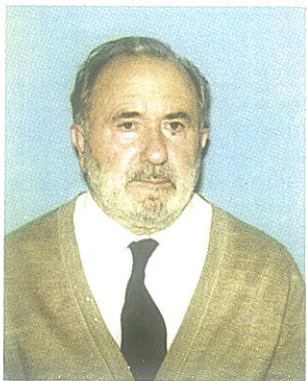




Francisco ALCALA RUIZ es licenciado y doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid y trabaja en el CIEMAT-JEN. Durante trece años ha sido supervisor de reactores experimentales y desde 1974 participa regularmente en misiones como experto y consultor del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre temas de diseño, utilización y seguridad de reactores experimentales.



Miguel BARRACHINA GOMEZ es doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Madrid. Ha sido Jefe de la División de Isótopos y Miembro de la Dirección Científica de la JEN. Ha participado como Experto del OIEA en varias misiones hispanoamericanas y ha representado a España en grupos de trabajo del Programa Europeo de Fusión.

PANORAMICA DE LAS APLICACIONES DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

INTRODUCCION

En el presente artículo, se intenta hacer una breve exposición de las aplicaciones no energéticas de la tecnología nuclear, es decir, de aquellas que tienen su fundamento en las radiaciones emitidas por los radionucleidos naturales y artificiales o en las inducidas a través de dispositivos aceleradores de partículas cargadas eléctricamente (aceleradores y aparatos generadores de rayos X).

Las aplicaciones de las radiaciones son todos aquellos procedimientos instrumentales que, teniendo por objeto alguna finalidad práctica, están basados:

- En la información que proporcionan los detectores acerca de las radiaciones emitidas por los radionucleidos o por otras fuentes, y
- En la alteración de las propiedades físicas, químicas o biológicas que las radiaciones provocan en los sistemas materiales sometidos a su irradiación.

La mayor parte de las aplicaciones caen dentro del primer grupo. El análisis de las señales de los detectores permite obtener información sobre el sistema material donde se encuentran los átomos radiactivos o sobre el sistema material sometido a irradiación de partículas o de radiaciones electromagnéticas.

En el segundo grupo de aplicaciones, se aprovechan generalmente los efectos químicos inducidos por las radiaciones en los sistemas materiales sometidos a ellas; estos efectos químicos

equivalen a modificaciones en su composición química sin adición de reactivos.

Las aplicaciones de las radiaciones vienen caracterizadas, tanto por el tipo de radiación y su origen de producción como por los campos o subcampos en los que tienen lugar dichas aplicaciones. Las radiaciones usadas suelen ser de tipo electromagnético, de origen nuclear (radionucleidos) o de enfrentamiento de partículas cargadas (rayos X) o, simplemente, haces de partículas cargadas, haces de neutrones, etc. El presente trabajo se centrará principalmente en las radiaciones nucleares emitidas por los radionucleidos o radisótopos, cuya fuente principal de producción son los reactores nucleares o los aceleradores.

Los campos de aplicación son muy variados, pero se suelen agrupar en los siguientes: sanitario (medicina nuclear, farmacología); industrial (técnicas de análisis no destructivo, seguimiento de procesos, dopados de materiales semiconductores, esterilización de material médico, conservación de alimentos); obras públicas (hidrología y meteorología); agrícola y biológico (lucha contra plagas, procesos de asimilación, dispersión de partículas), y científico y técnico (biología molecular, cinética de las reacciones químicas, física de los haces de partículas cargadas y neutras, desarrollo de materiales específicos).

En lo que sigue, se describirán las aplicaciones citadas más importantes y se mostrará una panorámica histórica del desarrollo del sector de los radisótopos y sus aplicaciones en España.

APLICACIONES BASADAS EN EL ANALISIS DE LAS SEÑALES DE DETECTORES DE RADIACIONES

Un primer ejemplo puede ser el empleo de los *trazadores radiactivos*; son átomos radiactivos o moléculas marcadas en estado "libre" que se incorporan a sistemas dinámicos (como pueden ser los organismos vivos, los procesos industriales o naturales, o simplemente los "experimentos" de investigación científica y técnica) para proporcionar información sobre los fenómenos metabólicos, de mezcla, de difusión, etc. que en ellos ocurren.

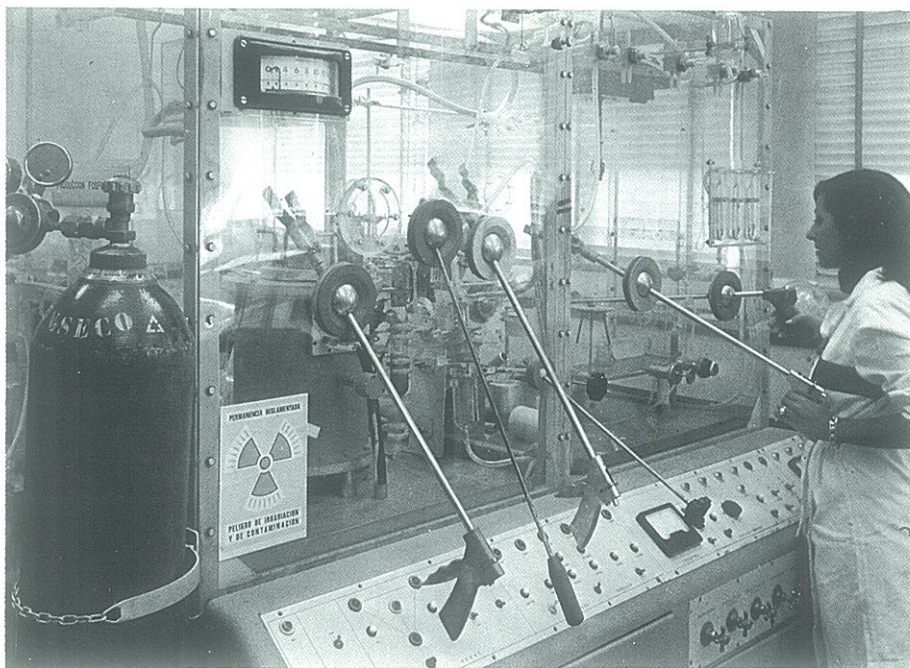
Evidentemente, el comportamiento de los trazadores radiactivos en aquellos sistemas dependerá de la forma química en que éstos se encuentren; de ahí que la preparación del material radiactivo, desde su producción hasta el "marcado", sea la etapa más delicada en todas las técnicas de empleo; de esto se encargan los profesionales que trabajan en radioquímica y radiofarmacia, ramas que constituyen especialidades impartidas en las universidades de todos los países desarrollados.

