

# Conferencia General

GC(52)/INF/3

Fecha: 15 de julio de 2008

**Distribución general**

Español

Original: Inglés

## Quincuagésima segunda reunión ordinaria

Punto 16 del orden del día provisional  
(GC(52)/1)

# Examen de la tecnología nuclear 2008

*Informe del Director General*

## Resumen

- En respuesta a las solicitudes de los Estados Miembros, la Secretaría elabora un amplio *Examen de la tecnología nuclear* todos los años. Adjunto al presente documento figura el informe de este año, en que se destacan acontecimientos notables ocurridos principalmente en 2007.
- El *Examen de la tecnología nuclear 2008* abarca las siguientes esferas: aplicaciones eléctricas, fisión y fusión avanzadas, datos atómicos y nucleares, aplicaciones de los aceleradores y reactores de investigación, tecnologías nucleares en la agricultura y alimentación, salud humana, medio ambiente, recursos hídricos y tecnología de la radiación. En el sitio web del Organismo<sup>1</sup> se encuentran, en inglés únicamente, otros documentos relacionados con el *Examen de la tecnología nuclear 2008* en los que se tratan las novedades y tendencias en la esfera de la inocuidad de los alimentos, la aplicación de técnicas de isótopos estables en la elaboración y supervisión de los programas de nutrición, el uso de materiales de referencia en el comercio y desarrollo, las tecnologías de reprocesamiento avanzadas, los cambios en los sistemas de instrumentación y control de los reactores, la tecnología de los reactores rápidos y el cambio climático y la ciencia y tecnología nucleares.
- También puede obtenerse información sobre las actividades del OIEA relacionadas con la ciencia y la tecnología nucleares en el *Informe Anual para 2007* del OIEA (GC(52)/9), en particular en la sección de Tecnología, y en el *Informe de cooperación técnica para 2007* (GC(52)/INF/5).
- El documento ha sido modificado para tener en cuenta, en la medida posible, las observaciones específicas de la Junta y otras recibidas de los Estados Miembros.

---

<sup>1</sup> [www.iaea.org/About/Policy/GC/GC52\(Agenda/](http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC52(Agenda/)

## Índice

Resumen ejecutivo .....	1
A. Aplicaciones eléctricas .....	3
A.1. La energía nucleoelectrica en la actualidad.....	3
A.2. Proyecciones sobre el crecimiento de la energía nucleoelectrica .....	5
A.3. Internacionalización de la industria de reactores nucleares.....	6
A.4. La parte inicial del ciclo del combustible .....	7
A.5. Combustible gastado y reprocesamiento .....	9
A.6. Desechos y clausura .....	10
A.7. Otros factores que afectan al futuro de la energía nucleoelectrica .....	11
A.7.1. Desarrollo sostenible y cambio climático.....	11
A.7.2. Aspectos económicos .....	11
A.7.3. Seguridad.....	12
A.7.4. Desarrollo de los recursos humanos .....	13
B. Fisión avanzada y fusión .....	14
B.1. Fisión avanzada .....	14
B.1.1. El INPRO y el GIF.....	14
B.1.2. La GNEP.....	15
B.1.3. Otros avances en la esfera de la fisión avanzada .....	15
B.2. Fusión.....	16
C. Datos atómicos y nucleares .....	17
D. Aplicaciones de los aceleradores y de los reactores de investigación .....	18
D.1. Aceleradores .....	18
D.2. Reactores de investigación .....	19
E. Tecnologías nucleares en la agricultura y la alimentación .....	20
E.1. Mejora de los cultivos .....	20
E.2. Generación de biocombustibles mejorados .....	21
E.3. Mejora de la productividad y la salud pecuarias .....	21
E.4. Lucha contra plagas de insectos .....	22
E.4.1. Aplicación de la TIE para luchar contra la mosca tsetsé.....	22
E.4.2. Aplicación de la TIE para luchar contra la mosca de la fruta .....	23
E.4.3. Aplicación de la TIE para luchar contra la polilla .....	23
E.5. Irradiación de alimentos .....	24
F. Salud humana .....	24
F.1. Enfoque individualizado del tratamiento contra el cáncer mediante la medicina nuclear.....	24
F.2. Radiooncología.....	25
F.3. Nutrición.....	25
G. Medio ambiente.....	26
G.1. Mejora en la detección de radionucleidos para evaluar el medio ambiente terrestre .....	26
G.2. Calidad de los resultados de las mediciones.....	27
G.3. Aplicación de tecnologías nucleares en la sostenibilidad del medio ambiente marino .....	27
G.3.1. Ampliación de las aplicaciones del radioanálisis en la inocuidad de los alimentos marinos .....	27
G.3.2. Cambio climático y acidificación de los océanos.....	27
H. Recursos hídricos.....	28
I. Tecnología de irradiación .....	29
I.1. Producción de radioisótopos.....	29
I.2. Polímeros naturales .....	30
I.3. Biocontaminantes peligrosos.....	31
I.4. Rastreo computarizado de partículas radiactivas.....	31

# Examen de la tecnología nuclear 2008

*Informe del Director General*

## Resumen ejecutivo

1. En el año 2007 las crecientes expectativas de los últimos años respecto de la energía nucleoelectrónica comenzaron a hacerse realidad al registrarse un aumento de los trabajos de construcción. Se iniciaron siete construcciones y se reanudaron los trabajos de construcción en la central Watts Bar 2, de los Estados Unidos de América, y al final del año había en total 33 reactores en construcción. Watts Bar 2 es la primera central que se construye en los Estados Unidos de América desde 1996. La Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos (NRC) recibió cuatro solicitudes de licencias combinadas (COL), las primeras para la construcción de nuevos reactores nucleares en ese país en casi 30 años. Se iniciaron igualmente los trabajos de construcción en Flamanville 3, la primera central que se construye en Francia desde 1991.
2. Ahora bien, la actual expansión, así como las perspectivas de crecimiento a corto y largo plazos, siguen centradas en Asia. De los 33 reactores en construcción, 19 estaban en Asia. A finales del año, 28 de los últimos 39 nuevos reactores conectados a la red se encontraban en Asia.
3. En 2007 el Organismo revisó al alza sus proyecciones a mediano plazo en relación con el crecimiento mundial de la energía nucleoelectrónica, de modo que sus proyecciones baja y alta para 2030 son ahora de 447 GW(e) y 691 GW(e), respectivamente. Otros organismos, como por ejemplo la Agencia Internacional de la Energía (AIE) de la OCDE, también revisaron sus proyecciones al alza.
4. Los recursos de uranio notificados aumentaron significativamente con respecto a los indicados en la última edición del Libro Rojo, titulado *Uranium 2005: Resources, Production and Demand*, debido principalmente a los aumentos de recursos notificados por Australia, Federación de Rusia, Sudáfrica y Ucrania. El precio del uranio en el mercado al contado ascendió en junio a casi 360 dólares/kg, pero en diciembre cayó otra vez a 240 dólares/kg.
5. Se inició la construcción de una nueva planta de centrifugación (American Centrifuge Plant) de la USEC, y la Japan Nuclear Fuel Limited (JNFL) inició ensayos de cascadas en su planta de enriquecimiento de uranio por centrifugación avanzada de Rokkasho. La Federación de Rusia y Kazajstán establecieron el Centro Internacional de Enriquecimiento de Uranio en Siberia oriental, como una medida en relación con la propuesta esbozada en 2006 por el Presidente Vladimir Putin de crear un sistema de centros internacionales que presten servicios del ciclo del combustible nuclear, entre ellos el enriquecimiento, de forma no discriminatoria y bajo el control del OIEA.
6. Diecinueve países firmaron una declaración de principios de la Alianza Mundial por la Energía Nuclear (GNEP), que tiene por objeto acelerar la elaboración y utilización de tecnologías avanzadas del ciclo del combustible para fomentar el desarrollo, mejorar el medio ambiente y reducir el riesgo de proliferación nuclear.

7. La NRC autorizó el uso público irrestricto de la mayor parte del emplazamiento tanto de la central nuclear Big Rock Point como de la central nuclear Yankee Rowe. Así, se han clausurado completamente diez centrales en todo el mundo y se ha autorizado el uso incondicional de sus emplazamientos. Diecisiete centrales se han desmantelado parcialmente y se han cerrado en condiciones de seguridad. Treinta y dos se hallan en fase de desmantelamiento con vistas a declarar el emplazamiento apto para otros usos, y 34 reactores están siendo objeto de un desmantelamiento mínimo antes de su cierre a largo plazo. En septiembre el Organismo puso en marcha una nueva Red de centros de excelencia para la clausura a fin de mejorar el flujo de conocimientos y experiencias entre los encargados de la clausura y alentar a organizaciones de los Estados Miembros desarrollados a contribuir a las actividades de los Estados Miembros que requieran asistencia relacionada con la clausura.

8. Las técnicas nucleares e isotópicas continúan efectuando importantes contribuciones en las esferas de la agricultura, la salud humana, los medios marino y terrestre, así como de la gestión de los recursos hídricos. En la esfera de la agricultura y la alimentación, la fitotecnia por mutaciones contribuye al desarrollo de nuevas variedades de cultivos que son de mayor rendimiento y que al mismo tiempo reportan importantes beneficios ambientales al requerir menor cantidad de fertilizantes y ser más resistentes a las tensiones bióticas y abióticas. La mejora genética de los cultivos de biomasa es útil para atender a la creciente demanda de biocombustibles. Además de que se sigue utilizando con fines de salud, se registra un creciente empleo de la irradiación en aplicaciones fitosanitarias, especialmente las relacionadas con medidas de cuarentena.

9. En la esfera de la salud, los adelantos en la utilización de la tomografía por emisión de positrones (PET) han permitido redefinir numerosos aspectos del tratamiento del cáncer y han proporcionado la base para la concepción de tratamientos más individualizados y más eficaces. El reciente desarrollo de fuentes de cobalto 60 de alta tasa de dosis podría posibilitar la administración de braquiterapia de alta tasa de dosis sin necesidad de sustituir las fuentes con tanta frecuencia como en el caso de otras fuentes y contribuir a que la radioterapia sea más rentable. Las técnicas de isótopos estables se están utilizando para elaborar y evaluar estrategias destinadas a luchar contra el déficit de micronutrientes como parte de los esfuerzos por mejorar la nutrición.

10. Las técnicas analíticas nucleares se utilizan para evaluar la calidad e idoneidad de los productos comercializados. La calidad de los resultados de las mediciones debe garantizarse mediante el establecimiento de la infraestructura requerida y la disponibilidad de herramientas tales como materiales de referencia apropiados.

11. Los estudios climáticos se centran crecientemente en las interconexiones entre el clima y los medios marino y terrestre. Los isótopos marinos nos permiten entender los cambios fundamentales inducidos por el clima, tales como la creciente acidificación de los océanos, así como sus posibles efectos en la biodiversidad marina y las pesquerías. Los inminentes efectos del cambio climático en el régimen de las precipitaciones y la disponibilidad de agua dulce hacen de las aguas subterráneas un recurso aún más fundamental. Los datos isotópicos revisten creciente importancia para poder proporcionar un conjunto de información integrado temporal y espacialmente en apoyo de la evaluación y gestión de los recursos de aguas subterráneas sin inversiones importantes de tiempo y de recursos.

12. El tratamiento por irradiación de los polímeros naturales es un campo prometedor, ya que las características excepcionales de los materiales poliméricos pueden aprovecharse para aplicaciones prácticas en las esferas de la medicina, cosmética, agricultura, biotecnología y protección ambiental. En el marco de otro hecho importante, los resultados de las investigaciones recientes han demostrado la utilidad de la radiación ionizante para hacer frente a amenazas tales como la propagación deliberada de toxinas biológicas.

## A. Aplicaciones eléctricas

### A.1. La energía nucleoelectrónica en la actualidad

13. Al final de 2007 había en todo el mundo 439 reactores nucleares de potencia en funcionamiento, que generaban una potencia total de 372 GW(e) (véase el cuadro A-1). En 2007 la energía nucleoelectrónica proporcionó aproximadamente el 15% de la electricidad mundial.

14. En 2007 se conectaron a la red tres nuevos reactores, uno en China, otro en la India y otro en Rumania, y en los Estados Unidos de América se había vuelto a conectar una unidad que se encontraba abandonada, lo que contrasta con las dos nuevas conexiones habidas en 2006 y las cuatro habidas en 2005 (más una reconexión). En 2007 no se retiró de servicio ningún reactor, mientras que en 2006 se retiraron ocho y en 2005 dos. Si se tiene en cuenta el aumento de la potencia de los reactores existentes, el efecto fue un pequeño incremento de la potencia nuclear mundial en 2007 de 2 526 MW(e).

15. En 2007 se iniciaron siete construcciones: Qinshan II-4 (610 MW(e)) y Hongyanhe 1 (1 000 MW(e)) en China, Flamanville 3 en Francia (1 600 MW(e)), Severodvinsk – Akademik Lomonosov 1 y 2 (2×30 MW(e)) en la Federación de Rusia y Shin Kori 2 (960 MW(e)) y Shin-Wolsong 1 (960 MW(e)) en la República de Corea. Además, se habían reanudado los trabajos de construcción de Watts Bar 2, en los Estados Unidos de América. A modo de comparación, en 2006 se iniciaron tres trabajos de construcción y se reanudó la construcción de un reactor, y en 2005 se iniciaron tres trabajos de construcción y se reanudó la construcción de dos reactores.

16. La actual expansión, así como las perspectivas de crecimiento a corto y largo plazo, siguieron centradas en Asia. Como se indica en el cuadro A-1, de los 33 reactores en construcción, 19 estaban en Asia. A finales del año, 28 de los últimos 39 nuevos reactores conectados a la red se encontraban en Asia.

17. En los Estados Unidos de América, la Comisión Reguladora Nuclear (NRC) aprobó otra prórroga de licencia de 20 años (equivalente a una vida útil total autorizada de 60 años), elevando a 48 el número total de prórrogas de licencias aprobadas. La licencia de explotación de la central canadiense Gentilly 2 fue prorrogada por otros cuatro años, hasta 2010. Las licencias de las unidades 1 y 2 de la central Loviisa en Finlandia se prorrogaron hasta 2027 y 2030, respectivamente.

18. En Bulgaria se aprobó el emplazamiento de Belene para la construcción de una nueva central nuclear. Los tres Estados del Báltico, junto con Polonia, acordaron en principio construir una central nuclear en Lituania hacia 2015, y Lituania aprobó la legislación requerida para poder construir esa central. Turquía también aprobó una nueva legislación que permite la construcción de centrales nucleares.

