisótopos. En EE.UU. el ahorro por cirugías no practicadas como consecuencia de procedimientos médicos con radioisótopos alcanza los U\$S12.000.000.000.

Los radiofármacos son la principal aplicación de radioisótopos en el campo médico. Se emplean en medicina nuclear para el diagnóstico por imágenes de diversas enfermedades, detectándose por medio de cámaras gamma las radiaciones gamma emitidas por los radioisótopos distribuidos en los distintos tejidos del cuerpo humano luego de su aplicación.

El diagnóstico por imágenes nuclear es una técnica única que provee información anatómica y en ciertos casos también funcional. Se ha convertido así en una poderosa herramienta no invasiva que permite brindar información única acerca de procesos metabólicos y bioquímicos que ocurren en el cuerpo humano. Complementa, a su vez, otros métodos de imágenes tales como la radiología convencional, la tomografía axial computada, la resonancia magnética nuclear y el ultrasonido, los cuales proveen excelente información física y estructural. Adicionalmente el diagnóstico por imágenes nuclear es capaz de proveer información a nivel celular, reflejando la bioquímica local de tejidos enfermos o dañados. De esta manera el diagnóstico por imágenes nuclear juega un rol importante en la identificación de enfermedades y el conocimiento del funcionamiento de diversos órganos como el corazón, la tiroides, el riñón, el hígado y el cerebro entre otros, como asimismo diagnosticar un amplio rango de tumores.

La alta sensibilidad y especificidad de la técnica ofrece la importante ventaja de identificar enfermedades en estudios tempranos y seguir su evolución como asimismo proveer información predictiva para evaluar distintas alternativas de tratamiento.

Últimamente la marcación con radioisótopos de anticuerpos monoclonales y péptidos permite su empleo en oncología, el tratamiento de infecciones, inflamaciones, desórdenes, trombosis y otros casos.

En la República Argentina la Medicina Nuclear ha alcanzado ya en tiempos tempranos un alto grado de desarrollo, poseyendo además de un número importante de equipos para el diagnóstico por imágenes nuclear tradicionales, un tomógrafo por emisión de positrones (PET) único en Latinoamérica y uno de los tres equipos instalados en el hemisferio sur. Esta clase de tomografía permite la cuantificación mediante el empleo de radioisótopos emisores de positrones de período de semidesintegración muy corto, habiéndose convertido en los últimos años en una poderosa herramienta clínica asociada al empleo de FDG (F-18).

Además de su empleo en el diagnóstico por imágenes nuclear, los radiofármacos son utilizados en aplicaciones terapéuticas y como paliativos del dolor asociados a metástasis. Es bien conocido el empleo de I-131 en casos de hipertiroidismo y cáncer de tiroides. Otros radioisótopos son utilizados para el tratamiento de inflamaciones, infecciones y en procesos reumatóideos y para el tratamiento de varios tipos de cáncer que no responden a las terapias tradicionales.

Por su parte, el radioinmunoanálisis es una técnica utilizada en inmunología, medicina y bioquímica para cuantificar muy pequeñas cantidades de compuestos tales como enzimas, hormonas, vitaminas y esteroides en sangre, saliva y otros fluidos. Comúnmente es utilizada para el diagnóstico de enfermedades tales como diabetes, desórdenes tiroideos, problemas reproductivos y para la detección de marcadores tumorales.

En radioterapia se utiliza la radiación emitida por fuentes selladas de Co-60 y aceleradores lineales de electrones para la destrucción de células cancerosas (teleterapia), como asimismo se utilizan otros radioisótopos en forma de alambres, semillas y cápsulas, los cuales se implantan directamente en el tumor, donde pueden permanecer en forma continua hasta su total decaimiento o ser extraídos después de un cierto tiempo (braquiterapia). Recientemente se han comenzado a utilizar este tipo de fuentes para evitar la reestenosis de la arteria coronaria luego de producida su apertura (braquiterapia endovascular).