Especial importancia tienen las aplicaciones en *diagnóstico médico*. Cuando se trata de realizar un *diagnóstico in vivo* se le suministra al propio paciente el preparado farmacéutico marcado (radiofármaco), el cual, en su metabolismo, se fija selectivamente en un órgano, permitiendo su visualización con auxilio de un equipo detector: gammacámara o cámara de Anger (1963), cámara de positrones (1983), etc.

Sin embargo, el sistema material objeto del trazado radiactivo no tiene que estar constituido necesariamente por un organismo vivo o por un proceso industrial o natural complejo; puede ser, simplemente, una parte representativa del mismo (muestra). En ella es susceptible de practicarse la dilución isotópica de un compuesto marcado, dando lugar a las técnicas llamadas *radioanalíticas* tales como se usan en el *diagnóstico médico in vitro*: el empleo de antígenos (*) marcados (radioinmunoanálisis o RIA) permite determinar pequeñas concentraciones de toxinas, hormonas y drogas en medios muy complejos como la sangre, tejidos, etc. Todas estas técnicas han supuesto una enorme revolución tanto en la clínica médica como en la veterinaria y han sido el origen de la Medicina Nuclear, subsector donde se encuentran las más importantes aplicaciones de las radiaciones nucleares.

En las etapas iniciales de la Medicina Nuclear —recuérdese que el primer su-

(*) Sustancias que el organismo reconoce extrañas y que provocan una reacción inmunológica (producción de anticuerpos específicos) para su eliminación.



F Celda de producción de fósforo-32

ministro de un producto radiactivo con fines médicos (1 mCi de C-14 enviado desde Oak Ridge N. L. al hospital de San Luis en Missouri) tuvo lugar en 1946 y que la primera vez que en radioterapia se sustituyeron las agujas de radio por Co-60 fue en 1948 (hospital del estado de Ohio)— se emplearon como radiofármacos simples disoluciones acuosas de muy diversos radisótopos, así como moléculas marcadas de las cuales se sabía que eran metabolizadas selectivamente por un órgano determinado. Por ejemplo: disoluciones acuosas de I-131 en forma de yoduro para visualizar el tiroides; diuréticos como el neohidrin marcado con Hg-203 e hipurán con I-131 para el riñón; coloide de oro marcado con Au-198 para el esqueleto, etc.

Posteriormente, el número de radisótopos utilizados como trazadores se fue reduciendo paulatinamente como consecuencia de la búsqueda de un radiofármaco ideal, es decir, un radiofármaco que permitiera obtener la imagen de mejor calidad del órgano explorado en las mejores condiciones para el paciente y personal sanitario.

Actualmente se realiza la práctica totalidad de las exploraciones de la Medicina Nuclear con unos pocos radisótopos. Sin duda el más importante es el Tc-99 m con cuyos radiofármacos se llevan a cabo el 80% de las exploraciones in vivo del paciente. En RIA es utilizado el I-125. Otros radionucleidos importantes son los producidos por acelerador (al contrario de los citados anteriormente que se fabrican en los reactores nucleares, excepto el I-125 que puede ser obtenido de ambas

fuentes) tales como el I-123 (de trece horas de período fuente a los ocho días del I-131), el Ga-67 (setenta y ocho horas), usado en la detección de procesos inflamatorios y tumorales; Tl-201 (setenta y cuatro horas) de uso específico en la detección de lesiones cardiovasculares, etc.

Especial mención en el sector de los radisótopos merece la aplicación de radionucleidos de período corto (minutos) emisores de positrones que ha revolucionado recientemente (1983) la visualización anatómica y funcional del organismo humano: la *tomografía de emisión positrónica* (PET). Los radisótopos citados emiten positrones que sufren reacciones de aniquilación con electrones dando lugar a sendos fotones de 0.51 MeV en direcciones opuestas. De este modo, la detección en coincidencia de estos fotones permiten con el auxilio de una potente informática, tomografiar un órgano, convertido circunstancialmente en fuente emisora como consecuencia de la absorción del radiofármaco.

Los trazadores radiactivos no solamente encuentran aplicaciones en la medicina, sino también en otros muchos campos. Como ejemplos se pueden citar la medida de caudales en corrientes superficiales, fugas de aguas embalsadas, de gas en canalizaciones de ciudad, búsqueda de acuíferos, etc. En investigación agrícola se realizan estudios de fisiología vegetal, movimiento de oligoelementos en suelos, acción de herbicidas, etc.

Otras aplicaciones de tipo instrumental son las derivadas del uso de *fuentes encapsuladas*, en las cuales el material

radiactivo se encuentra confinado herméticamente. Estas fuentes se sitúan en secciones estratégicas de procesos productivos y proporcionan información continua sobre el medio que fluye o permanece entre la fuente y el detector; con ello se posibilita la actuación de servomecanismos correctores de toda desviación prevista. Los medidores de espesor en la industria del papel y laminados, los medidores de espesor empleados en la automoción de sistemas repetitivos (almacenamiento, moldeo, envasado, etc.), las sondas usadas en testificación de sondeos, los sensores de rechazo de estériles en la minería extractiva, etc. son muestras del empleo de estas fuentes radiactivas.

El uso de fuentes de Ir-192 para *gamagrafía* y de equipos de generación de rayos X duros para *radiografía industrial* es otro ejemplo típico del uso de las radiaciones en los campos de la soldadura y de detección de defectos en sistemas y componentes.

APLICACIONES BASADAS EN LOS EFECTOS DE LAS RADIACIONES EN LA MATERIA

Estas aplicaciones sacan partido del *depósito de energía* (dosis) por las radiaciones en los sistemas materiales sometidos a su acción. De hecho, la energía depositada puede dar lugar a *efectos químicos*, es decir, crear o destruir enlaces químicos o también puede desplazar átomos de sus posiciones reticulares. La polimerización, injerto y reticulado de plásticos son buen ejemplo de lo primero y la implantación de iones para modificar las superficies metálicas, de lo segundo.

En el caso de irradiación con haces de partículas se pueden producir *transmutaciones* que dan lugar a nuevos átomos en el material blanco o a la emisión de radiaciones características. *El dopado de materiales semiconductores* por irradiación neutrónica (transmutación de un átomo de la red cristalina en otro donador de electrones de conducción) o la incipiente terapia con partículas o con rayos X ultraduros son ejemplos típicos de esta clase de aplicaciones.

Otras veces, la energía depositada en el sistema es utilizada para hacer reactivos sustancias que se desea eliminar (contaminantes), como los óxidos de azufre y nitrógeno de las centrales térmicas de combustibles fósiles.