Cuadro A-1. Reactores nucleares de potencia en funcionamiento y en construcción en el mundo (al 31 de diciembre de 2007)<sup>a</sup>

PAÍS	Reactores en funcionamiento		Reactores en construcción		Electricidad nuclear suministrada en 2007		Experiencia operacional total hasta 2007	
	Nº de unidades	Total MW(e)	Nº de unidades	Total MW(e)	TW h	% del total	Años	Meses
ALEMANIA	17	20 430			133,21	25,9	717	5
ARGENTINA	2	935	1	692	6,7	6,2	58	7
ARMENIA	1	376			2,4	43,5	33	8
BÉLGICA	7	5 824			45,9	54,1	219	7
BRASIL	2	1 795			11,7	2,8	33	3
BULGARIA	2	1 906	2	1 906	13,7	32,1	143	3
CANADÁ	18	12 610			88,2	14,7	546	1
CHINA	11	8 572	5	4 220	59,3	1,9	77	3
COREA, REPÚBLICA DE	20	17 451	3	2 880	136,6	35,3	299	8
ESLOVAQUIA	5	2 034			14,2	54,3	123	7
ESLOVENIA	1	666			5,4	41,6	26	3
ESPAÑA	8	7 450			52,7	17,4	253	6
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	104	100 582	1	1 165	806,6	19,4	3 291	9
FEDERACIÓN DE RUSIA	31	21 743	6	3 639	148,0	16,0	932	4
FINLANDIA	4	2 696	1	1 600	22,5	28,9	115	4
FRANCIA	59	63 260	1	1 600	420,1	76,9	1 582	2
HUNGRÍA	4	1 829			13,9	36,8	90	2
INDIA	17	3 782	6	2 910	15,9	2,5	284	4
IRÁN, REPÚBLICA ISLÁMICA DEL			1	915				
JAPÓN	55	47 587	1	866	267,3	27,5	1 331	8
LITUANIA	1	1 185			9,1	64,4	41	6
MÉXICO	2	1 360			10,0	4,6	31	11
PAÍSES BAJOS	1	482			4,0	4,1	63	0
PAKISTÁN	2	425	1	300	2,3	2,3	43	10
REINO UNIDO	19	10 222			57,5	15,1	1 419	8
REPÚBLICA CHECA	6	3 619			24,6	30,3	98	10
RUMANIA	2	1 305			7,1	13,0	11	11
SUDÁFRICA	2	1 800			12,6	5,5	46	3
SUECIA	10	9 034			64,3	46,1	352	6
SUIZA	5	3 220			26,5	40,0	163	10
UCRANIA	15	13 107	2	1 900	87,2	48,1	338	6
Total <sup>b, c</sup>	439	372 208	33	27 193	2 608,1	15%	13 036	5

a. Los datos provienen del Sistema de Información sobre Reactores de Potencia (PRIS) del Organismo, (<http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>).

b. Nota: El total incluye los datos siguientes en Taiwán (China):

— 6 unidades, 4 921 MW(e) en explotación; 2 unidades, 2 600 MW(e) en construcción;

— 39,0 TW·h de generación de electricidad nuclear, lo que representa el 19,3% del total de electricidad producida en 2007;

— 158 años y un mes de experiencia operacional total al final de 2007.

c. La experiencia operacional total también incluye las centrales en régimen de parada de Italia (81 años) y Kazajstán (25 años y 10 meses).

19. En Finlandia, Fortum presentó un programa de evaluación del impacto ambiental (EIA) en relación con la posible construcción de un nuevo reactor en la central nuclear Loviisa, y Teollisuuden Voima Oy (TVO) presentó un programa de EIA para la posible construcción de un nuevo reactor en la central nuclear Olkiluoto. En el Canadá, Energy Alberta solicitó una licencia para emplazar una nueva central nuclear en la parte noroccidental de Alberta. La mayor parte de su potencia se utilizaría para la extracción de petróleo a partir de arenas alquitranadas locales.

20. En los Estados Unidos de América, la NRC expidió sus tres primeros permisos iniciales relativos a emplazamientos, por los que certificó la idoneidad del emplazamiento Clinton en Illinois, el emplazamiento Grand Gulf en Mississippi y el emplazamiento North Anna en Virginia para la construcción de nuevas centrales. En estos momentos está procesando otras dos solicitudes de permisos iniciales relativos a emplazamientos. Asimismo, en 2007 la NRC recibió cuatro solicitudes de licencias combinadas (COL), las primeras para la construcción de nuevos reactores nucleares en los Estados Unidos en casi 30 años. La NRC espera recibir hasta fines de 2009 un total de 21 solicitudes de ese tipo para un total de 32 reactores.

21. En el Reino Unido, en 2007, el gobierno finalizó una consulta pública sobre la energía nuclear y la posibilidad de nuevas construcciones. En enero de 2008, publicó un Libro Blanco titulado *Meeting the Energy Challenge*, en el que hizo hincapié en que era en beneficio del público que la energía nuclear siguiera formando parte de la mezcla energética de baja producción de carbono del Reino Unido para ayudar a cumplir los objetivos de reducción de carbono y garantizar suministros de energía seguros. En la fase inicial de la evaluación del diseño genérico (GDA) de nuevos reactores nucleares, los reguladores del Reino Unido determinaron que los cuatro diseños presentados, a saber, los de Atomic Energy of Canada Limited, AREVA, GE-Hitachi y Toshiba-Westinghouse, cumplían los criterios requeridos para la primera etapa del proceso previo a la concesión de licencias.

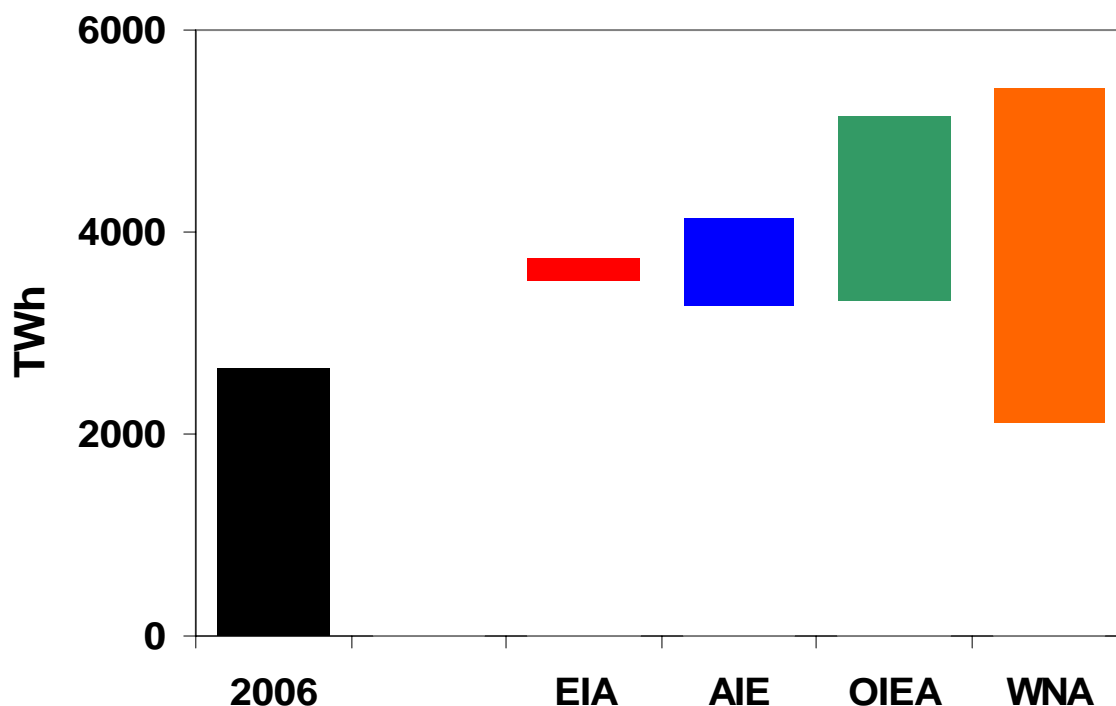
## **A.2. Proyecciones sobre el crecimiento de la energía nucleoelectrica**

22. El Organismo actualiza anualmente sus proyecciones bajas y altas en relación con el crecimiento mundial de la energía nucleoelectrica. En 2007, se revisaron al alza tanto las proyecciones bajas como las altas. En la proyección baja actualizada, la potencia nuclear y la capacidad de generación nucleoelectrica mundiales ascienden a 447 GW(e) y 3 325 TWh, respectivamente, en 2030, frente a 370 GW(e) y 2 660 TWh a finales de 2006. En la proyección alta actualizada, esos valores ascienden a 691 GW(e) y 5 141 TWh.

23. En la proyección baja, para 2030 se habrán retirado del servicio 145 de los reactores actualmente en funcionamiento y se habrán construido 178 nuevos reactores nuevos. El 85% de las retiradas de servicio se registrarán en Europa oriental y occidental. Aunque se construirían nuevos reactores en todas las regiones, la mayoría estarían en el Lejano Oriente y Europa oriental, pero también habría muchas, pero menos nuevas construcciones en la región del Oriente Medio y Asia Meridional.

24. En la proyección alta sólo hay 82 retiradas de servicio y las nuevas construcciones ascienden a más del doble, es decir que para 2030 habría 357 nuevos reactores. La mayoría de las retiradas de servicio seguiría registrándose en Europa. La distribución de las nuevas construcciones sería más amplia, aunque la mayoría se registrarían en el Lejano Oriente, Europa oriental y la región del Oriente Medio y Asia Meridional.

25. Las proyecciones nucleares del Organismo no fueron las únicas que se revisaron al alza en 2007. También actualizaron sus proyecciones ese año la Administración de Información sobre Energía (EIA) de los Estados Unidos, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) de la OCDE y la Asociación Nuclear Mundial. Todas ellas, excepto una, elevaron sus proyecciones nucleares. La Asociación Nuclear Mundial redujo ligeramente la parte superior de su banda. En la figura A-1 se comparan las bandas de las proyecciones nucleares realizadas en 2007 por la EIA, la AIE, el OIEA y la Asociación Nuclear Mundial.



*Figura A-1. Comparación de las proyecciones nucleares realizadas por la EIA, la AIE, el OIEA y la Asociación Nuclear Mundial.*

### **A.3. Internacionalización de la industria de reactores nucleares**

26. Como se observa en la figura A-2, la industria de los reactores nucleares se ha venido reestructurando constantemente en los últimos decenios. Ahora bien, las crecientes expectativas respecto de la expansión futura de la energía nucleoelectrica han contribuido a varios acontecimientos importantes en los últimos 18 meses. Hacia finales de 2006, Toshiba se convirtió en accionista mayoritario de Westinghouse. En 2007 Toshiba vendió el 10% de sus acciones a Kazatomprom, el productor de uranio kazako de propiedad estatal. Asimismo, hacia finales de 2006 AREVA y Mitsubishi Heavy Industries (MHI) anunciaron una nueva alianza para iniciar los trabajos de desarrollo de una nueva central nuclear de 1 000 MW(e). General Electric (GE) y Hitachi también se aliaron en 2007 con el fin de prestar servicios en relación con la explotación de reactores BWR y de competir por los nuevos proyectos de reactores en todo el mundo.



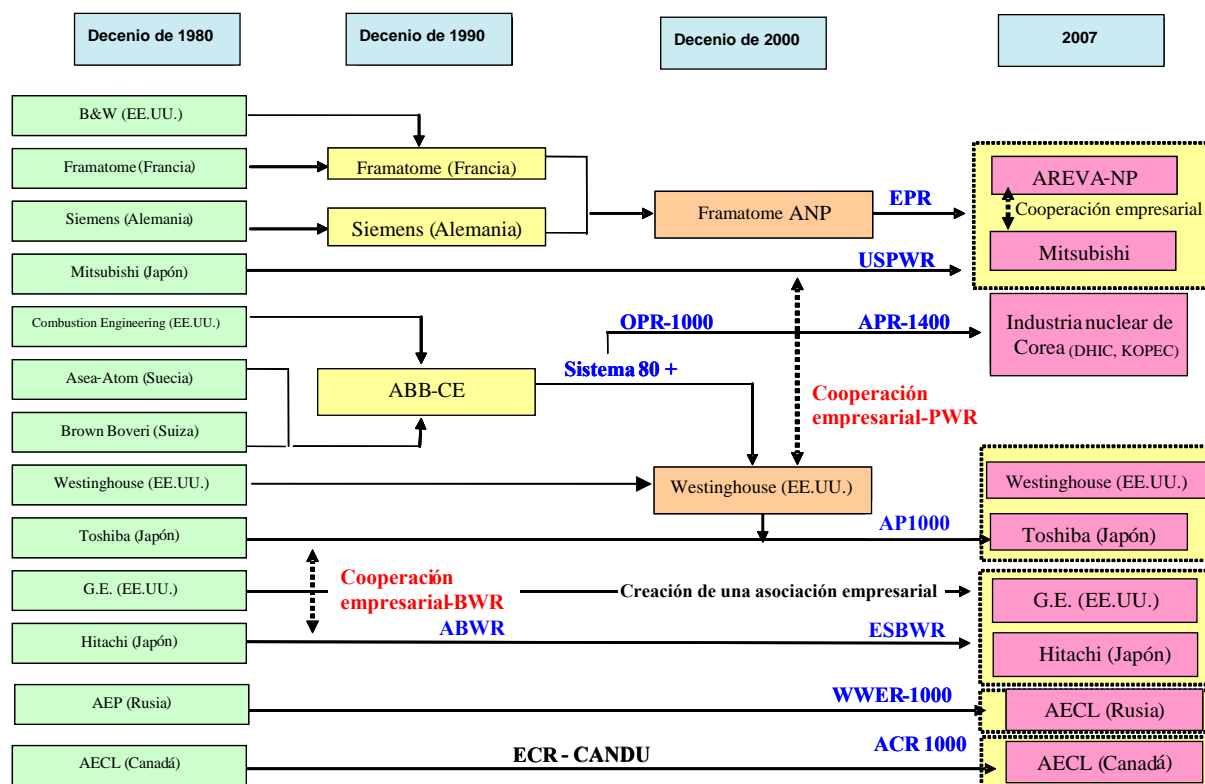


Figura A-2. Evolución de la industria de reactores nucleares (AP600/AP1 000: PWR con elementos avanzados de seguridad (600/1 000MW(e)); EPR: reactor europeo de agua a presión; ABWR: reactor avanzado de agua en ebullición; ESBWR: reactor europeo de agua en ebullición simplificado; APR 1 400: reactor de potencia avanzado 1 400; OPR 1 000: reactor de potencia optimizado 1 000; ACR: reactor CANDU avanzado; ECR: reactor CANDU mejorado; WWER: reactor de Vodo-Vodyanoi Energetichesky; US PWR: reactor de agua a presión de los Estados Unidos; DHIC: Doosan Heavy Industry Company; AEP: Atomernergoprojekt)

#### A.4. La parte inicial del ciclo del combustible<sup>2</sup>

27. Los recursos de uranio convencionales identificados, recuperables a un costo inferior a 130 dólares/kgU, se estiman actualmente en 5,5 millones de toneladas (tonelada métrica de uranio). Se registra un aumento significativo de unas 800 000 tU respecto de 2005, debido principalmente a los aumentos notificados por Australia, Federación de Rusia, Sudáfrica y Ucrania. A modo de referencia, el precio del uranio en el mercado al contado ascendió en junio a casi 360 dólares/kg, pero en diciembre cayó otra vez a 240 dólares/kg.