Merece mencionarse asimismo que CNEA se encuentra desarrollando un tratamiento binario como es la terapia por captura neutrónica en Boro (BNCT), para lo cual se ha implementado un haz de neutrones adecuado para realizar este tipo de tratamiento en el reactor RA-6.

Otra de las aplicaciones que se puede mencionar es el empleo de la radiación gamma emitida por el Co-60 para la radioesterilización de tejidos para injerto alográficos (piel, hueso, cartílagos, membrana amniótica).

Por último cabe mencionar el empleo de radioisótopos y técnicas analíticas nucleares en estudios nutricionales y toxicológicos.

Aplicaciones industriales

El uso industrial de los radioisótopos y de las radiaciones ionizantes cubre un amplio rango de aplicaciones: sistemas de instrumentación nucleónica (medición y

control de procesos industriales), procesamiento por radiaciones, radiotrazadores y ensayos no destructivos

Se emplean sistemas de instrumentación nucleónica como ser medidores de densidad, peso, espesor, humedad, nivel, interfase, concentración, haciendo uso de pequeñas fuentes radiactivas selladas. Se utilizan además para el análisis de materias primas minerales y para procesos cromatográficos de detección de sustancias en fase gaseosa.

Se utilizan radiotrazadores para localización de pérdidas y taponamientos en cañerías soterradas, medición de tiempos de residencia en reactores industriales, balance de Mercurio en celdas de producción de hidróxido de sodio, recuperación secundaria y asistida de petróleo.

Se usan fuentes intensas de radiación gamma como Co-60 y aceleradores de electrones para el procesamiento por radiaciones. Se trabaja en la radiopreservación de alimentos, en la radioesterilización de productos de uso médico y para el cuidado de la salud, en el tratamiento de residuos y efluentes y en el tratamiento de polímeros para mejorar sus propiedades u obtener nuevos productos.

Ejemplos de estas aplicaciones son la obtención de polvo de teflón utilizado como lubricante por depolimerización, la inmovilización de drogas en matrices poliméricas como sistemas de liberación sostenida, la radiovulcanización de látex de caucho natural, la producción de viscosa, la degradación de la celulosa, la polimerización por injertos para producir compuestos inteligentes que respondan a estímulos, la inhibición de la brotación de tubérculos y raíces (papa, cebolla y ajo), el retardo de la maduración o prolongación de la vida útil de frutas (frutilla), la inactivación de parásitos y agentes descomponedores y patógenos en alimentos, la esterilización de materiales descartables, fármacos, cosméticos, prótesis y equipos quirúrgicos, el tratamiento de residuos hospitalarios y tantas otras más.

Otro uso que se puede mencionar es el de control de insectos y plagas mediante la irradiación de pupas (técnica del insecto estéril).

Por último puede mencionarse que se utilizan fuentes selladas, principalmente de Ir-192, para análisis y ensayos no destructivos como es la gammagrafía o radiografía industrial que es aplicada por la industria del petróleo y del gas, automotor y aeronáutica entre otras. En esta categoría debe incluirse también la neutrografía o radiografía mediante el uso de neutrones.

Otras aplicaciones

Los radioisótopos son una poderosa herramienta de investigación y desarrollo de procesos.

En agricultura se usan fuentes radiactivas y radiotrazadores en el manejo de suelos (medidores de humedad y estudios de la erosión hídrica), en fertilidad de suelos y nutrición de cosechas (captación de Nitrógeno en trigo y medición de Fósforo residual en suelos) y en el control de insectos por medio de la técnica del insecto estéril como ya fuera mencionado (*Ceratitis capitata* y *Cydia pomonella*). A través del uso del radioinmunoanálisis se trabaja en sanidad animal (detección de Brucelosis en ovinos),

en nutrición animal (enteque seco) y en el control de enfermedades apícolas (Loque Americana).

En hidrología y medio ambiente se realizan estudios de aguas superficiales y subterráneas y de movimientos de sedimentos mediante el uso de radiotrazadores y se monitorea la contaminación atmosférica y de suelos y aguas por medio de técnicas analíticas nucleares.