Cuando el sistema material posee algún tipo de actividad biológica (organismo viviente, contaminación microbiana), los efectos químicos afectan, en primer lugar, a las grandes estructuras moleculares que soportan la vida como

TABLA A.1
MUESTRAS IRRADIADAS EN EL NUCLEO DEL REACTOR JEN-1

AÑOS	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	totales por sustancias
Oro en láminas	22	46	32	34	36	51	50	43	25	15	38	44	41	38	40	43	38	42	38	716
Oro en gránulos	48	46	26	19	31	29	19	25	18	8	22	27	23	10	3	11	26	6	5	402
Azufre	109	38	22		15	22	10	12	6	4	9	11	8	8	9	7	7	8	9	314
Iridio (alambres)	2	2	4	2	7	9	17	11	4		18	20	16	20	18	15	7			172
Iridio (fuentes)	15	4	1	4		6	16	17	19	1	1					9		3		96
Bromuro potásico							26	5			7	4	31	20	26	5	12	3	3	142
Oxido de Teluro				13	1			48	26	11	9	1				2		19	2	132
Acido Telúrico	6	41	53	69	77	71	93	69	42											521
Oxido de Mercurio	2	1	2	13	11	19	14	6	1	3	2	3				4		5		86
Cloruro potásico	16	13	1		3	4				1	4	2	5	2	1	6		2		60
Cobalto y Oxido de Co		5		5	1		2	4	3			6	2			3		1	2	34
U y compuestos	1	2	5	15			1	4				65						1		94
Oxido de hierro		1	2			2							2			1	1			11
Cromato potásico	12	25	33	28	32	12	2		1							1				146
Ferrocianuro potásico		10	7		2		1													20
Antimonio	5	4		1	5	3	3	5	1		1	6	1					3		38
Bromuro amónico		1		1	29	1	14													46
Nitrato de aluminio			2	2	12											6				22
Otras	34	5	12	12	12	17	12	34	11		1	12	4			11	7			184
Totales por año	267	243	195	201	271	247	255	318	176	45	95	186	148	98	101	126	105	99	60	3.236 TOTAL

el DNA, proteínas, etc. y se manifiestan como *efectos biológicos*; tales son la pérdida de capacidad reproductora, la aparición de mutaciones, etc., en sistemas biológicos elementales, los cuales dan lugar a importantes *aplicaciones radiobiológicas* como la esterilización microbiana o la radioterapia oncológica. Para ello se requiere la utilización de fuentes intensas de radiación (habitualmente del orden de cientos de miles de curios) como el caso de los *irradiadores gamma* de Co-60 o Cs-137, para uso industrial o sanitario, y de las unidades de *cobaltoterapia*, las cuales se pueden encuadrar en el subsector de la Medicina Nuclear. En los primeros se persigue la reducción de la carga microbiana en productos que requieren alto grado de asepsia (material de uso médico, alimentos) o en sistemas que, por su función, acumulan una elevada concentración de patógenos (depuradoras, abonos, afluentes). Con las fuentes de Co-60 se intenta el control de neoplasias tumorales, con evidentes muestras de éxito en muchos casos.

CONSIDERACIONES FINALES

Las aplicaciones no-energéticas, como habrá podido apreciarse en esta somera descripción, constituyen un conjunto amplio de técnicas, susceptibles de aplicación en cualquier campo imaginable y, por ende, fuente inagotable de innovación tecnológica.

La investigación, por otro lado, de los mecanismos que gobiernan los procesos físicos, químicos y biológicos es también largamente tributaria de las aplicaciones de los isótopos y de las radiaciones, los cuales han contribuido a esclarecer gran parte del conocimiento que ahora se posee sobre el mundo material que nos rodea.

Algunas de las aplicaciones no energé-

ticas han adquirido naturaleza rutinaria en la industria y en la medicina, sobre bases puramente económicas y comerciales. Tal es el caso de los productos irradiados como la polimerización de plásticos y la esterilización del material médico, la utilización de radiofármacos para el diagnóstico por técnicas nucleares, el empleo de fuentes de cobalto-60 en la radioterapia y el de fuentes encapsuladas para la automoción de sistemas. Otras aplicaciones están en ciernes de afianzamiento industrial, como la conservación de alimentos, la esterilización de lodos de depuradoras, el tratamiento de efluentes contaminantes, etc. El volumen económico de las aplicaciones ya en curso, se cifra en el mundo en varios millares de millones de dólares anuales.

Naturalmente, el despliegue de las aplicaciones requiere una infraestructura de laboratorios (instalaciones radiactivas), equipos (detectores y celdas) y servicios (radioprotección y gestión de residuos), sin la cual no cabe pensar en poder sacar partido al empleo de las radiaciones. Todo ello, por supuesto, bajo la vigilancia de un organismo que regule el buen uso de las sustancias radiactivas.

La provisión de estas sustancias, cumpliendo estándares de calidad acordes con su aplicación, es una faceta digna de consideración, ya que el carácter perecedero de las mismas obliga a un fuerte acoplamiento entre la producción y el consumo, especialmente en los casos en que las sustancias tengan un fuerte decaimiento temporal (períodos cortos) o tengan que aplicarse en lugares distantes del centro productor. Así, si un país no tiene producción propia, todas las aplicaciones tendrán que basarse en operaciones de importación, tropezándose con el límite natural de aquellas que, por su corto período (menor de un día, póngase por

caso), no son susceptibles de suministro exterior. Ello es sumamente importante en lo que a los radiofármacos se refiere, porque la tendencia actual, gracias a la celeridad de los procesos electrónicos e informáticos, apunta hacia el empleo de trazadores de períodos cada vez más cortos, por ser los que menores problemas presentan desde los puntos de vista de los residuos radiactivos, de la contaminación ambiental o de la irradiación del paciente.

En España están cubiertas las aplicaciones que utilizan sustancias radiactivas de período largo, siempre recurriendo a su importación, que superaba los mil millones de pesetas FOB en 1982 (ver APENDICE), por no disponer actualmente de los medios de producción necesarios, cual son los reactores nucleares de investigación, aceleradores de partículas y laboratorios radioquímicos. Por otra parte, la falta de producción propia de radisótopos excluye las cada día más interesantes posibilidades de aplicación de los de período corto.

Tales posibilidades se han perdido definitivamente para España al haber anunciado recientemente (*El País*, 16/2/87) el CIEMAT (antigua Junta de Energía Nuclear) el desmantelamiento del único reactor productor de radionucleidos existente en nuestro país, el reactor JEN-1, en el cual desde 1984 se estaba llevando a cabo un proyecto de actualización con el fin, entre otros muchos, de conseguir aumentar su producción. Esta producción había llegado a ser importante al final de los años sesenta, habiéndose llegado a un autoabastecimiento de más del 70% de la demanda total (ver APENDICE).