28. Los recursos convencionales no descubiertos se estiman en 7,3 MtU a un costo inferior a 130 dólares/kgU. Esta cifra incluye tanto los recursos que se prevé que se encuentren en yacimientos conocidos o cerca de ellos, como los recursos más hipotéticos que se considera que existen en zonas geológicamente favorables, pero aún inexploradas. También hay otros 3,0 MtU estimados de recursos hipotéticos para los cuales no se han especificado los costos de producción.

<sup>2</sup> Esta sección se basa en la próxima edición del "Libro Rojo" del OIEA y la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE (AEN/OCDE) (AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE/ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Uranium-2007: Resources, Production and Demand, OCDE, París (2007)). Se puede consultar información más detallada sobre las actividades del OIEA relativas a la parte inicial del ciclo del combustible en las secciones pertinentes del Informe Anual del OIEA para 2006 (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>) y en <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html>.

29. *Los recursos de uranio no convencionales y el torio* amplían aún más la base de recursos. Los recursos no convencionales son aquellos de los que el uranio sólo se puede recuperar como producto secundario de poca importancia. Muy pocos países notifican en la actualidad sus recursos no convencionales. Las estimaciones realizadas en el pasado del uranio potencialmente recuperable asociado a los fosfatos, los minerales no ferrosos, la carbonatita, el esquisto negro y el lignito son del orden de 10 MtU. El torio, que también puede utilizarse como fuente de combustible nuclear, es abundante, se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y, en muchos países, es de fácil explotación. Los recursos mundiales se han estimado en unos 6 MtTh. Aunque el torio se ha utilizado como combustible a escala de demostración, se requieren trabajos mucho más exhaustivos para poderlo considerar en pie de igualdad con el uranio.

30. Se estima que el agua de mar contiene 4 000 MtU, pero a una concentración muy baja de 3-4 partes por miles de millones. Ello significa que se tendrían que procesar 350 000 toneladas de agua para producir un kg de uranio. El costo de producción es actualmente demasiado elevado. En los decenios de 1970 y 1980 se llevaron a cabo investigaciones en Alemania, Estados Unidos, Italia, Japón y Reino Unido. En el Japón se siguen realizando estas investigaciones con costos de producción estimados a escala de ensayo de 750/kgU.

31. Como resultado de los aumentos del precio del uranio al contado, las actividades de exploración y explotación de uranio aumentaron considerablemente en 2005 y 2006, y se prevé que aumentarán aún más en 2007 (véase la figura A-3). Este aumento se ha producido tanto en los países que han explorado y explotado yacimientos de uranio en el pasado, como en muchos países que se inician en la exploración del uranio.

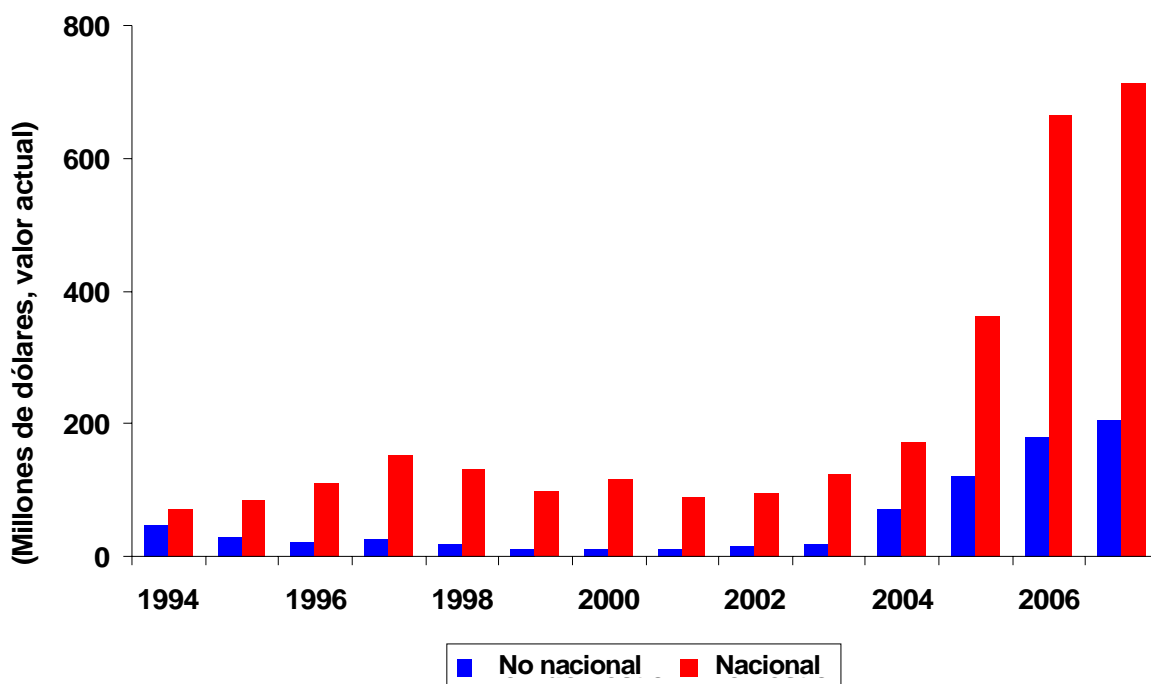


Figura A-3. Tendencias de los gastos por concepto de actividades de exploración y explotación de uranio. Los valores correspondientes a 2007 son estimaciones.

32. La producción mundial de uranio en 2006 fue de 39 695 tU, lo que representa una reducción de casi el 6% respecto de la cifra de 2005 de 42 114 tU. Se estima que la producción aumentará en 2007 a 43 600 tU. Australia y el Canadá representaron, por sí solos, el 44% de la producción mundial en 2006. Junto con otros seis países (Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Kazajstán, Namibia, Níger y Uzbekistán) representaron el 92% de la producción.

33. La producción de uranio en 2006 cubrió solamente un 60% de los requisitos de los reactores del mundo de 66 500 tU. Del resto respondieron cinco fuentes secundarias: las reservas de uranio natural, las reservas de uranio enriquecido, el uranio reprocesado a partir de combustible gastado, el combustible de MOX con uranio 235 parcialmente sustituido por plutonio 239 a partir de combustible gastado reprocesado, y el nuevo enriquecimiento de residuos de uranio empobrecido (el uranio empobrecido contiene menos del 0,7% de U 235).

34. El paso siguiente en el ciclo del combustible es la conversión. En el mercado de conversión existe actualmente un equilibrio entre la oferta y demanda, y la capacidad de suministro está aumentando en la medida necesaria para atender al crecimiento previsto. La NTC de los Estados Unidos prorrogó la licencia de la planta de conversión de hexafluoruro de uranio (UF<sub>6</sub>) de Metrópolis por otros 10 años, hasta mayo de 2017. Al mismo tiempo se incrementó en 20% la capacidad de la planta. AREVA anunció la iniciación del proyecto Comurhex II, una nueva instalación de conversión de uranio en el sur de Francia que se prevé comenzará a producir a escala comercial en 2012.

35. En la esfera del enriquecimiento hay cierto exceso de capacidad. No obstante, se prevé que las plantas de difusión más antiguas se cerrarán en un futuro próximo, y éstas se sustituirán por plantas de centrifugación que requieren menos insumo energético. En 2007 la NRC expidió la licencia de construcción de la nueva planta de centrifugación de la USEC (American Centrifuge Plant). Los trabajos de construcción se iniciaron en abril y el ensayo de la cascada de plomo comenzó en septiembre. La Japan Nuclear Fuel Limited (JNFL) inició ensayos de cascadas en su planta de enriquecimiento de uranio por centrifugación avanzada de Rokkasho con un tipo de centrifugadora nuevo y más eficaz. Varias empresas firmaron cartas de intención, de carácter no vinculante, de contratar los servicios de enriquecimiento de uranio de GE–Hitachi Nuclear Energy, que se está esforzando por comercializar la tecnología de enriquecimiento por láser SILEX, de la próxima generación, conocida ahora como la tecnología GLE (Global Laser Enrichment).

36. En mayo la Federación de Rusia y Kazajstán establecieron el Centro Internacional de Enriquecimiento de Uranio (IUEC) en Siberia oriental. En diciembre el Gobierno armenio anunció que también se incorporaría al centro, lo que hizo en febrero de 2008. El IUEC es una medida adoptada en respuesta a la propuesta esbozada en 2006 por el Presidente Vladimir Putin de crear “un sistema de centros internacionales que prestaran servicios del ciclo del combustible nuclear, entre ellos el enriquecimiento, de forma no discriminatoria y bajo el control del OIEA”. También se encuentran en curso conversaciones encaminadas a la creación de una empresa conjunta entre la Federación de Rusia y Kazajstán para construir otra planta de enriquecimiento en Angarsk.

## **A.5. Combustible gastado y reprocesamiento<sup>3</sup>**

37. Las descargas anuales de combustible gastado de los reactores de todo el mundo ascienden a unas 10 500 toneladas de metales pesados (t HM). Se están aplicando dos estrategias de gestión distintas en relación con el combustible nuclear gastado. La primera consiste en reprocesar el combustible gastado (o en almacenarlo para su posterior reprocesamiento) a fin de extraer el material utilizable (uranio y plutonio) para fabricar nuevo combustible de mezcla de óxidos (MOX). Se ha reprocesado aproximadamente una tercera parte del combustible gastado descargado en todo el mundo. La segunda estrategia consiste en considerar el combustible gastado como un desecho y almacenarlo en espera de su disposición final. Gracias a más de 50 años de experiencia acumulados en el almacenamiento seguro y eficaz de combustible gastado, existe un alto grado de confianza técnica en las tecnologías de almacenamiento en húmedo y en seco, así como en la capacidad para hacer frente a un volumen cada vez mayor hasta que entren en funcionamiento repositorios finales para todos los tipos de desechos de actividad alta.

---

<sup>3</sup> Se puede consultar información más detallada sobre las actividades del OIEA relativas al combustible gastado y el reprocesamiento en las secciones pertinentes del Informe Anual del OIEA para 2006 (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>).

38. Actualmente, China, la Federación de Rusia, Francia, la India y el Japón reprocesan la mayor parte de su combustible gastado o lo almacenan para su reprocesamiento futuro. Hay plantas de reprocesamiento en funcionamiento en la Federación de Rusia, Francia, la India y el Reino Unido, si bien en 2007 la planta británica de Sellafield estuvo fuera de servicio debido a una fuga interna. En el Japón se iniciaron los ensayos activos en la nueva planta de vitrificación de Rokkasho, en la que se combinan desechos de actividad alta separados con vidrio de borosilicato. No obstante, debido a la fabricación limitada de combustible de MOX, actualmente se utiliza menos del 50% de la capacidad de reprocesamiento existente a escala mundial. El Canadá, los Estados Unidos de América, Finlandia y Suecia han optado actualmente por la disposición final directa, aunque en 2006 los Estados Unidos de América anunciaron una Alianza Mundial por la Energía Nuclear (GNEP), que incluye el desarrollo de tecnologías avanzadas de reciclaje para su uso en los Estados Unidos. La mayoría de los países no ha decidido aún qué estrategia adoptar. En la actualidad almacenan el combustible gastado y se mantienen al día de la evolución de ambas alternativas.

## **A.6. Desechos y clausura**

39. Si bien los programas de repositorios de los Estados Unidos, Finlandia, Francia y Suecia siguen siendo los más avanzados, es poco probable que alguno de esos países tenga un repositorio en funcionamiento mucho antes de 2020. La construcción de la instalación subterránea de caracterización ONKALO, que podría formar parte del repositorio de Olkiluoto (Finlandia), avanza según lo previsto. A finales de 2007, el túnel tenía una longitud de 2,5 km y una profundidad de 240 m. A raíz de la nueva legislación promulgada en 2006, el programa de repositorio de Francia ha entrado en una fase de selección del emplazamiento detallada a fin de solicitar una licencia en 2015. En Suecia han finalizado en dos emplazamientos amplias investigaciones respecto de los mismos y está previsto solicitar una licencia para el emplazamiento seleccionado en 2009. En los Estados Unidos de América, los preparativos relacionados con la solicitud de la licencia para construir un repositorio en Yucca Mountain están muy avanzados, y se prevé presentar dicha solicitud a mediados de 2008. En 2007, el Gobierno del Canadá aceptó la propuesta de su Sociedad de Gestión de Desechos Nucleares (NWMO) relativa a un enfoque de “gestión escalonada adaptativa” en lo que se refiere a la gestión a largo plazo del combustible nuclear gastado, con el fin de encontrar y preparar un emplazamiento para construir un repositorio supervisado continuamente que presente la posibilidad de recuperación.

40. En cuanto a la clausura, la Comisión Reguladora Nuclear (NRC) de los Estados Unidos autorizó el uso público sin restricciones de la mayor parte del emplazamiento de la central nuclear de Big Rock Point, que fue clausurada en 2006, así como de la mayor parte del emplazamiento de la central nuclear de Yankee Rowe. Las licencias de Big Rock Point y Yankee Rowe seguirán aplicándose a las instalaciones de almacenamiento en cofres secos de los emplazamientos. Así, en 2007 se habían clausurado completamente diez centrales eléctricas en el mundo y se había autorizado el uso incondicional de sus emplazamientos. Diecisiete centrales se han desmantelado parcialmente y cerrado en condiciones de seguridad. Treinta y dos se hallan en fase de desmantelamiento con vistas a declarar el emplazamiento apto para otros usos. Treinta y cuatro reactores están siendo objeto de un desmantelamiento mínimo antes del cierre a largo plazo, incluidos cuatro reactores Magnox en el Reino Unido, Sizewell A-1 y A-2 y Dungeness A-1 y A-2, que fueron sometidos a régimen de parada el 31 de diciembre de 2006.