Laboratorios de referencia y organismos de regulación y control

Todas las actividades antes mencionadas están soportadas por dos laboratorios de referencia: Metrología de Radioisótopos y Dosimetría de Radiaciones Ionizantes.

En Argentina, todas las aplicaciones de radioisótopos y de radiaciones ionizantes están reguladas y controladas por diversos organismos. Uno de ellos, la Autoridad Regulatoria Nuclear actúa desde el punto de vista de la protección radiológica, además de ser el organismo que otorga los permisos institucionales e individuales para el empleo de radioisótopos y radiaciones ionizantes en toda la República Argentina. Por su lado el Ministerio de Salud interviene tanto en lo que hace al ejercicio de la profesión (Dirección de Registro y Fiscalización de Recursos de salud) como asimismo a la producción y venta de radiofármacos, juegos de reactivos y tecnología médica (Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica). A su vez el Servicio Nacional de Sanidad Agroalimentaria regula la aplicación en temas relacionados con los alimentos.

La Autoridad Regulatoria Nuclear clasifica y agrupa a las pequeñas instalaciones que utilizan radioisótopos según su aplicación en:

Medicina Nuclear, Radioinmunoanálisis, Teleterapia, Braquiterapia, Medidores industriales, Equipos de gammagrafía, Centros de investigación e instituciones de docencia, Bases de exploración y explotación de petróleo, Otras instalaciones (cromatógrafos, irradiadores de sangre, densitómetros óseos, pequeños aceleradores de electrones).

Durante el último año los porcentajes de las diferentes licencias que se encuentran habilitadas fueron las siguientes:

- Licencias Institucionales, total: 1743
 - Medicina Nuclear 29,1 %
 - Teleterapia 6,9 %
 - Braquiterapia 6,6 %
 - Radioinmunoanálisis 22,9 %
 - Gammagrafía 3,5 %
 - Aplicaciones industriales 19,5 %
 - Investigación y docencia 6,3 %
 - Otras 5,2 %
- Licencias individuales, total: 2996
 - Medicina Nuclear 14,7 %
 - Teleterapia 8,0 %
 - Braquiterapia 4,1 %

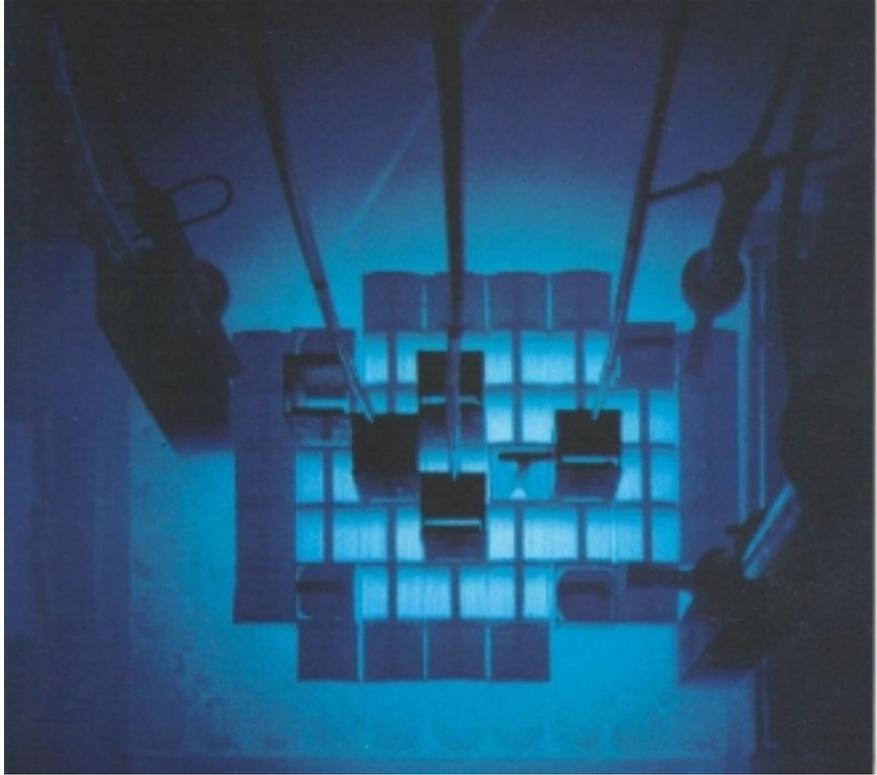
Radioinmunoanálisis 17,5 %
Gammagrafía 4,4 %
Aplicaciones industriales 30,4 %
Investigación y docencia 15,1 %
Otras 5,8 %