APENDICE: LA PRODUCCION Y EL MERCADO DE RADISOTOPOS EN ESPAÑA

GENERALIDADES

Las dos fuentes principales de producción de radisótopos son los reactores nucleares y los aceleradores de partículas. Estos últimos participan en la producción masiva para uso médico desde hace un par de lustros. Su introducción se debió al hecho de haber encontrado aplicación a unos cuantos isótopos (I-123, Ga-67, Tl-201, etc.) que compiten favorablemente con otros producidos en reactores nucleares por su más corto período de desintegración y menor energía de los fotones emitidos, todo lo cual implica un menor riesgo de irradiación para el paciente y para el personal sanitario que los ha de aplicar.

Sin embargo, los radisótopos producidos actualmente en reactores nucleares siguen dominando el mercado de

las aplicaciones médicas y constituyen la única fuente de isótopos radiactivos para uso industrial.

La producción de radisótopos en España se ha realizado en el reactor experimental JEN-1, propiedad de la antigua Junta de Energía Nuclear (hoy CIEMAT), desde prácticamente el año 1958 en que comenzó a funcionar. Sin temor a exagerar se puede afirmar que el desarrollo de las aplicaciones de los radisótopos en nuestro país ha estado íntimamente relacionado con la actividad de producción de este reactor y de los laboratorios de radioquímica anejos al mismo. Es más, la evolución histórica del mercado español de radisótopos también ha estado relacionada con la historia de este reactor.

EL REACTOR EXPERIMENTAL JEN-1. BREVE HISTORIA DE SU UTILIZACION COMO PRODUCTOR DE RADISOTOPOS

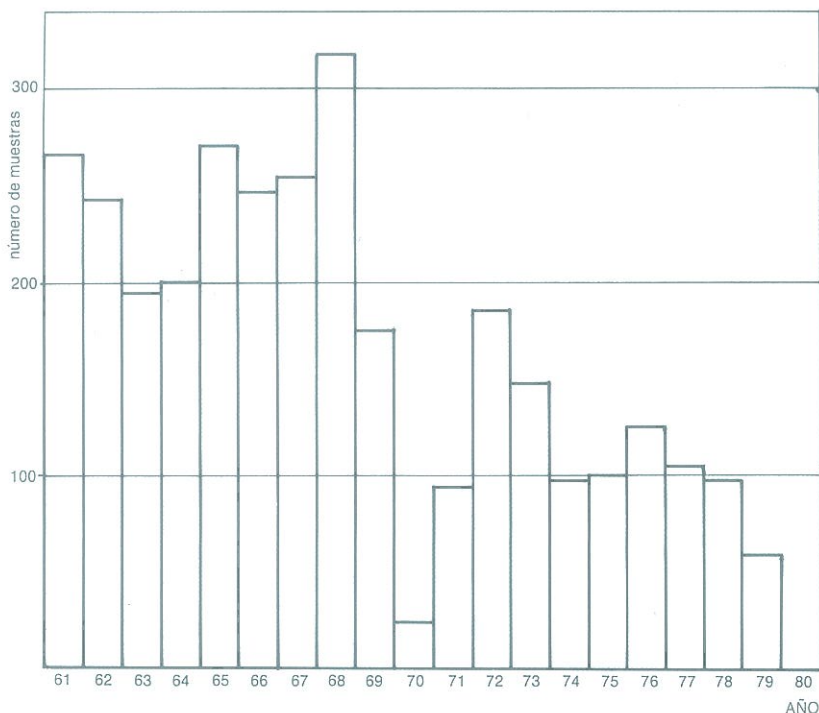
El reactor JEN-1, situado en los terrenos que el CIEMAT tiene en la Ciudad Universitaria de Madrid, es un reactor experimental de 3 MWt de tipo piscina. Aunque como tal reactor experimental ha sido operado con multitud de propósitos (estudios de materiales nucleares, prueba de elementos combustibles, física de neutrones, análisis por activación, neutrografía, etc.), su principal utilización, por supuesto en merma de otras, ha sido como productor

de radisótopos. Con este fin era operado durante diez o doce horas diarias, cinco días por semana, a 2 MWt de potencia.

En la tabla A.I (tomada del trabajo *Veintidos años de funcionamiento del reactor JEN-1*, de V. Alcobér Bosch, OUR/52, JEN, julio de 1981) se muestra una relación de materiales irradiados durante el periodo 1961-79 para producción de radisótopos y en la figura A.I (*op. cit.*) el histograma del número de muestras de dichos materiales que fueron irradiadas. Como se puede observar en dicha figura aparecen dos fechas clave que determinan dos "épocas" de la vida del reactor como productor.

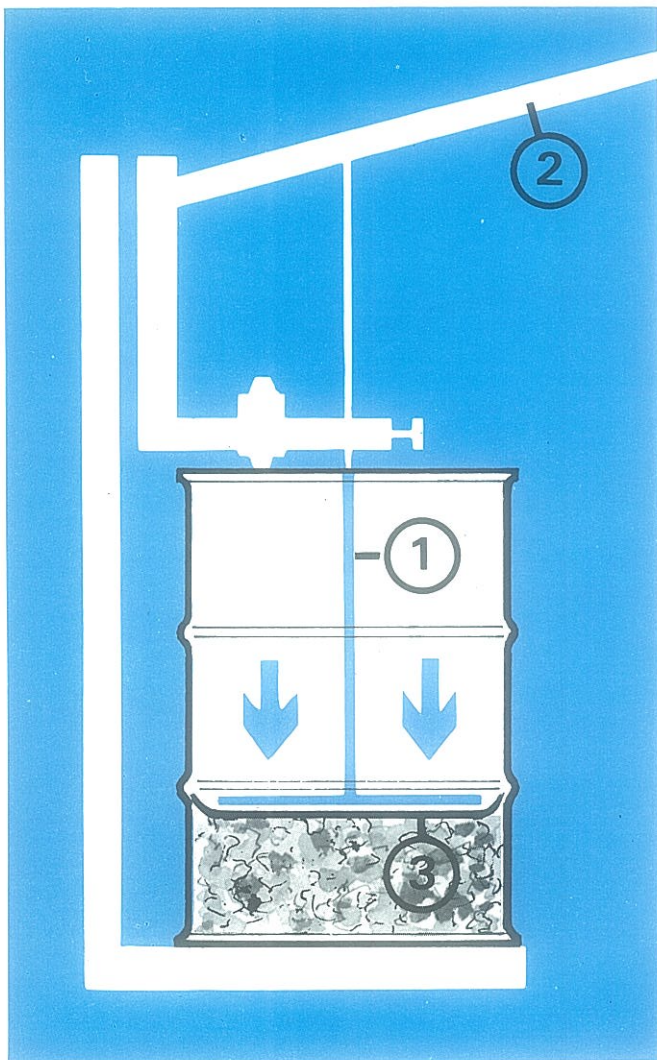
En el bienio 1970/71 el reactor estuvo parado durante muchos meses a causa de un proyecto de modificación. Este periodo fue seguido de una reducción en su producción que se prolongó hasta el año 1980, fecha en que fue parado de nuevo por motivos administrativos. Desde esta última fecha el reactor solamente ha operado en contadas ocasiones a 100 MWt, por lo que su producción de radisótopos ha sido casi nula. Finalmente, a principios de 1984 se paró definitivamente para llevar a cabo sobre él un proyecto de actualización, el cual contemplaba, entre otros objetivos, su potenciación como productor de radisótopos. Cuando dicho proyecto estaba a punto de concluir (realización próxima al 75%) se

F A I Muestras irradiadas en el núcleo del reactor JEN-1.