41. Tras una serie de consultas con expertos de Estados Miembros que representaban a posibles donantes y receptores, el Organismo puso en marcha en la Conferencia General en septiembre de 2007, una nueva Red de centros de excelencia especializados en clausura. El objetivo de la red es mejorar el flujo de conocimientos y experiencias entre los encargados de la clausura y alentar a organizaciones de los Estados Miembros desarrollados a colaborar en las actividades de los Estados Miembros que requieran asistencia en relación con la clausura.

## **A.7. Otros factores que afectan al futuro de la energía nucleoelectrónica**

### **A.7.1. Desarrollo sostenible y cambio climático<sup>4</sup>**

42. La Comisión de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (CDS) mantuvo debates sobre la energía por primera vez en su noveno período de sesiones (CDS-9) en 2001, y todas las partes estuvieron de acuerdo en que “la decisión de optar por la energía nuclear incumbe a los países”. En la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (CMDS) de 2002 se reafirmó esta conclusión y la CDS incluyó el tema de la energía en los programas de sus 14º y 15º períodos de sesiones. La CDS-14 en 2006 fue una “reunión de examen” para analizar las repercusiones de los cambios de las políticas energéticas y de los avances tecnológicos en los progresos realizados hacia el desarrollo sostenible. En la “reunión de política” correspondiente, la CDS-15, celebrada en mayo de 2007, no se acordó ningún nuevo texto sobre cuestiones energéticas, y las decisiones alcanzadas en la CDS-9 y la CMDS siguieron considerándose los acuerdos como operativos de la CDS en materia de energía.

43. El Protocolo de Kyoto, que entró en vigor en febrero de 2005, exige a la mayoría de los países desarrollados que limiten sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el “primer período de compromiso”, que comenzó el 1 de enero de 2008 y finaliza en 2012. Distintos países han adoptado políticas distintas a modo de respuesta. No todas son provechosas para la energía nucleoelectrónica, pese a sus bajas emisiones de GEI, pero a más largo plazo los límites de las emisiones de GEI deberían hacer de la energía nucleoelectrónica una opción cada vez más atractiva.

44. En noviembre de 2007, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)<sup>5</sup> publicó su cuarto informe de evaluación, en el que se confirmaba que ya se han observado los efectos del cambio climático y que las conclusiones científicas indican la necesidad de aplicar medidas a corto plazo para reducir las emisiones de GEI. En diciembre se celebró en Bali la decimotercera Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP-13) y la tercera reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto (COP/MOP-3). Las reuniones tuvieron como resultado la elaboración del plan de acción de Bali<sup>6</sup>, que incluye la decisión de “iniciar un proceso amplio para posibilitar la aplicación plena, eficaz y sostenida de la Convención mediante medidas de cooperación a largo plazo...” a fin de adoptar una decisión en la COP-15 sobre el objetivo global a largo plazo relativo a la reducción de las emisiones. Esto incluye compromisos o medidas de mitigación verificables por parte de todos los países desarrollados que son Parte, medidas de mitigación verificables por parte de los países en desarrollo que son Parte en el contexto del desarrollo sostenible, y la reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques en los países en desarrollo. En el plan de acción no se incluyen objetivos específicos cuantificados de reducción de las emisiones. La energía nucleoelectrónica no fue uno de los temas principales de debate.

### **A.7.2. Aspectos económicos**

45. Las centrales nucleares tienen una estructura de costos centrada en los desembolsos iniciales, lo que significa que su construcción es relativamente costosa, pero su funcionamiento relativamente económico. Así pues, las centrales nucleares en funcionamiento bien gestionadas siguen siendo una fuente de electricidad competitiva y rentable. Sin embargo, en el caso de las nuevas construcciones, la competitividad económica de la energía nucleoelectrónica depende de las alternativas disponibles, la demanda global de electricidad en un país y la velocidad a la que dicha demanda aumente, la estructura del mercado y el entorno de inversiones, las limitaciones ambientales, y los riesgos de inversión debidos a posibles retrasos o cambios a nivel político o de reglamentación. Así pues, la competitividad económica varía según los países y las situaciones.

---

<sup>4</sup> Se puede consultar información más detallada sobre las actividades del Organismo relativas a los aspectos del desarrollo sostenible y el cambio climático relacionados con la energía en las secciones pertinentes del Informe Anual (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006>) y en la dirección <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/climate.shtml>.

<sup>5</sup> El mes anterior, se concedió al IPCC y al ex Vicepresidente de los Estados Unidos, Al Gore, el Premio Nobel de la Paz “por sus esfuerzos encaminados a acumular y difundir mayores conocimientos sobre el cambio climático provocado por el hombre, y sentar las bases de las medidas que se precisan para contrarrestar este cambio”.

<sup>6</sup> [http://unfccc.int/files/meetings/cop\\_13/application/pdf/cp\\_bali\\_action.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/cop_13/application/pdf/cp_bali_action.pdf)

46. Las tendencias dignas de mención en 2007 son, entre otras, el aumento de los precios de los factores de producción para las nuevas construcciones, desde el hormigón a la mano de obra, debido al rápido crecimiento económico y la gran demanda. Esta tendencia puede continuar y compensar con creces cualquier disminución prevista de los costos de construcción derivada del aprendizaje. Si bien esta tendencia afecta a todas las fuentes de energía, desde la del carbón hasta la eólica, cuanto más centrada esté la estructura de costos en los desembolsos iniciales, mayor será el impacto. Quizás la mayor incertidumbre para los posibles inversores en energía nucleoelectrica de hoy en día sea el precio futuro de las emisiones de carbono en los distintos países.

### A.7.3. Seguridad<sup>7</sup>

47. Los indicadores de la seguridad, como los publicados por la Asociación Mundial de Explotadores de Instalaciones Nucleares y reproducidos en las figuras A-4 y A-5, mejoraron de manera espectacular en el decenio de 1990. En los últimos años, la situación se ha estabilizado en algunos ámbitos. Sin embargo, la diferencia entre las esferas de peor y mejor desempeño sigue siendo considerable, lo que proporciona un amplio margen para seguir realizando mejoras.

48. En el *Examen de la seguridad nuclear* (GC(52)/INF/2) anual del Organismo se presenta información más detallada sobre la seguridad y los últimos adelantos relacionados con todas las aplicaciones nucleares.

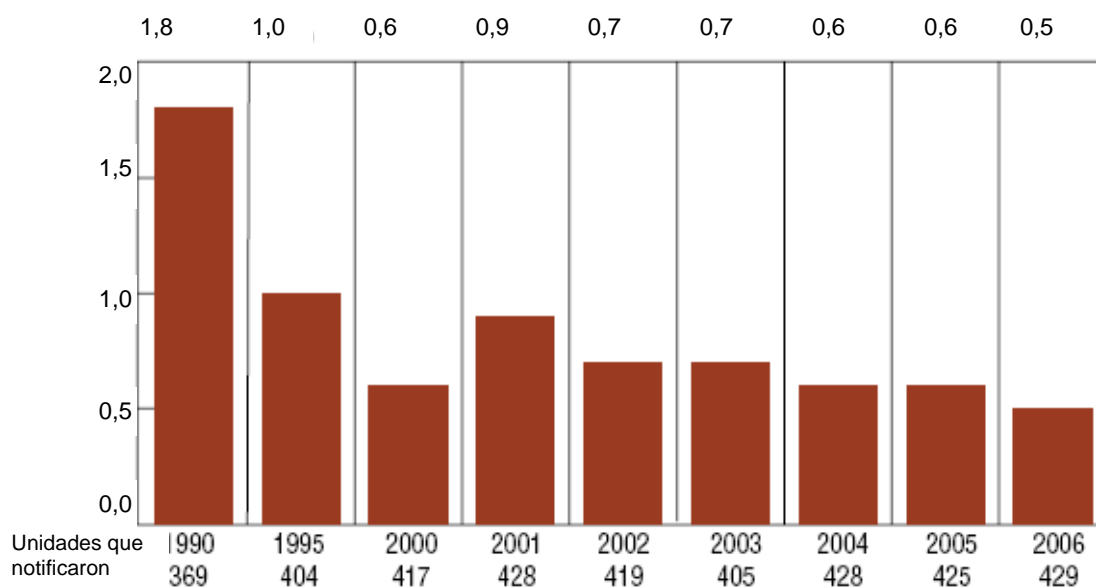


Figura A-4. Paradas de emergencia no previstas por 7 000 horas de criticidad.

Fuente: Indicadores de ejecución de la AMEIN 2006.

<sup>7</sup> Se puede consultar información más detallada sobre las actividades del OIEA relativas a la seguridad nuclear en las secciones pertinentes del Informe Anual para 2006 (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006>), y en la dirección <http://www-ns.iaea.org/>.

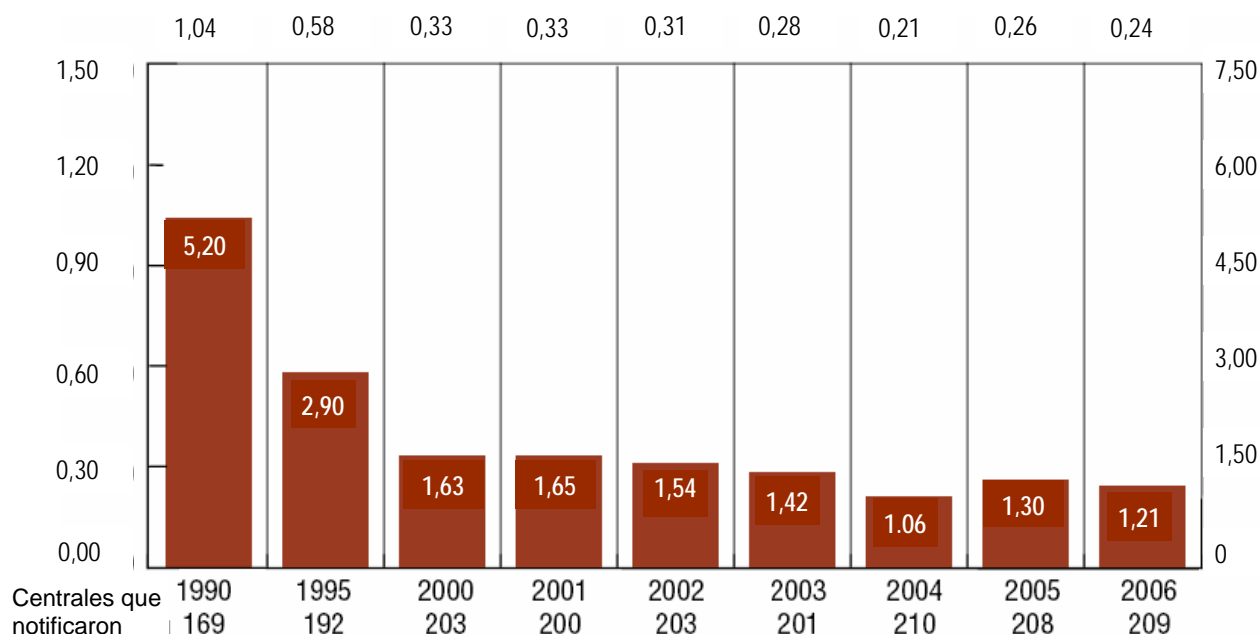


Figura A-5. Accidentes industriales en centrales nucleares por 200 000 horas-persona trabajadas (escala a la izquierda y en la parte superior del gráfico) y por 1 000 000 de horas-persona trabajadas (escala a la derecha y sobre las barras).

Fuente: Indicadores de ejecución de la AMEIN 2006.

#### A.7.4. Desarrollo de los recursos humanos

49. El aumento de las expectativas en relación con la energía nucleoelectrica ha hecho que se centre la atención en los recursos humanos que se precisarían para hacer realidad esas expectativas, incluidos tanto los trabajadores capacitados como los graduados de estudios en la esfera nuclear.

50. En 2007, el Comité Directivo sobre energía nuclear de la AEN/OCDE hizo pública una declaración sobre el papel de los gobiernos en la tarea de garantizar recursos humanos cualificados en la esfera nuclear. La AEN/OCDE señaló que estudios recientes habían mostrado que la enseñanza y la capacitación en el ámbito nuclear en los países de la AEN/OCDE habían sufrido retrocesos en grados distintos, y si no se adoptaban medidas el sector nuclear correría el riesgo de tener que enfrentarse a una escasez de personal cualificado en sus tareas de garantizar la reglamentación y el funcionamiento apropiados de las instalaciones nucleares existentes, así como en la construcción de otras nuevas. En el caso de Europa, esta conclusión se vio reforzada en un informe de 2007 de la Comisión Europea, titulado *The Sustainable Nuclear Energy Technology Platform: A vision report*, en el que se recomendaba que “[...] debe fortalecerse la enseñanza y la capacitación en la ciencia y la ingeniería nuclear”.

51. Tras un período de retroceso, la tendencia actual en cuanto a la matriculación universitaria es de crecimiento modesto, que se ve afectado por:

- la constante necesidad subyacente de disponer de recursos humanos para las aplicaciones no eléctricas, por ejemplo, las aplicaciones médicas y la agricultura;
- la necesidad aún existente en los programas nucleares desarrollados y las organizaciones nucleares establecidas de sustituir al personal que se jubila; y
- las previsiones de crecimiento futuro que llevan a un aumento de la admisión de nuevo personal en la industria nuclear, incluidas las compañías eléctricas, las autoridades reguladoras y las organizaciones de investigación.

52. El crecimiento futuro previsible, las recientes iniciativas en innovación tecnológica (véase la sección B), el aumento de la financiación gubernamental, la aceleración de los programas nucleares en países como China y la India y la reanudación de programas nucleares en otros países también están atrayendo a nuevos estudiantes; por ejemplo, la financiación gubernamental destinada a este fin en los Estados Unidos ha dado lugar a que la matriculación de estudiantes universitarios en la esfera nuclear se haya cuadruplicado (de 500 a 2 000) desde 2000 hasta 2007.

53. Las cuestiones relativas a los recursos humanos también están siendo abordadas en el marco de programas cada vez más amplios de gestión de los conocimientos nucleares que realizan organizaciones internacionales y organizaciones de la industria nuclear. Además del OIEA y de la capacitación que brinda en esferas que van de los simuladores de reactores al derecho nuclear<sup>8</sup>, otros ejemplos son autoridades reguladoras como la NRC de los Estados Unidos, compañías eléctricas como Energie Baden-Württemberg (EnBW) en Alemania y diseñadores como AECL del Canadá. Además, la creación de redes y la cooperación a nivel académico se han extendido más. La Red asiática de enseñanza de tecnología nuclear cuenta ya con 28 instituciones miembros de 12 países. La Red Europea de Enseñanza Nuclear consta actualmente de 28 miembros, más 16 miembros asociados, de 17 países. El tercer Curso de Verano de la Universidad Nuclear Mundial se celebró en Seúl (República de Corea) en 2007, y atrajo a 102 becarios de 35 países.