Asimismo existen en el país la siguientes cantidad de centros y equipos:

- Medicina Nuclear
Centros de diagnóstico y tratamiento 313
Centros de radioinmunoanálisis 414
Cámaras gamma 202
SPECT 136
PET 1
- Radioterapia
Centros de teleterapia 90
Centros de braquiterapia 92
Equipos de Co-60 84
Aceleradores lineales 50
- Medidores industriales
Empresas 295
Equipos 1205
- Gammagrafía
Empresas 55
Equipos 287
- Investigación y docencia
Centros 65
- Exploración y explotación de petróleo
Bases 53
- Otras instalaciones
Cromatógrafos 78
Irradiadores de sangre 5
Densitómetros óseos 8
Pequeños aceleradores de electrones 2

Para finalizar, cabe mencionar que Argentina ha exportado a diversos países tecnología relacionada con la producción de radioisótopos, entre otros a Perú (reactor nuclear de investigación RP-10 y Planta de Producción de Radioisótopos), Cuba (Planta de Producción de Radioisótopos), Argelia (reactor nuclear de investigación NUR) y Egipto (reactor nuclear de investigación y Planta de Producción de Radioisótopos). Además, durante el presente año la empresa INVAP S.E. ganó una licitación internacional para proveer un reactor nuclear de investigación a Australia.