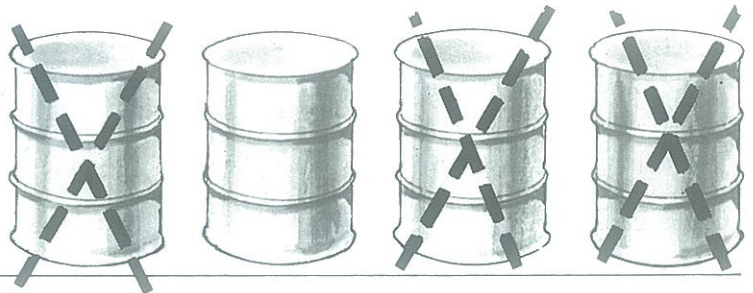
DISCOFU

Licencia CEA



1. Pistón compactador.
2. Palanca manual.
3. Pretapa deformable, que se bloquea contra la pared del bidón.

MULTIPLICA POR CUATRO LA CAPACIDAD DEL BIDON



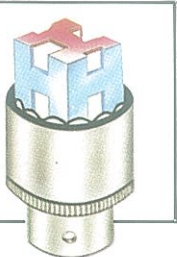
EL DISCOFU permite obtener una tasa de llenado óptima de los bidones de almacenamiento, de 100 a 200 litros, destinados a evacuar los desechos compactables dudosos, tales como ropas de trabajo, cubrebotas, paños, cartones, hojas de plástico, etc.

De esta forma se realiza una reducción sustancial del volumen de desechos a eliminar y de su costo de evacuación.

Según la naturaleza de los desechos, la capacidad de los bidones puede multiplicarse por 3 ó 4.

APLICACIONES

DISCOFU se utiliza en las centrales nucleares, instalaciones radiactivas, centros hospitalarios, industrias químicas, petroquímica, farmacéutica, etc.

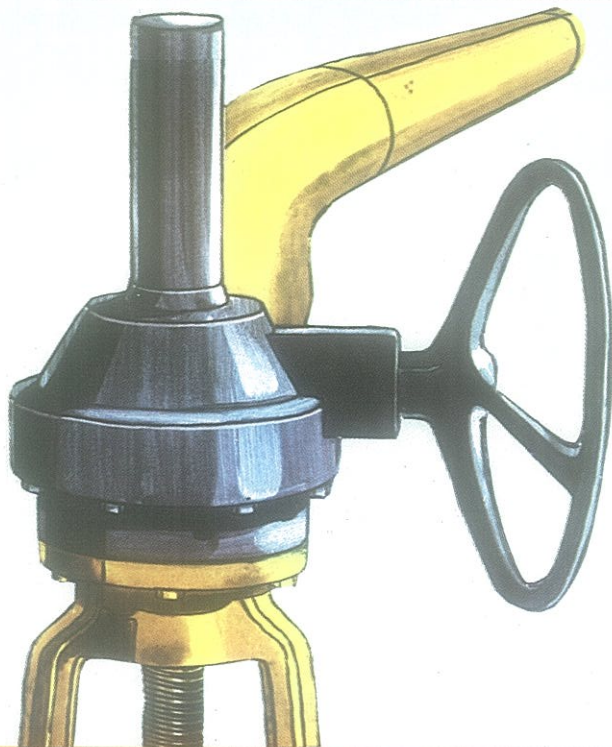


REPRESENTANTE EXCLUSIVO
PARA ESPAÑA Y PORTUGAL

HMYC



DEPARTEMENT PROTECTION



ACTUATOR, S.A.

Carretera de Castellón Km. 4,800
Polígono Industrial San Valero, 7
50013 Zaragoza - Tel. 42 13 00
Telex 58799



Hemos suministrado MANDOS
A DISTANCIA y ACTUADORES para todas
las CENTRALES NUCLEARES de ESPAÑA.

Accionamiento de Válvulas

Actuadores mecánicos
Actuadores neumáticos
Mandos a distancia
Ingeniería de diseño y campo
Montaje



nps

nps ibérica, s.a.
licencia nps industries, inc.

Carretera de Castellón Km. 4,800
Polígono Industrial San Valero, 7
50013 Zaragoza - Tel. 42 13 00 - Telex 58799

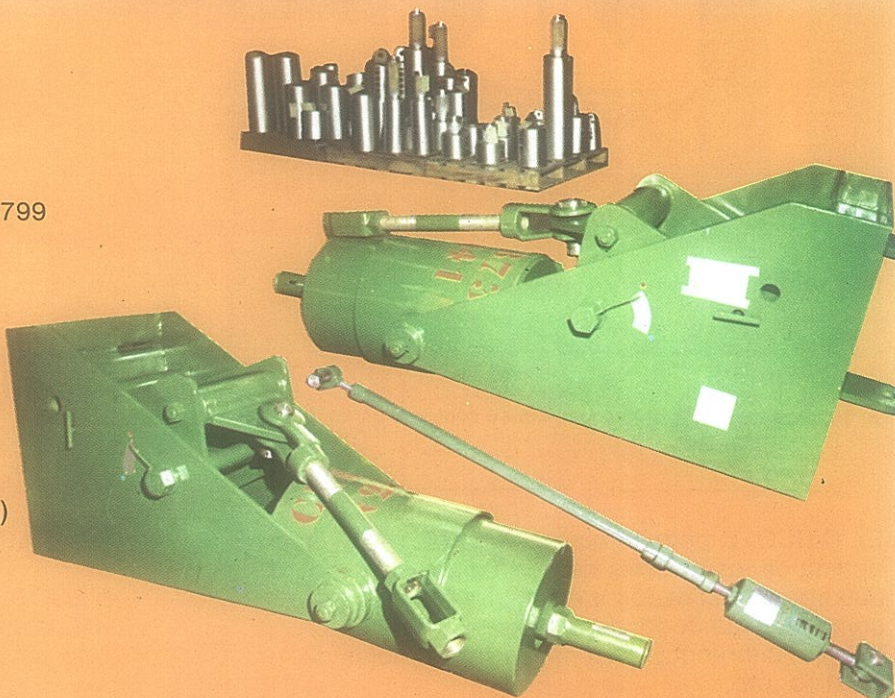
Desde su fundación presentes en
todos los proyectos de Centrales
en España.