## **B. Fisión avanzada y fusión**

### **B.1. Fisión avanzada<sup>9</sup>**

#### **B.1.1. El INPRO y el GIF**

54. El Proyecto Internacional sobre ciclos del combustible y reactores nucleares innovadores (INPRO) del Organismo constituye un foro internacional abierto para el estudio de las opciones que presenta la energía nucleoelectrónica y los requisitos asociados. Contribuye a acumular competencia para el desarrollo y la utilización de sistemas de energía nuclear innovadores (SENI) y ayuda a los Estados Miembros a coordinar los proyectos de colaboración conexos.

55. El INPRO ha elaborado una metodología para evaluar los SENI. Actualmente la Argentina, Armenia, el Brasil, China, Francia, la India, Ucrania y la Comisión Europea la están utilizando en estudios de evaluación, y el Canadá, China, la Federación de Rusia, la India, el Japón, la República de Corea y Ucrania la están utilizando en una evaluación conjunta de un ciclo del combustible cerrado con reactores rápidos.

---

<sup>8</sup> En 2007 el programa de cooperación técnica del Organismo dio apoyo a proyectos que contaron con 2 287 participantes en cursos de capacitación y 1 661 becarios y visitantes científicos.

<sup>9</sup> Se puede consultar información más detallada sobre las actividades del OIEA relativas a los reactores de fisión avanzada en las secciones pertinentes del Informe Anual para 2006 (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>). Véanse también las publicaciones tituladas “Terms for describing new, advanced nuclear power plants” TECDOC 936, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (Austria), 1997; “Status of liquid metal cooled fast reactor technology”, TECDOC 1083, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (Austria), 1999; “Current status and future development of modular high temperature gas cooled reactor technology”, TECDOC 1198, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (Austria), 2001; “HWRs: Status and projected development” TRS 407, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (Austria), 2002; “Review of national accelerator driven system programmes for partitioning and transmutation”, TECDOC 1365, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (Austria), 2003; “Status of Advanced Light Water Reactor Designs: 2004”, TECDOC 1391, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (Austria), 2004; “Status of innovative small and medium sized reactor designs”, TECDOC 1485, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (Austria), 2005; “Status of Small Reactor Designs without On-site Refuelling”, TECDOC 1536, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (Austria), 2007.



56. El INPRO también está elaborando criterios comunes para los usuarios con miras al desarrollo y la explotación de nuevas centrales nucleares en los países en desarrollo. El objetivo es facilitar la comprensión entre los usuarios y los propietarios de las tecnologías en lo que se refiere a las necesidades de los usuarios.

57. Por último, se están realizando progresos en 12 propuestas de proyectos de colaboración que fueron aprobadas por el Comité Directivo del INPRO en julio de 2007.

58. Mediante un sistema de contratos y acuerdos, el Foro Internacional de la Generación IV (GIF) coordina actividades de investigación sobre los seis sistemas de energía nuclear de la próxima generación seleccionados en 2002 y descritos en la publicación *A Technology Roadmap for the Generation IV Nuclear Energy Systems*: los reactores rápidos refrigerados por gas, los reactores rápidos refrigerados por plomo, los reactores de sales fundidas, los reactores rápidos refrigerados por sodio, los reactores refrigerados por agua supercrítica y los reactores de muy alta temperatura.

59. En 2007 se firmaron las disposiciones relativas al proyecto del reactor rápido refrigerado por sodio para realizar actividades de investigación y desarrollo sobre combustibles avanzados, el diseño de componentes y la parte no nuclear de la central, así como la demostración internacional del ciclo completo de los actínidos, cuyo objetivo es demostrar que los reactores de neutrones rápidos pueden gestionar todo el inventario de los actínidos. Se finalizaron los planes de investigación del sistema del reactor refrigerado por agua supercrítica y del reactor rápido refrigerado por gas, y, en cuanto a los reactores de muy alta temperatura, las disposiciones relativas al proyecto se encontraban en las últimas fases de negociación para estudiar el desarrollo y la validación de los materiales para estos reactores, así como cuestiones relativas a los combustibles y al ciclo del combustible, y la producción de hidrógeno. El INPRO y el GIF cooperan con el fin de evitar la duplicación y crear sinergia, y en febrero de 2008 acordaron un plan de acción conjunto de 14 puntos que incluye el uso por el Organismo del modelo ECONS de evaluación económica del GIF para calcular los costos de los reactores refrigerados por gas y el uso por el GIF del modelo de evaluación económica del Organismo para el hidrógeno producido con técnicas nucleares (HEEP).

### **B.1.2. La GNEP**

60. La Alianza Mundial por la Energía Nuclear (GNEP) es un esfuerzo de cooperación por parte de 19 países<sup>10</sup> que están de acuerdo en la necesidad de ampliar el uso de la energía nuclear en todo el mundo. El objetivo es acelerar la creación y utilización de tecnologías avanzadas del ciclo del combustible para fomentar el desarrollo, proteger el medio ambiente y reducir el riesgo de la proliferación nuclear. En 2007, la GNEP estableció un comité ejecutivo a nivel ministerial y un comité directivo que celebraron reuniones iniciales durante el año, así como grupos de trabajo sobre servicios fiables relacionados con el combustible nuclear y sobre desarrollo de infraestructuras.

### **B.1.3. Otros avances en la esfera de la fisión avanzada**

61. Además del INPRO, el GIF y la GNEP, varios países, empresas y asociaciones están realizando actividades de investigación, desarrollo y uso de reactores de fisión avanzada. Esos programas se resumieron en el documento *Examen de la tecnología nuclear 2007*<sup>11</sup>. En 2007 prosiguieron en gran medida los progresos notificados respecto de 2006 y, por lo tanto, no se resumen de nuevo en el *Examen de la tecnología nuclear 2008*.

---

<sup>10</sup> Al final de 2007.

<sup>11</sup> <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/assets/ntr2007.pdf>

## **B.2. Fusión**

62. Los esfuerzos internacionales encaminados a lograr que la fusión sea una fuente de energía futura recibieron el apoyo decidido de siete partes en el proyecto del Reactor termonuclear experimental internacional (ITER) (China, los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, la India, el Japón, la República de Corea y la Unión Europea) cuando el Acuerdo para la ejecución conjunta del ITER fue finalizado y firmado en una reunión ministerial en París el 21 de noviembre de 2006. El acuerdo fue posteriormente ratificado por todos los respectivos Gobiernos. El Acuerdo para la ejecución conjunta entró en vigor el 24 de octubre de 2007, confiriendo así personalidad jurídica a la Organización Internacional de Energía de Fusión del ITER. El Organismo ha estado asociado a esta importante iniciativa internacional desde hace más de 20 años, y las partes en el ITER han expresado un vivo interés por mantener la participación continua del Organismo, que actúa como importante punto de contacto internacional para las partes en el ITER y todos los Estados Miembros en lo que concierne a las actividades relacionadas con la enseñanza y la capacitación en materia de fusión. Los expertos que trabajan en dispositivos de fusión más pequeños pueden ayudar en el diseño definitivo de los reactores de fusión reuniéndose regularmente bajo los auspicios del OIEA para debatir sus logros técnicos. El Organismo también constituye un foro para expertos internacionales que realizan investigaciones sobre el diseño de centrales nucleares basándose en el confinamiento magnético y planes alternativos. La futura central de demostración de la fusión hará uso de la experiencia acumulada por el ITER.

63. Con miras a acelerar la realización de la energía de fusión, la EURATOM y el Japón han acordado trabajar de consuno en el marco del acuerdo de “enfoque más amplio” en los próximos diez años. La infraestructura necesaria para avanzar más hacia el establecimiento de una instalación de demostración para la producción de electricidad a base de energía de fusión incluye la Instalación Internacional de Radiación de Materiales de Fusión (IFMIF) que se utilizará para la comprobación y cualificación de materiales para reactores de fusión.

64. En la quinta Conferencia Internacional sobre ciencias y aplicaciones de la fusión inercial, celebrada en el Japón en septiembre de 2007, se destacaron los logros alcanzados en el ámbito de la fusión mediante los rayos láser, la radiación o los haces de iones pesados como medios para comprimir la pastilla de fusión de deuterio-tritio. La incorporación de una reunión técnica del Organismo en esta conferencia internacional brindó la posibilidad de que expertos, que recibían apoyo en el marco de un proyecto coordinado de investigación sobre energía de fusión inercial, presentaran sus trabajos a un público amplio y experimentado, incluidas instituciones importantes como la Instalación nacional de ignición de los Estados Unidos, el proyecto francés Láser Megajoule y los proyectos del Experimento de ignición rápida (FIREX) en el Instituto de Ingeniería de Láser de Osaka (Japón). El año 2008 marca el 50º aniversario de la revelación de los resultados de la investigación sobre la fusión nuclear para uso civil en la segunda conferencia “Átomos para la paz” celebrada en 1958 en Ginebra. La 22ª Conferencia del OIEA sobre energía de fusión, FEC-2008, se celebrará en octubre de este año en la misma sede, el Palais des Nations de Ginebra, que coauspicia Suiza para conmemorar la reunión de 1958.

65. El interés por las actividades de fusión está aumentando en muchos países. Muestra de ello es la reciente puesta en marcha por el Ministro de Ciencia y Tecnología del Brasil de una red brasileña de investigación sobre la fusión. En esta red se agruparán las actividades de distintas universidades, instituciones de investigación y laboratorios a fin de establecer prioridades y fomentar la colaboración internacional. Portugal acogió experimentos conjuntos sobre fusión, lo que permitió que unos 29 jóvenes expertos internacionales utilizaran el tokamak ISTTOK portugués para realizar experimentos relacionados con el diseño futuro de experimentos de fusión y la participación a distancia.

## C. Datos atómicos y nucleares

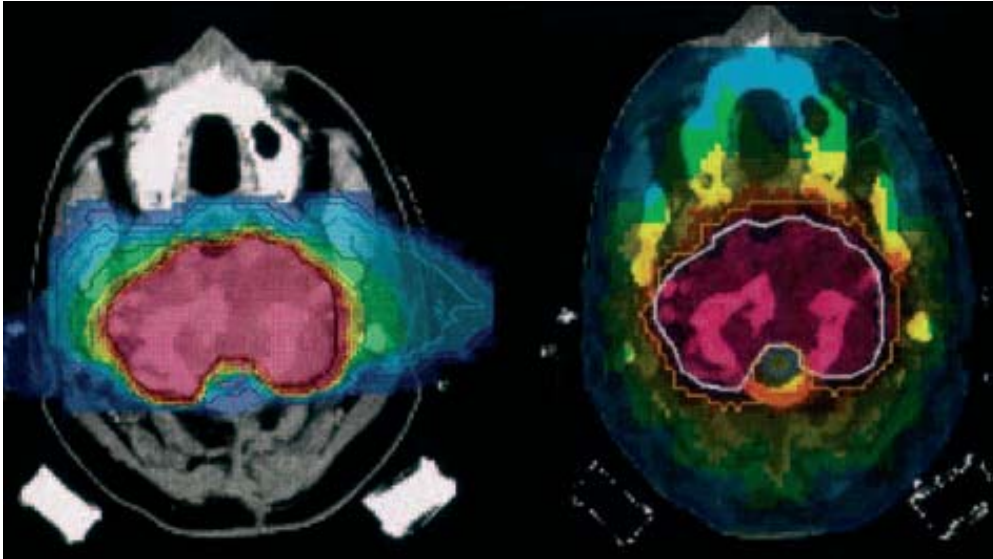
66. La Conferencia Internacional sobre datos nucleares para la ciencia y la tecnología tuvo lugar en Niza (Francia) del 22 al 27 de abril de 2007. Durante seis días de intenso debate se hizo especial hincapié en las necesidades de datos en relación con: los reactores innovadores y los ciclos del combustible (reactores de fisión más seguros, limpios y económicos); las actividades destinadas a lograr la construcción de reactores de fusión (por ejemplo, el ITER) y a someter a ensayo materiales necesarios en esas instalaciones (por ejemplo, la Instalación Internacional de Irradiación de Materiales de Fusión); los sistemas accionados por aceleradores (SAA) diseñados para transmutar desechos nucleares y producir energía; las aplicaciones médicas, incluida la producción de radioisótopos, las simulaciones por computador de dosis de radiación administradas a los pacientes, y las terapias avanzadas contra el cáncer mediante partículas cargadas; y las técnicas analíticas que se están adoptando para estudiar el patrimonio cultural y analizar la composición de materiales.

67. Los científicos están colaborando en cada una de esas esferas y se están desplegando esfuerzos a escala nacional e internacional para aclarar y resolver cuestiones relativas a los datos atómicos y nucleares con miras a mejorar la comprensión y cuantificación en esos estudios.

68. El 11 de enero de 2007 se puso en marcha en Karlsruhe (Alemania) un nuevo proyecto llamado EFNUDAT (European Facilities for Nuclear Data Measurements), una Iniciativa integrada de infraestructuras financiada por la Comisión Europea. El objetivo principal de EFNUDAT es promover el uso coherente y la integración de servicios relacionados con las infraestructuras mediante la creación de redes, el acceso transnacional a las instalaciones participantes para la medición de datos nucleares, y la realización de actividades conjuntas de investigación. El EFNUDAT constituirá una práctica plataforma para integrar todas las actividades científicas destinadas a generar mediciones de datos nucleares de alta calidad en apoyo de estudios sobre la transmutación de los desechos y estudios de diseño para los sistemas de la Generación IV que se están desarrollando con miras a reducir la producción de desechos radiactivos al generar electricidad.

69. Tanto los Estados Unidos de América como la AEN/OCDE pusieron a disposición nuevas bibliotecas sobre aplicaciones nucleares en 2006/2007 (US ENDF/B-VII y JEFF-3.1.1, respectivamente) en las que se introdujeron grandes cantidades de datos nuevos para mejorar aún más la caracterización y el control de las operaciones de los reactores de fisión y fusión. Los datos se emplearán para mejorar la fiabilidad y la eficacia, y serán de ayuda en la reducción de desechos. También se pueden extraer bases de datos para el desarrollo de sistemas accionados por acelerador. Estas bibliotecas, junto con la base de datos EXFOR (datos experimentales sobre reacciones nucleares) se están empleando en técnicas analíticas nucleares no destructivas como el análisis por activación neutrónica y el análisis con haces de iones, que se usan para la caracterización química e isotópica de objetos valiosos de los que sólo se necesita una muestra diminuta.