Reactor RA-3



Medicina Nuclear – Cámara Gamma



Radioterapia – Acelerador Lineal



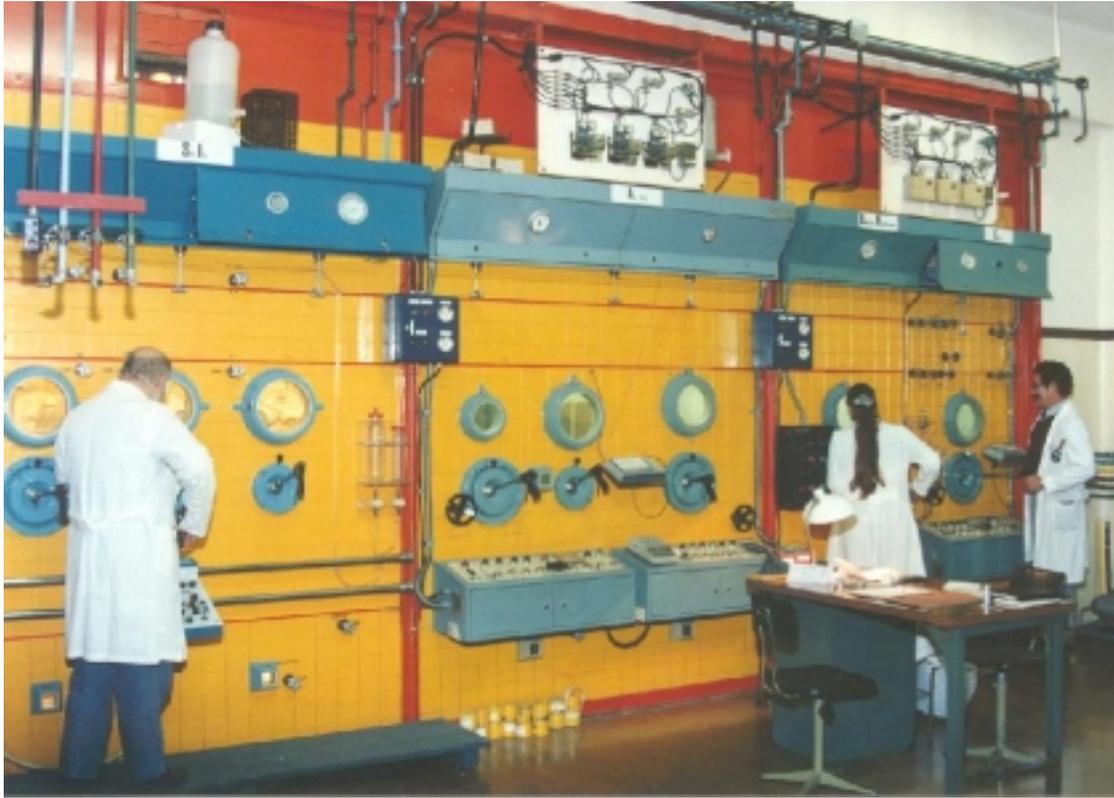
Central Nuclear Embalse



Ciclotrón de Producción



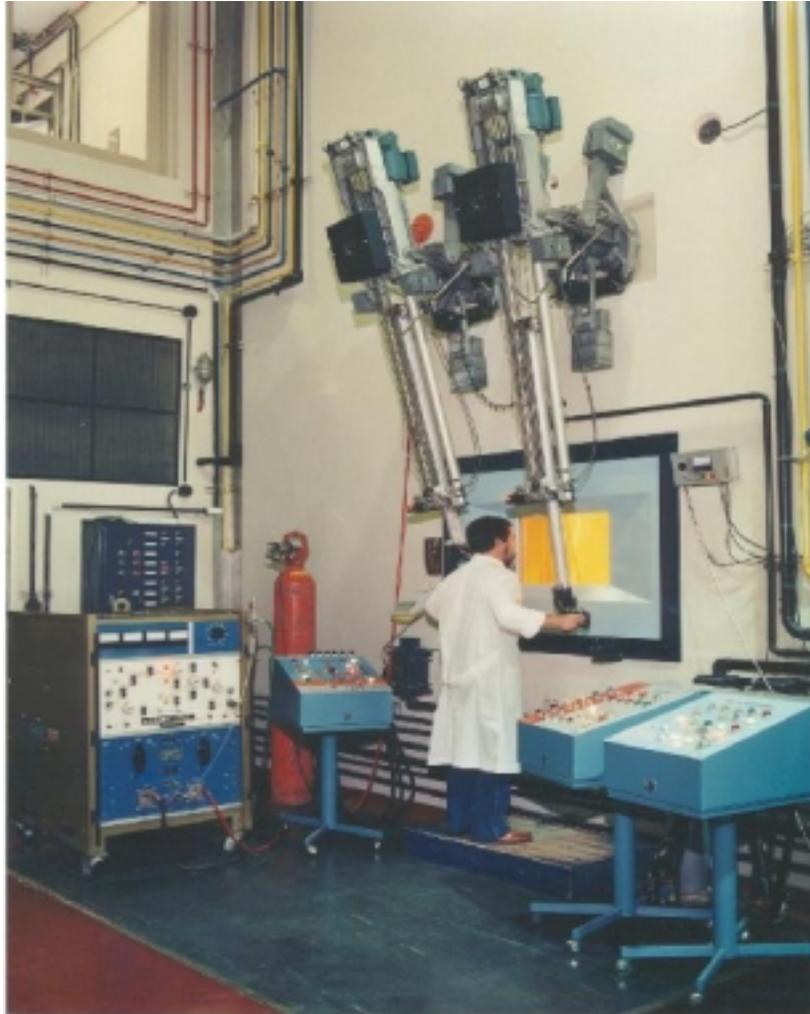
Producción de Radioisótopos



Planta de Irradiación Semi-industrial



Planta de Encapsulado de Cobalto 60



Producción de Molibdeno 99