Soportes para tuberías y equipos

Soportes rígidos
Soportes elásticos
Snubbers hidráulicos (Paul-Munroe)
Snubbers mecánicos (Anchor/Darling)
Antilátigos

Servicios

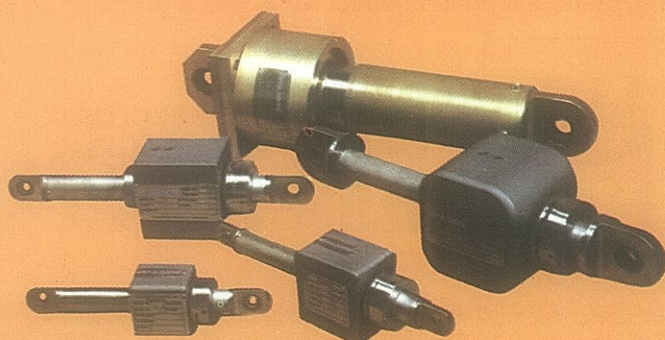
Ingeniería de soportaje
Ingeniería en campo



**Pipe Support
Snubbers**



**Anchor/Darling
Mechanical Snubbers**

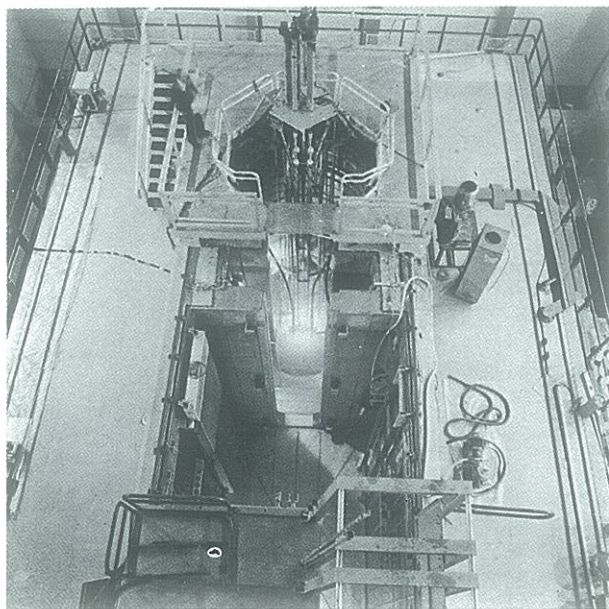


tomó la decisión de su definitiva clausura y, por tanto, el aparente final de la producción española de estas sustancias.

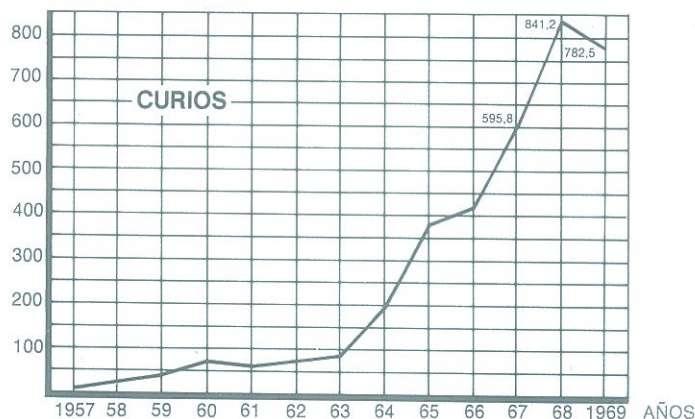
Durante la primera época de su historia, el reactor JEN-1 fue aumentando su producción de acuerdo con la demanda de radisótopos por la sociedad española (Fig. A.II). En esta época se llegó a abastecer un 70% de la demanda total. En la figura A.III se puede ver la actividad también creciente de los laboratorios de radioquímica, y preparación y distribución de radisótopos de la JEN.

Sin embargo, el comienzo de su segunda época estuvo condicionado por dos sucesos importantes. El primero fue el proyecto de modificación ya citado. Con objeto de potenciar su capacidad de reactor experimental de prueba de materiales (para dar respuesta a la demanda de nuestra incipiente tecnología nuclear en su vertiente de aplicaciones energéticas) se desarrolló un proyecto que mermó su capacidad productiva en varios aspectos sin haber conseguido su objetivo principal. Además, la interrupción de la producción ocasionó la falta de confianza y consiguiente pérdida irreversible de usuarios. El segundo suceso importante fue la entrada en vigor del Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (Decreto 2869/1972 de 21 de julio, BOE núm. 255, de 24 de octubre de 1972). Este decreto supuso, de hecho, la liberalización del mercado español de radisótopos como se puede observar (Fig. A.IV) del aumento, experimentado a partir de 1973, de las importaciones de estas sustancias realizadas por las empresas privadas, nacidas bajo sus auspicios: una de las ocho compañías importadoras más importantes posee licencia desde marzo de 1973, otra desde noviembre de 1974, tres son de 1976, dos de 1977 y la restante de 1979. A partir de 1973 la demanda de sustancias radiactivas por la sociedad española fue muy grande y la pequeña capacidad de producción del reactor JEN-1 tal cual estaba siendo operado, unida a la poca agresividad comercial de la JEN, no pudieron hacerle frente. No obstante, la pérdida del mercado español de radisótopos por parte de la JEN (aún responsable por la Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear de todo lo relativo a su producción y fomento del desarrollo de sus aplicaciones) no se debió solamente a las razones apuntadas anteriormente. Otra de las causas fundamentales fue el claro abandono del sector por parte de las autoridades, hecho que se ha producido también, desgraciadamente con bastante frecuencia, en otros sectores del desarrollo de la tecnología nuclear española. Por aquel entonces ni se

F II Vista general del reactor JEN-1. En el centro se puede observar el núcleo, lugar donde se irradian las muestras para producir radisótopos, rodeado por un halo azulado que corresponde a la radiación producida por efecto Valilov-Cherenkov



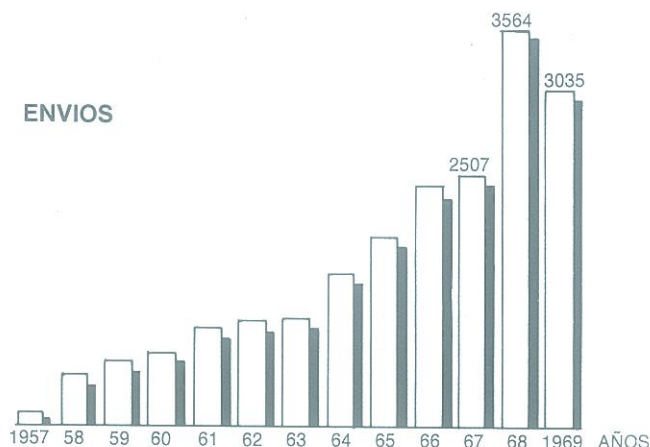
DISTRIBUCION DE ISOTOPOS RADIATIVOS



F AII Evolución de la actividad de los radisótopos preparados por la JEN durante la primera "época" del reactor JEN-1.