70. Además de las fuentes tradicionales de rayos X y de rayos beta y gamma para los tratamientos y los diagnósticos, la irradiación directa de pacientes con partículas cargadas producidas mediante acelerador ha ido adquiriendo cada vez más importancia. Una ventaja de las partículas cargadas es que evitan la irradiación de tejido sano (véase la figura C-1). El Organismo, al mismo tiempo que reconoce la necesidad de disponer de datos exactos para diseñar y planificar las instalaciones de tratamiento de los pacientes, está fomentando la evaluación de datos sobre la interacción de las partículas cargadas para las aplicaciones médicas.

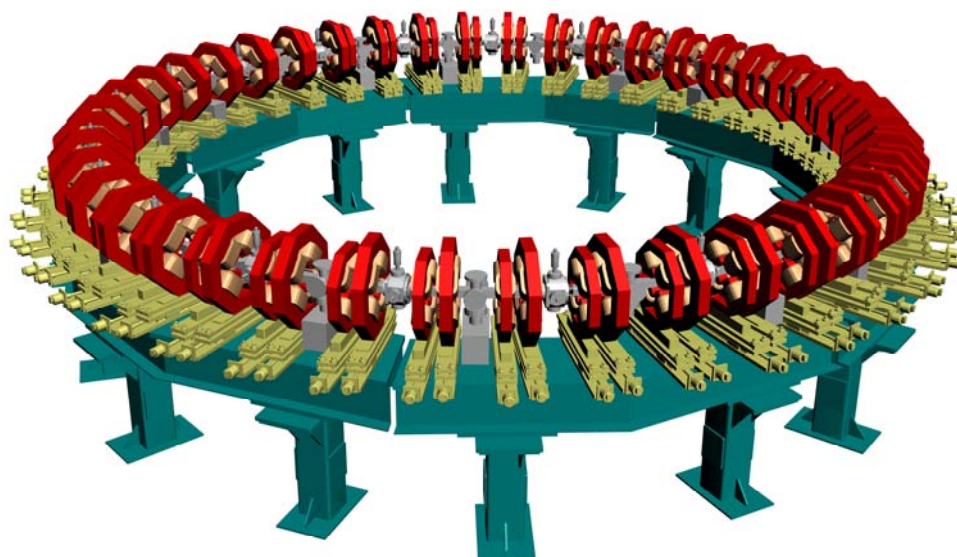


*Figura C-1. Comparación de un plan de tratamiento con iones de carbono (izquierda) y con rayos X convencionales (derecha); el volumen blanco es irradiado pero la dosis que reciben los tejidos sanos en el caso de los iones de carbono es mucho menor. La exactitud de la planificación depende de la fiabilidad de la base de datos sobre partículas cargadas (Imagen: CSI (Alemania)).*

## **D. Aplicaciones de los aceleradores y de los reactores de investigación**

### **D.1. Aceleradores**

71. En el Laboratorio de Daresbury, en el Reino Unido, se ha iniciado la construcción del primer acelerador de campo fijo y gradiente alterno no proporcional (NS-FFAG) del mundo (véase la figura D-1.). Se prevé que el acelerador NS-FFAG, inventado en 1999, sea muy importante dentro del grupo de aceleradores clínicos de la próxima generación en hospitales para el tratamiento del cáncer con haces protones y de iones de carbono. Es más pequeño, más barato y su funcionamiento es más sencillo que los ciclotrones y los sincrotrones, sus homólogos en el tratamiento del cáncer. Este acelerador NS-FFAG de haz de electrones suministrará información útil para el diseño y la construcción futuros de un prototipo de acelerador para aplicaciones médicas, y conocimientos que permitirán evaluar su potencial como vector de protones para su uso en reactores subcríticos accionados por acelerador, la transmutación de desechos y la investigación de materiales. Este primer NS-FFAG se está diseñando en el marco de una asociación internacional en la que participan el Laboratorio Nacional de Brookhaven (BNL), la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN), el Laboratorio Nacional de Aceleradores Fermi (Fermilab), el Laboratorio de Física Subatómica y de Cosmología (LPSC), TRIUMF y los centros de ciencias de los aceleradores del Reino Unido, y está previsto que entre en funcionamiento en 2009.



*Figura D-1. Disposición conceptual del anillo del acelerador NS-FFAG.*

## **D.2. Reactores de investigación**

72. En marzo de 2007 comenzó en Francia la construcción del reactor de ensayo de materiales Jules Horowitz de 100 MW(t). El reactor, que constituirá una instalación fundamental de la infraestructura de la UE en apoyo del desarrollo de la energía nucleolétrica, producirá radioisótopos e irradiará silicio para su uso electrónico, está siendo construido por el Comisariado de Energía Atómica (CEA) de Francia y su financiación corre a cargo de un consorcio internacional. En espera de que se disponga de combustible de alta densidad de uranio poco enriquecido (UPE)-molibdeno (U-Mo), el reactor se pondrá en marcha utilizando combustible de siliciuro de uranio enriquecido al 27%. En Bélgica, el establecimiento de una nueva instalación de irradiación accionada por acelerador, MYRRHA, está en etapa avanzada. La MYRRHA está destinada a servir de instalación de investigación de propósitos múltiples de Europa para estudiar, entre otras cosas, la transmutación de desechos radiactivos de actividad alta y período largo y el comportamiento de componentes y materiales innovadores para futuros sistemas energéticos.

73. La cooperación regional fue ampliamente debatida en la Conferencia Internacional sobre reactores de investigación: gestión segura y utilización eficaz, celebrada en Sydney (Australia) del 5 al 9 de noviembre de 2007. En la conferencia se llegó a la conclusión, entre otras cosas, de que la colaboración internacional había sido satisfactoria en varios casos y de que era fundamental para satisfacer con éxito las necesidades de los clientes y mantener instituciones financieramente sólidas en el futuro; que los consorcios, las coaliciones y las redes de homólogos podían desarrollar y mantener la utilización eficaz; y que el Organismo debería seguir facilitando la creación de grupos de entidades explotadoras de reactores de investigación, reconociendo que no existe ningún modelo único adecuado para todas las situaciones.

74. El objetivo del programa de enriquecimiento reducido para reactores de investigación y ensayo (RERTR), y de otras iniciativas como la Iniciativa para la reducción de la amenaza mundial (IRAM), es convertir los reactores de investigación que utilizan combustible de uranio muy enriquecido (UME) en reactores que utilicen combustible de uranio poco enriquecido (UPE). A finales de 2007 se habían convertido en todo el mundo 55 reactores de investigación para que utilizaran combustible de UPE, y está previsto convertir otros 46 con combustibles existentes que cumplen los requisitos necesarios. La elaboración y cualificación de combustibles avanzados de U-Mo de muy alta densidad son necesarias para convertir otros 28 reactores de investigación que utilizan UME en reactores que utilicen UPE. El apoyo constante a la coordinación internacional del desarrollo y la cualificación esenciales de los combustibles de UPE de alta densidad ha avanzado adecuadamente, según la presentaciones realizadas en las reuniones anuales del programa RERTR y en la Reunión Temática Internacional sobre gestión del combustible de reactores de investigación (RRFM) en 2007.

75. Los esfuerzos desplegados para abordar las deficiencias en el comportamiento de los combustibles de dispersión de U-Mo de muy alta densidad, especialmente a potencias y temperaturas elevadas, se notificaron en el *Examen de la tecnología nuclear 2007*. Un Grupo Internacional de Trabajo sobre el desarrollo de combustibles, compuesto por Alemania, la Argentina, el Canadá, los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, Francia y la República de Corea, está estudiando en colaboración varios remedios posibles, como cambios en la química del combustible y de la matriz o la sustitución de la matriz de aluminio por otro material, así como una estrategia alternativa de eliminación de la matriz (combustible monolítico).

76. Los resultados del examen post-irradiación de las miniplacas de combustible de dispersión de U-Mo irradiadas en los ensayos estadounidenses mostraron que la adición de 2% a 5% de silicio reducía drásticamente el grado de interacción entre el combustible y la matriz y resolvía eficazmente los problemas de dilatación en las condiciones de potencia y temperatura de los ensayos.

77. Los resultados de los ensayos de irradiación franceses de placas de dispersión de U-Mo de tamaño real con polvo de U-Mo molido o atomizado y diferentes composiciones de matrices de aluminio con o sin la adición de silicio mostraron muy buenos resultados tras la irradiación a alta potencia y con alto grado de quemado, incluso sin que se añadiera silicio a la matriz. Este comportamiento se puede atribuir, en principio, a la presencia de una capa protectora de óxido alrededor de las partículas.

78. Se precisa combustible monolítico de U-Mo con una densidad de uranio mayor para convertir los reactores de investigación de alto rendimiento y se están destinando considerables esfuerzos a este fin. Las miniplacas de combustible monolítico han sido irradiadas con buenos resultados tanto con una densidad de potencia y quemado moderados como con una densidad de potencia muy elevada y quemado elevado. Se están elaborando y tratando de poner en práctica diferentes técnicas de fabricación de combustible monolítico de U-Mo.

## E. Tecnologías nucleares en la agricultura y la alimentación

### E.1. Mejora de los cultivos

79. Las mutaciones de cultivos inducidas se han convertido en el método preferido para crear variedades de cultivos superiores, lo que ha dado lugar a la aprobación oficial para el cultivo de aproximadamente 3 000 variedades mutantes (figura E-1). Los mutantes de “primera generación”, de acuerdo con los objetivos de reproducción del momento, abordaron la necesidad de obtener más rendimiento mediante el uso más eficiente de nutrientes y la resistencia al estrés biótico y abiótico. Con el logro de la estabilización del rendimiento de los cultivos más importantes, el énfasis de los programas de fitotecnia se ha desplazado ahora a la introducción de rasgos de valor añadido que permitan la diversificación de los usos finales, atraigan más ingresos gracias a una mayor competitividad y aborden necesidades dietéticas específicas. Esos rasgos sólo requieren pequeños cambios de los factores hereditarios (genes), para lo que la mutagénesis inducida es particularmente idónea.

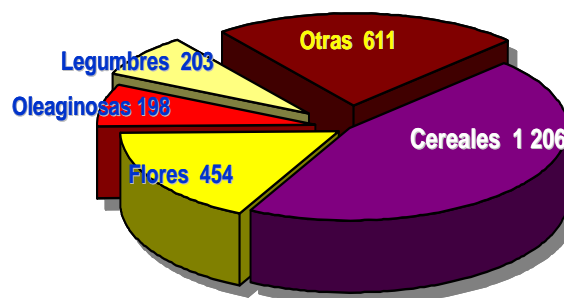


Figura E-1. Variedades mutantes (2007)  
Fuentes: Base de datos sobre variedades mutantes de la  
FAO/OIEA  
(<http://www-mvd.iaea.org>)

Esos rasgos sólo requieren pequeños cambios de los factores hereditarios (genes), para lo que la mutagénesis inducida es particularmente idónea.

80. Entre las variedades inducidas de cultivos mutantes distribuidas recientemente con rasgos de calidad mejorados, que satisfacen las necesidades específicas antes mencionadas, figuran dos variedades de cebada más nutritivas (el contenido reducido de ácido fítico tiene la posibilidad de aumentar la biodisponibilidad de hierro, zinc y calcio), llamadas “Clearwater” y “Herald”. Al utilizar estas dos variedades en los piensos, por ejemplo, los ganaderos realizan ahorros importantes ya que no tienen que adquirir costosos suplementos dietéticos para contrarrestar los efectos del ácido fítico. El empleo de estos mutantes también contribuye a que el medio ambiente sea más limpio, ya que la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales con exceso de fósforo asociada a la alimentación del ganado con variedades de la cebada con alto contenido de ácido fítico se elimina en gran medida.

81. Las mutaciones inducidas también están ampliando los posibles usos de la soja mediante la mejora de su valor nutricional. La variedad Sakukei 4, recientemente distribuida en el Japón, es capaz de fijar el nitrógeno y, por lo tanto, básicamente se convierte en su propio fertilizante, salvando así la necesidad de utilizar otros fertilizantes. Esto se traduce en importantes ahorros para los ganaderos. Otras variedades inducidas mutantes de la soja que se han distribuido recientemente son la variedad “Yumenori”, que tiene un alto contenido del precursor de proteínas “buenas”, la glicina, y la variedad “Ichihime”, que no contiene lipoxigenasa, una enzima vegetal natural presente en el origen de enfermedades como el asma y las cardiopatías coronarias.

## **E.2. Generación de biocombustibles mejorados**

82. Muchos países han fijado objetivos y calendarios para complementar la gasolina con combustibles derivados de recursos renovables. Se deberá incrementar la producción de etanol y biodiésel para cumplir esos objetivos, muchos de los cuales se han fijado para el futuro próximo. Entre otras actividades, esto requerirá un cambio de la producción de etanol basada en el almidón a la basada en la celulosa. La mejora genética de los cultivos de biomasa ofrece posibilidades de mejorar el rendimiento global de la biomasa y la eficacia de su conversión. Una forma eficaz de lograr esos objetivos es mediante un programa de fitotecnia mejorada por inducción de mutaciones, de acuerdo con el cual la selección se basa en genes individuales y no en amplias regiones cromosómicas que contienen ese rasgo particular. Recientemente se evaluó la composición de la pared celular del maíz con un cribado genético de alto rendimiento, lo que dio lugar a una colección de mutantes que ahora pueden evaluarse en lo que se refiere a su eficacia para la conversión de la biomasa. Los genes mutantes pueden incorporarse a un programa de fitotecnia, o se puede utilizar la secuencia genética para identificar variantes naturales que revistan interés.

## **E.3. Mejora de la productividad y la salud pecuarias**

83. Las aplicaciones de la tecnología nuclear desarrolladas para satisfacer necesidades específicas y singulares se emplean con creciente frecuencia para obtener más ganado y productos pecuarios de mejor calidad. Las tendencias actuales indican que las técnicas desempeñarán papeles importantes en la mejora de la nutrición, la reproducción y la salud de los animales. El radioinmunoanálisis, por ejemplo, se utiliza actualmente para medir la concentración de moléculas específicas de una muestra biológica, etiquetar microbios del rumen, evaluar piensos, y analizar la conversión de piensos en nutrientes y su absorción. El enzimoimmunoanálisis por adsorción (ELISA) se utiliza ampliamente para la evaluación, identificación y vigilancia de anticuerpos tomados como objetivo a fin de detectar la exposición de los animales a los patógenos. La reacción en cadena de la polimerasa (PCR), o la secuenciación por PCR, se utiliza para la detección y la caracterización moleculares de patógenos de enfermedades pecuarias mediante el marcado directo del ADN para seleccionar o confirmar rasgos genómicos determinados que son deseables (carne más magra, más leche, tolerancia a las enfermedades, etc.), o para determinar el parentesco u origen de un animal. Estas nuevas aplicaciones de las tecnologías nucleares continuamente pasan a formar parte de las prácticas veterinarias.