F AIII Evolución de los envíos suministrados por los laboratorios de isótopos de la JEN durante la primera "época" del reactor JEN-1.

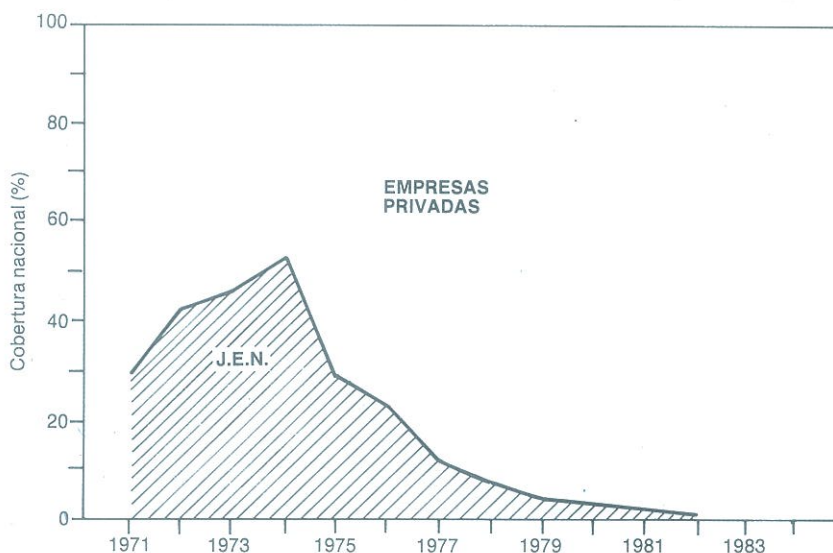
ENVÍOS



hizo nada por optimizar la producción del propio reactor ni la de los laboratorios de radioquímica (por ejemplo, no se llegó a fabricar Tc-99, el cual estaba comenzando a ser demandado por la sociedad en todo el mundo).

El penúltimo esfuerzo por recuperar el tiempo perdido en este campo (y en otros de la tecnología nuclear) se intentó con la solicitud de creación del Centro Nacional de Energía Nuclear de Soria (febrero de 1977), el cual fue autorizado en 1980 (Orden ministerial de 10 de octubre, B.O.E. Núm. 258 de 27 de Octubre de 1980). En este segundo centro de la JEN se debería construir el nuevo reactor experimental JEN-III de 20 MWt, cuyo diseño básico se había realizado en 1976, y los nuevos laboratorios de producción de radisótopos que podrían hacer frente a la demanda nacional e incluso se podría intentar la exportación. Sin embargo, como de costumbre, este proyecto fue abandonado y se perdió la penúltima oportunidad de recuperar la posición alcanzada en épocas anteriores y que ya se había perdido.

Finalmente, en 1984 se hizo un último esfuerzo para intentar recuperar lo que solamente podría ser una pequeña parte del sector de los radisótopos: la producción de isótopos de vida corta (que

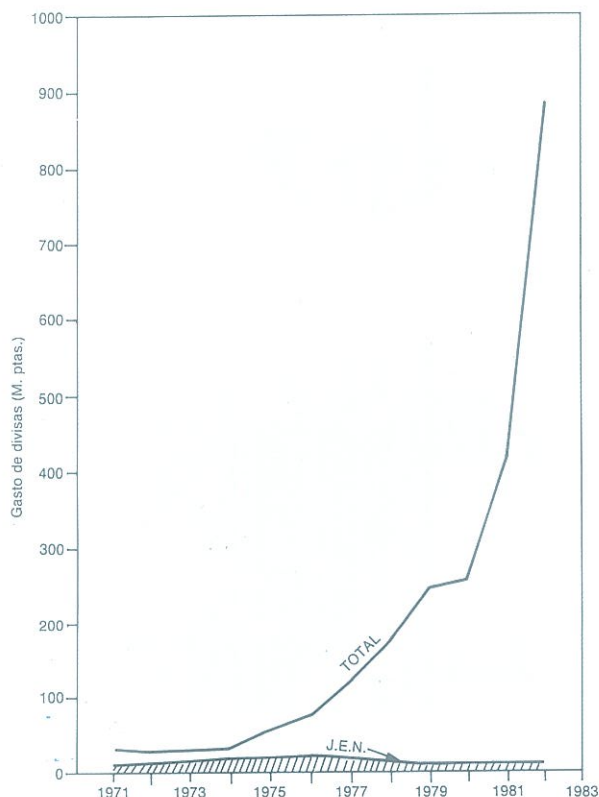


F A.IV Evolución de la cobertura nacional del mercado español de radisótopos durante la segunda «época» del reactor JEN-I

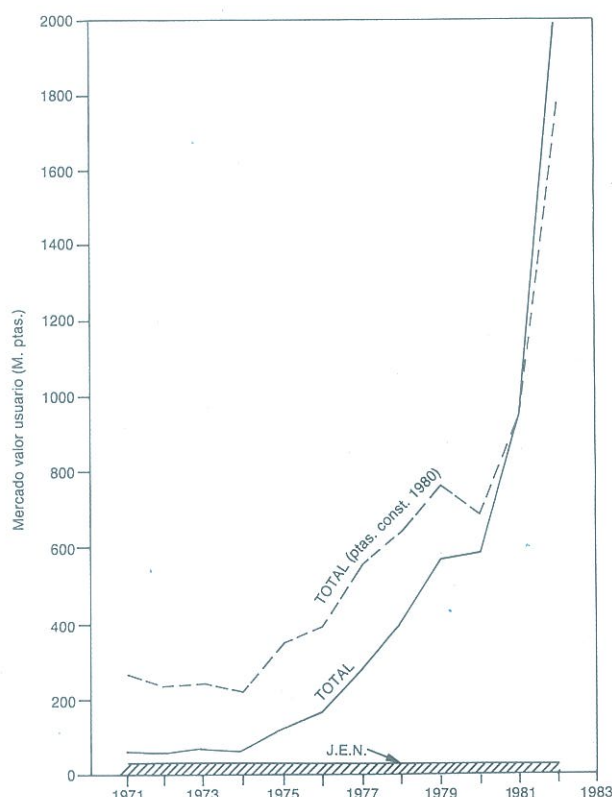
no pueden ser importados a riesgo de transportar actividades en origen disparatadamente elevadas) o aquellos muy especiales fabricados bajo demanda por y para la ciencia y tecnología españolas. Con este objeto se llevó a cabo el proyecto de actualización

del reactor JEN-1, el cual, de nuevo, ha sido abandonado. Con ello se pierde la última oportunidad de estar mínima, pero dignamente presentes, en este campo científico y tecnológico en expansión en las sociedades industriales.

F A.V Evolución de las importaciones españolas en el sector de los radisótopos



F A.VI Evolución del mercado a nivel usuario.



EL MERCADO ESPAÑOL DE LOS RADISÓTOPOS

Como ya se ha manifestado en el párrafo anterior, la JEN cubrió con sus productos un alto porcentaje de las necesidades del mercado español durante la primera "época" del reactor JEN-1. Desgraciadamente el porcentaje de cobertura nacional fue disminuyendo durante la segunda "época", sobre todo a partir de 1973, hasta alcanzar un valor mínimo (menor del 5%) en 1979 (Fig. A.IV) y nulo a partir de 1984 (parada definitiva del reactor JEN-1). En lo que sigue se exponen los resultados de un estudio realizado en 1982 por la División de Isótopos de la JEN (Anexo I al estudio *El mercado español de radisótopos*, JEN, abril de 1981, realizado por M. Barrachina Gómez, M. A. Villar Castejón y M. Roperio González). Dicho estudio se llevó a cabo con una cierta escasez de medios, pero es un análisis realista de la evolución del mercado español de radisótopos en la década de los setenta, presenta su composición y naturaleza en el trienio 1979/81 y permite sacar consecuencias extrapolables al momento presente. Sin entrar en detalles sobre la metodología usada y sobre las fuentes de información utilizadas (archivos JEN, estadísticas de la D. G. de Aduanas e informes de los centros extranjeros de producción, principalmente), la situación desde 1970 a 1981 se podría resumir del siguiente modo:

- Las importaciones españolas de radisótopos, principal fuente de suministro de estos productos, fueron de 413 MPta en 1980 y de 898 MPta en 1981, según datos de la D. G. de Aduanas. La tasa anual promediada de crecimiento de las importaciones registró, en el periodo 1973-1981, un valor acumulativo superior al 50% anual (Fig. A.V). El valor económico a nivel usuario se muestra en la figura A.VI, estimada admitiendo un 50% sobre el valor F.O.B. (factor 1.5) por gastos asociados a la importación y de otro incremento del 50% para que las empresas privadas amorticen gastos y generen beneficios. Como se puede observar, dicho valor superó los 1000 MPta en 1980 y se situó alrededor de los 2000 MPta en 1981.
- El subsector de la Medicina Nuclear es el principal consumidor de productos radiactivos comercializados en España. Por ejemplo, en 1980 las remesas (envíos), la actividad manipulada y el valor a nivel usuario totalizan 47.500, 69,4 KCi y 1.115 MPta, respectivamente. Los índices respectivos de consumo en Medicina Nuclear fueron 98,2%, 1,7% y 90%. Estos mismos índices para la terapia del cáncer con fuentes de Co-60 fueron 0,4%, 56% y 2,5%, respectivamente,

pero hay que tener en cuenta el carácter especial de este radisótopo cuya cadencia de reposición es superior a un año. En el caso de las aplicaciones industriales (fuentes encapsuladas de Ir-192 para gammagrafía) los índices fueron 1,4%, 38,7% y 7,5%, respectivamente; este subsector disminuyó con respecto al año anterior (1979) cuando contribuyó con un consumo del 4% de las remesas y el 19% del valor económico (115 MPtas).

- El nivel de cobertura nacional (JEN) ha estado disminuyendo desde 1973 hasta alcanzar un valor mínimo en 1980: 7% en el número de remesas, menos del 1% en cuanto a la actividad manipulada y un 2% en el valor económico a nivel de usuario.
- Los componentes del mercado español de mayor peso económico lo constituyen los estuches usados en RIA, los generadores de Mo-99/Tc-99m, las fuentes encapsuladas de Ir-192, los radiofármacos marcados con I-131, etc. En la figura A.VII se muestra el espectro completo del mercado.
- Con respecto a los usuarios más destacados, el consumo por las Entidades de Derecho Público supera al del sector privado en 1980: 47,2% y 52,8% en 1979, y 57,9% y 31,9% en 1980, respectivamente, en valor económico a nivel de usuario (680 MPta y 1.115 MPta, respectivamente, en los años 1979 y 1980).
- Como se puede observar en la figura A.VII, la JEN, en las circunstancias por las que pasaba en 1980, jamás podría cubrir las necesidades nacionales. Esto es verdad no sólo para las fuentes de elevada actividad específica (Co-60 e Ir-192), que nunca se llegaron a fabricar en España, sino también para los radisótopos y radiofármacos utilizados por la Medicina Nuclear española. El valor de

los productos consumidos por este subsector ascendió a 1.003 MPta. De ellos solamente el 10,4% estaba constituido por productos que, en teoría, podría suministrar la JEN. De ese 10,4%, el 82% (85 MPta) fue suministrado con material importado por las empresas privadas y solamente el 18% fue distribuido por la JEN. Y todo ello a pesar de que los precios de los productos distribuidos por la JEN eran netamente inferiores a los comercializados por las empresas privadas: por ejemplo, el promedio de pta/mCi de radiofármacos de I-131 era de 1.934 para la JEN y 14.815 para las empresas privadas, el oro coloidal 87 y 461, el de radiofármacos de Hg-203 3.617 y 9.500, etc.

Todo lo anterior permite concluir que:

- El mercado español de radisótopos ha mantenido una situación de dependencia casi total con respecto a suministradores extranjeros.
- Esta situación se ha ido denunciando (intento de hacerse con el mercado nacional a través de las instalaciones diseñadas para el C. N. de Soria) en repetidas ocasiones, pero la respuesta de las autoridades ha sido siempre de un progresivo abandono del sector en vez de tratar de introducir correcciones.
- El valor F.O.B. del mercado actual podría estimarse (aplicando un crecimiento acumulativo real del 30% anual en vez del 50% medio deducido de la figura A.V para tener en cuenta valores constantes y posible recesión económica en los últimos años) en unos 5.000 MPta anuales.
- Después de la última decisión de parada del reactor JEN-1 cabe pensar que se ha llegado al punto de no retorno: seguiremos siendo un país totalmente dependiente del exterior en este sector.

F A.VII Composición del tráfico de radisótopos en 1980.