84. El uso de isótopos estables, de vacunas irradiadas y de la tecnología de emisión de positrones brindan posibilidades para el futuro. Los isótopos estables siguen utilizándose en aplicaciones relacionadas con la producción pecuaria y la salud animal. El etiquetado del carbono 13 y el nitrógeno 15 se utiliza en métodos destinados a vigilar de modo experimental el metabolismo de la

absorción de carbohidratos, proteínas y nutrientes. Cada vez se utiliza más una técnica de dilución de agua marcada con isótopos estables (óxido de deuterio) para determinar la masa corporal magra, el contenido de grasa, la composición corporal, el agua corporal total y la ingestión de leche por los terneros. La concentración de óxido de deuterio en los líquidos corporales se mide por espectrometría de masas de relación isotópica, o por espectroscopia infrarroja. La espectrometría de masas de relación isotópica se usa también en la patogenicidad y otros estudios fisiológicos, así como para determinar de forma no invasiva el origen geográfico de los productos pecuarios. Es posible que el hecho de poder determinar con exactitud dicho origen permita a los Estados Miembros gozar de más oportunidades económicas. Por ejemplo, si una enfermedad dada se puede erradicar en todas partes salvo en pequeñas regiones determinadas de un país, la exportación de productos pecuarios de otras áreas puede justificarse siempre y cuando se pueda determinar con exactitud que esos productos proceden de zonas libres de la enfermedad. Además, este método puede ser útil para determinar las posibles funciones de la fauna silvestre como portadora de enfermedades de los animales, por ejemplo, la contribución de las aves migratorias a la propagación de la gripe aviar desde las zonas endémicas hacia zonas no infectadas.

85. La inactivación de vacunas por irradiación produce patógenos muertos que imitan mejor la pauta de inducción inmunológica de los patógenos vivos. Esto abre una nueva vía a la inmunización específicamente en el caso de enfermedades como la malaria, la fiebre aftosa, la fiebre del valle del Rift o la neospora en el ganado, ya que las vacunas genéticamente manipuladas tuvieron poco éxito. Se han iniciado las investigaciones sobre vacunas irradiadas contra parásitos de la sangre presentes en el ganado.

86. En los últimos años se ha asistido a la transferencia con fines veterinarios de muchas tecnologías médicas para seres humanos. Un ejemplo de ello es la tomografía por emisión de positrones (PET). Los veterinarios utilizan la PET para diagnosticar tumores y otras irregularidades de los tejidos en animales de gran valor como los caballos de carreras o los toros. El uso de la PET puede reducir los costos y aumentar el bienestar de los animales al ser menor la necesidad de la cirugía de exploración.

## **E.4. Lucha contra plagas de insectos**

### **E.4.1. Aplicación de la TIE para luchar contra la mosca tsetse**

87. Se están llevando a cabo actividades encaminadas a ampliar el uso de la técnica de los insectos estériles (TIE) para luchar contra la mosca tsetse en áreas prioritarias, como la zona meridional del valle del Rift en Etiopía. Los primeros dos módulos del amplio centro de cría e irradiación de la mosca tsetse, situado en Kaliti, cerca de Addis Abeba, del Proyecto de erradicación de la mosca tsetse en la zona meridional del valle del Rift se inauguraron oficialmente el 3 de febrero de 2007. La inauguración tuvo lugar tras la Conferencia de donantes especiales de la Campaña panafricana de erradicación de la mosca tsetse y la tripanosomiasis de la Unión Africana. La instalación finalizada constará de siete módulos y llegará a tener capacidad para criar al menos a siete millones de hembras de mosca tsetse, que pueden producir aproximadamente 700 000 machos estériles por semana, lo cual es suficiente para abarcar áreas de entre 4 500 y 7 500 km<sup>2</sup>. En Kaliti se ha registrado un aumento constante del tamaño de la colonia de la mosca tsetse, pero aún hace falta un incremento importante para alcanzar el número de moscas tsetse necesario a fin de iniciar la fase operacional de la TIE. En mayo de 2007 se realizaron con éxito los primeros ensayos de suelta de machos estériles de la mosca tsetse a fin de evaluar los resultados sobre el terreno, que indicaron que habían sobrevivido y se dispersaban según es necesario para llevar a cabo un programa futuro de erradicación.



*Construcción del Centro de cría e irradiación de la mosca tsetse de Kaliti, Addis Abeba (Etiopía)*



88. Los procedimientos operacionales normalizados FAO/OIEA para la cría en masa de la mosca tsetsé han finalizado recientemente. Se trata de una importante contribución a la aplicación de la TIE contra la mosca tsetsé, ya que constituye el primer esquema general de todos los procedimientos incluidos en la creación de colonias, la cría en masa, la recopilación, el tratamiento y el almacenamiento de la sangre, y el control de calidad de las moscas estériles.

#### **E.4.2. Aplicación de la TIE para luchar contra la mosca de la fruta**

89. La mosca mediterránea de la fruta, *Ceratitis capitata* (moscamed) figura entre los insectos más importantes que interfieren en el comercio agrícola internacional. A fin de superar los obstáculos a las exportaciones de cítricos frescos, España está aplicando la técnica de los insectos estériles en la región de Valencia, que representa el 80% de las exportaciones de cítricos del país. La segunda instalación más grande del mundo de producción en masa de moscamed fue inaugurada recientemente, en abril, en Valencia (España). Esa instalación, la primera en Europa en producción de insectos a gran escala, constituye un estratégico paso adelante en la gestión integrada de plagas en toda una zona para la comunidad agrícola de Valencia. La planta tiene capacidad para producir entre 500 y 600 millones de moscamed macho estériles por semana, y abre el camino para que España suprima las poblaciones de moscamed de forma más inocua para el medio ambiente. La inversión permitirá que la industria de la fruta en Valencia reduzca el uso de insecticidas y tenga acceso a nuevos mercados de exportación.



*Instalación recientemente inaugurada de cría en masa de la mosca mediterránea de la fruta en Valencia (España).*

#### **E.4.3. Aplicación de la TIE para luchar contra la polilla**

90. En Citrusdal, un valle en el Cabo Occidental (Sudáfrica), donde unas 6 000 ha de terreno están destinados a la producción de cítricos para su exportación, se ha estado llevando a cabo un proyecto piloto contra la palomilla falsa, *Thaumatotibia leucotreta*, en colaboración con la FAO y el OIEA. Se trata de la plaga de cítricos más grave de Sudáfrica. Resulta difícil luchar contra la polilla debido a su resistencia a los insecticidas, y constituye un obstáculo internacional clave a las exportaciones de cítricos. En vista de los resultados positivos logrados, la industria de los cítricos ha decidido resolver el problema introduciendo el uso de la TIE y se ha comprometido a iniciar un programa comercial basado en la TIE en el futuro próximo. El posible uso de los isótopos estables se está estudiando como nuevo instrumento de investigación para comprender los procesos ecológicos de las plagas de insectos transfronterizas, como la langosta del desierto, y conocer mejor el comportamiento del insecto. El mejor conocimiento de la biología y ecología de este tipo de plagas migratorias podría en última instancia contribuir al desarrollo de estrategias de control más eficientes.

## **E.5. Irradiación de alimentos**

91. Las pérdidas de alimentos causadas por las plagas, la contaminación y el deterioro son enormes. Se estima que el 42% de la producción de los ocho principales cultivos alimentarios y comerciales del mundo se pierde debido a las plagas, y que las pérdidas posteriores a las cosechas constituyen un 10% más. A pesar del uso de sistemas modernos de elaboración y distribución de alimentos, las enfermedades transmitidas por los alimentos también plantean una amplia amenaza para la salud humana, y son además un factor importante en la reducción de la productividad económica en todos los países. Por lo tanto, el objetivo de garantizar la inocuidad y calidad de los alimentos y productos básicos agrícolas es uno de los componentes esenciales de las medidas de respuesta nacionales para hacer frente al doble desafío de la creciente urbanización y la mejora de la salud pública.

92. La irradiación de los alimentos es un valioso instrumento para abordar la reducción de las pérdidas debidas al deterioro de los alimentos, la lucha contra los microbios y otros organismos que causan enfermedades transmitidas por los alimentos, y el cumplimiento de requisitos sanitarios y fitosanitarios<sup>12</sup>. Además del uso continuo de la irradiación con fines de salud, su uso en aplicaciones fitosanitarias, especialmente las relacionadas con medidas de cuarentena, ha aumentado. Se han elaborado normas internacionales y códigos de prácticas para fomentar la aplicación de esta tecnología de elaboración de alimentos en colaboración con la Comisión del Codex Alimentarius FAO/OIEA y la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria.

## **F. Salud humana**

### **F.1. Enfoque individualizado del tratamiento contra el cáncer mediante la medicina nuclear**

93. Para tratar el cáncer con éxito es necesario entender de forma global la compleja interacción entre los diversos factores que propician su crecimiento. La comprensión de las propiedades específicas del cáncer en los seres humanos a nivel celular, genético y molecular es fundamental para prescribir tratamientos específicos que presenten muchas más posibilidades de curación. La formación de imágenes moleculares en medicina nuclear mediante la tomografía por emisión de positrones (PET) ha redefinido y modernizado el enfoque médico de la gestión de los pacientes con cáncer. La clasificación de un cáncer simplemente en función de su lugar anatómico quizás sea la razón por la que pacientes que supuestamente padecen el mismo tipo de cáncer responden a los tratamientos de formas radicalmente distintas. Actualmente existen instrumentos que permiten llegar a entender las razones moleculares por las que las respuestas de los pacientes pueden ser tan distintas. Esto se está traduciendo en la selección de regímenes de tratamiento apropiados para los pacientes. Se ha descubierto que los tipos de cáncer encontrados en distintas partes del cuerpo pueden ser más similares entre sí que dos tumores que se hayan originado en el mismo órgano, dependiendo del tipo de mutaciones causantes del cáncer de que se trate. El conocimiento en detalle de los procesos patógenos que facilita la PET también puede utilizarse para el diseño racional de fármacos que den lugar a una terapia específica.

94. En el ámbito de la terapia contra el cáncer, los hematólogos, los pediatras y los oncólogos están empezando a explorar enfoques combinados de tratamiento en los que aplican quimioterapia, agentes moduladores inmunológicos o de transducción de señales celulares en combinación con moléculas específicas buscadoras de tumores (péptidos, anticuerpos o oligonucleótidos) para mejorar las posibilidades de curación de los pacientes con cáncer. Los métodos de tratamiento por radioterapia de tumores específicos mejorado con isótopos cuentan con muchas ventajas tanto para tratar tipos de cáncer sólidos localizados o diseminados como para tratar tumores malignos transportados por la sangre.

---

<sup>12</sup> Se puede consultar información adicional en los documentos conexos del *Examen de la tecnología nuclear 2008* en GovAtom.

## F.2. Radiooncología

95. Los adelantos tecnológicos en la planificación de los tratamientos y la administración de la radiación han posibilitado la adopción de estrategias para irradiar tumores mediante un enfoque de radioterapia conformada tridimensional (3D-CRT) e incluso técnicas muy conformadas como la radioterapia estereotáctica (SRT) o la radioterapia de intensidad modulada (IMRT). La terapia conformada consiste en un tratamiento de radioterapia que crea un volumen de alta dosis cuya forma se ajusta mucho al volumen blanco deseado y, al mismo tiempo, reduce en la mayor medida posible la dosis que reciben los tejidos normales de gran importancia. La introducción de las técnicas más avanzadas como la SRT y la IMRT, así como la radioterapia guiada por imágenes (IGRT) y la radioterapia adaptada a la respiración (RGRT), han hecho posible entender mejor la importancia de los márgenes y los movimientos de los órganos. Además, un adelanto importante en el campo de la radioterapia en los últimos años ha sido la introducción de la información de imágenes funcionales en el proceso de planificación del tratamiento. Por ejemplo, al utilizar el examen por PET junto con los exámenes por tomografía computarizada tradicionales se obtienen imágenes con marcadores biológicos/metabólicos que pueden hacer posible un ajuste más apropiado de los campos de tratamiento por radioterapia y de las dosis administradas a cada paciente, así como un mejor resultado del tratamiento.

96. El entusiasmo por estas tecnologías se deriva del supuesto de que nuevas mejoras en la localización de los tumores, una mayor precisión en la definición de las distribuciones de las dosis, y una mayor individualización de las dosis prescritas mejorarán los niveles actuales de los resultados de los tratamientos al reducir la toxicidad o alcanzar un mayor control local de los tumores mediante estrategias de intensificación de las dosis. Estos enfoques se están investigando activamente en todo el mundo.

97. Los aspectos educativos son de importancia fundamental para la amplia aplicación de nuevas tecnologías. La enseñanza “virtual” basada en Internet debería ser de ayuda mediante la reducción de los costos globales y posibilitar la aplicación más rápida de esas tecnologías en la práctica clínica cotidiana. Al mismo tiempo, se está realizando un esfuerzo a escala mundial destinado a aumentar el nivel de enseñanza para físicos médicos que dan apoyo a estas nuevas tecnologías de tratamiento. En muchos países se han creado organizaciones para definir las competencias de los físicos médicos y para que se reconozcan sus programas de capacitación de residencia clínica.

98. Además de los logros relacionados con la radioterapia de haces externos, el reciente desarrollo de fuentes de cobalto 60 de tasa de dosis alta podría posibilitar la administración de braquiterapia moderna de tasa de dosis alta sin necesidad de sustituir las fuentes con tanta frecuencia como en el caso de otras fuentes. De este modo la radioterapia debería ser más rentable y mejorar el acceso de los pacientes al tratamiento. En cuanto a los tratamientos de modalidades múltiples, varios ensayos clínicos de alta calidad han confirmado de nuevo que la adición de agentes farmacéuticos a la radioterapia mejora la supervivencia de los pacientes afectados por muchos de los tipos de cáncer comunes.

## F.3. Nutrición

99. Recientemente el Banco Mundial ha vuelto a destacar el papel central que desempeña la nutrición para el desarrollo en su publicación titulada *Revalorización del papel fundamental de la nutrición para el desarrollo; Estrategia para una intervención en gran escala*<sup>13</sup>. La importancia de invertir en la nutrición se pone de relieve por la creciente toma de conciencia a escala internacional de que la magnitud de la malnutrición impedirá a muchos países alcanzar los objetivos de desarrollo del Milenio y por el número de pruebas cada vez mayor de que sí existen soluciones a la malnutrición. Las excelentes inversiones económicas de las intervenciones nutricionales para luchar contra la malnutrición se pusieron de manifiesto durante el Consenso de Copenhague<sup>14</sup>. Con arreglo al consenso, las ganancias de invertir en programas para controlar enfermedades infecciosas como el VIH/SIDA y la malaria, y para luchar contra la malnutrición, representan seis de las doce intervenciones principales propuestas.

---

<sup>13</sup> <http://siteresources.worldbank.org/NUTRITION/Resources/281846-1131636806329/NutritionStrategy.pdf>

<sup>14</sup> <http://www.copenhagencensus.com/>

100. La función de las técnicas nucleares en el desarrollo y la evaluación de intervenciones nutricionales está bien establecida, y muchos Estados Miembros se benefician en la actualidad de un mayor acceso a la capacidad técnica en el uso de técnicas de isótopos estables en nutrición<sup>15</sup>. Las tendencias recientes indican que cada vez es mayor el empleo de técnicas de isótopos estables para abordar esferas prioritarias como la nutrición y el VIH/SIDA, la alimentación de lactantes y niños de corta edad y las carencias de micronutrientes. Por ejemplo, el uso de una técnica de isótopos estables para vigilar los cambios en la composición corporal (grasa corporal frente a masa muscular) durante las intervenciones nutricionales puede aportar información importante para optimizar la atención, el tratamiento y la prestación de asistencia a personas que viven con el VIH/SIDA, y resulta particularmente adecuada en el contexto de un mayor acceso al tratamiento con antirretrovirales en entornos de escasos recursos.

101. Además, las técnicas de isótopos estables se utilizan en diversos países para estimar la ingesta de leche materna en los lactantes y para evaluar el momento de comenzar con otros alimentos y fluidos. Por lo tanto, esas técnicas se pueden utilizar para supervisar las intervenciones destinadas a fomentar la lactancia materna exclusiva durante seis meses, seguida de la introducción de alimentos complementarios adecuados sin interrumpir la lactancia materna, como recomienda la Organización Mundial de la Salud.

102. Asimismo, se están utilizando actualmente técnicas de isótopos estables para elaborar y evaluar estrategias destinadas a luchar contra las carencias de micronutrientes. Por ejemplo, dichas técnicas se pueden utilizar para evaluar la biodisponibilidad de hierro a partir de diferentes compuestos como etapa importante en la elaboración de una estrategia de enriquecimiento de los alimentos, así como para vigilar los cambios del nivel de vitamina A en personas que se benefician de aportes de esta vitamina a través del enriquecimiento y la suplementación alimentarios.

## **G. Medio ambiente**

### **G.1. Mejora en la detección de radionucleidos para evaluar el medio ambiente terrestre**

103. La espectroscopia gamma sobre el terreno posee numerosas aplicaciones, entre ellas la estimación de la radiactividad en suelos superficiales, la evaluación de campos de radiación gamma (y por ende la tasa de dosis) y la ubicación de fuentes huérfanas. En caso de accidente nuclear con distribución generalizada de radionucleidos artificiales en el medio ambiente, las mediciones aéreas son una importante herramienta para determinar de forma rápida y a gran escala la contaminación del suelo por nucleidos específicos. Normalmente se utilizan detectores basados en cristales de yoduro de sodio o en cristales de germanio de gran pureza. Las ventajas de los primeros son su solidez y alta eficiencia de detección, pero tienen la desventaja de poseer una baja resolución energética. Generalmente se emplean para estudiar zonas relativamente grandes, por ejemplo utilizando sistemas aerotransportados o montados en vehículos, y para evaluar actividades de radionucleidos naturales en condiciones difíciles en el terreno, por ejemplo en emplazamientos de extracción de uranio. El uso del Sistema Mundial de Localización (GPS) para proporcionar datos de localización exactos, junto con los adelantos en las técnicas de análisis de datos, se han traducido en los últimos años en mejoras importantes en los análisis de los datos de esos estudios.

104. Los detectores basados en germanio se emplean habitualmente cuando es importante identificar radionucleidos individuales. En los últimos años se ha perfeccionado la producción de cristales de germanio de gran pureza, por lo que ahora se producen cristales mayores, mejorando así la eficacia de la detección. Aun así, es necesario enfriar los detectores con nitrógeno líquido, lo que sigue siendo una dificultad práctica cuando se utilizan en el terreno.

---

<sup>15</sup> Se puede consultar información adicional en los documentos conexos del *Examen de la tecnología nuclear 2008* en GovAtom.

## **G.2. Calidad de los resultados de las mediciones**

105. Las mediciones físicas y químicas (incluidas las técnicas analíticas nucleares) se utilizan para estimar la calidad y la adecuación de los productos comercializados. Es preciso asegurar y demostrar la calidad de los resultados de las mediciones para que sean aceptadas como parte del proceso de adopción de decisiones. Los factores que contribuyen a garantizar la calidad comprenden una infraestructura de medición apropiada (que cuente con la participación de institutos nacionales de metrología y disponga de las normas de calibración necesarias) así como la disponibilidad de instrumentos de control de la calidad, tales como materiales de referencia<sup>16</sup>.

## **G.3. Aplicación de tecnologías nucleares en la sostenibilidad del medio ambiente marino**

### **G.3.1. Ampliación de las aplicaciones del radioanálisis en la inocuidad de los alimentos marinos**

106. La ciguatera está provocada por la ingesta de peces de arrecifes tropicales que han acumulado toxinas producidas por algas nocivas. Esas toxinas, que se pueden medir por radioanálisis, pueden provocar graves disfunciones gastrointestinales, neurológicas y cardiovasculares. En el pasado, la ciguatera en los seres humanos se había restringido a las comunidades isleñas tropicales, pero con el aumento del comercio de alimentos marinos, el consumo de estos alimentos en todo el mundo y el turismo internacional, todas las poblaciones del planeta están en riesgo. La incidencia de la enfermedad en los trópicos varía entre 10 000 y 50 000 casos anuales. En la Polinesia Francesa se utiliza en la actualidad una técnica de radioanálisis para medir la cantidad de ciguatoxina en los alimentos marinos, con inclusión de almejas gigantes y pescado, y para estudiar su transferencia por las cadenas tróficas de los mares tropicales. Con objeto de hacer frente a esta creciente preocupación, el Organismo ha puesto en marcha un proyecto coordinado de investigación sobre el uso de la tecnología de radioanálisis para medir la cantidad de ciguatoxinas en el pescado, proyecto que también se complementará con la prestación de asistencia a los Estados Miembros por medio de los proyectos de cooperación técnica.

### **G.3.2. Cambio climático y acidificación de los océanos**

107. Los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera están aumentando debido a la combustión de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) y la deforestación. Sin embargo, los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico serían incluso mayores de no ser por los océanos, que han absorbido alrededor de una tercera parte del CO<sub>2</sub> producido por el hombre. Como resultado, también están aumentando los niveles de CO<sub>2</sub> en los océanos y, puesto que el CO<sub>2</sub> es un ácido, su pH está disminuyendo. Es probable que esta 'acidificación de los océanos' afecte negativamente a muchos organismos marinos, concretamente a corales y organismos que fabrican su propio caparazón, como ostras, mejillones y moluscos, y puede que afecte a redes tróficas marinas completas, repercutiendo así en la biodiversidad natural y la acuicultura. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático ha subrayado recientemente que en los conocimientos sobre este tema existe una laguna de suma importancia<sup>17</sup>.

108. La acidificación de los océanos también podría afectar a la solubilidad de los contaminantes, como los metales pesados y, en consecuencia, a la inocuidad los alimentos marinos. Ciertos isótopos marinos, como los del boro, se han utilizado para determinar cambios producidos en el pasado en el pH de los océanos, así como el modo en que dichos cambios se diferencian de la perturbación actual provocada por el ser humano. Otro isótopo, el calcio 45, ha sido un instrumento fundamental para medir tasas de calcificación en corales cuyos arrecifes constituyen un hábitat para los peces y zonas de reproducción, ofrecen protección contra las tormentas y la erosión, y son la base de una industria

---

<sup>16</sup> Se puede consultar información adicional en los documentos conexos del *Examen de la tecnología nuclear 2008* en GovAtom.

<sup>17</sup> [http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1\\_Print\\_SPM.pdf](http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_SPM.pdf)

turística de miles de millones de dólares. El Organismo está ayudando a los Estados Miembros a utilizar los estudios isotópicos y los modelos numéricos para comprender mejor la forma en que la acidificación de los océanos alterará los recursos marinos y hacer proyecciones al respecto. Por ejemplo, se están llevando a cabo estudios radioecológicos aplicados para niveles previstos de alta concentración de CO<sub>2</sub> y bajo pH utilizando calcio 45 y otros isótopos, con objeto de que ayuden a comprender los efectos de la acidificación de los océanos en organismos comercialmente importantes, como las larvas de peces y los moluscos.



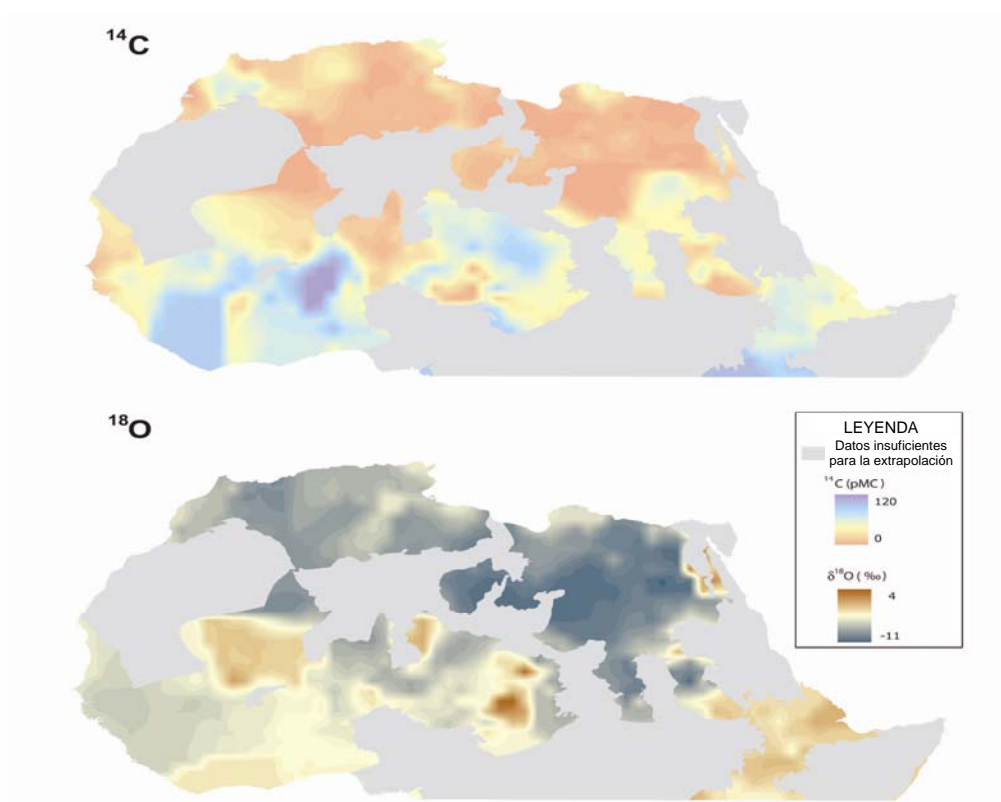
*Nueva instalación para evaluar los efectos de la acidificación de los océanos en las larvas de peces de importancia comercial en el Laboratorio de Radioecología del Organismo en Mónaco*

## H. Recursos hídricos

109. Las aguas subterráneas satisfacen más de la mitad de la demanda de agua dulce del planeta. Esa proporción asciende al 90% en países con escasos recursos hídricos y climas áridos o semiáridos, así como en países en desarrollo que practican una agricultura de regadío a gran escala. Los efectos inminentes del cambio climático en la disponibilidad de agua dulce hacen de las aguas subterráneas un recurso aún más importante que debe utilizarse de forma sensata. Se precisan observaciones realizadas durante muchos años para valorar y gestionar los acuíferos utilizados para el aprovechamiento de aguas subterráneas. Esa información es escasa en casi todas partes del mundo. Los datos isotópicos permiten el estudio de los sistemas naturales de aguas subterráneas y proporcionan un conjunto de información integrado temporal y espacialmente sobre su funcionamiento, posibilitando así la evaluación y gestión de los recursos de aguas subterráneas sin inversiones importantes de tiempo y de recursos.

110. Reconociendo esta importante aplicación de los datos isotópicos, varios países están tomando medidas para extender la disponibilidad de estos datos a escala nacional. El Organismo está elaborando una serie de atlas con una síntesis de datos isotópicos recopilados a partir de la asistencia técnica relativa a las aguas subterráneas que ha prestado en los Estados Miembros en los últimos 50 años. La mayor parte de esos datos isotópicos de aguas subterráneas no han sido fáciles de obtener hasta la fecha.

111. El primer atlas se centra en África y contiene datos de más de 10 000 muestras isotópicas. Según se aprecia en la siguiente figura, los datos isotópicos muestran de un modo sencillo la extensión de las aguas subterráneas antiguas, que en la actualidad no se renuevan, con edades superiores a alrededor de 10 000 años, de la región del norte de África. Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  bajos (más negativos) indican que la recarga en muchas partes del norte de África ocurrió principalmente en condiciones climatológicas más frías que las actuales. Estas aguas subterráneas existen en sistemas de acuíferos transfronterizos importantes como el acuífero de Nubia, que se extiende entre Egipto, la Jamahiriya Árabe Libia, el Chad y el Sudán, y cuya gestión compartida es vital para el desarrollo humano de esta región.



*Figura H-1. Contenido de carbono 14 y oxígeno 18 en las aguas subterráneas del norte de África, según el Atlas de hidrología isotópica publicado recientemente por el OIEA. Los valores bajos de carbono 14 muestran la extensión de aguas subterráneas 'muy antiguas', cuya recarga se realizó bajo climas más húmedos hace miles de años.*

## I. Tecnología de irradiación

### I.1. Producción de radioisótopos

112. La disponibilidad de suministros fiables de radioisótopos bien establecidos para aplicaciones médicas e industriales sostenibles, así como para el desarrollo de nuevos productos destinados a necesidades emergentes, sigue atrayendo la atención a escala mundial. Además de la industria, diversos centros nacionales de los Estados Miembros trabajan activamente en esta esfera. La proporción de tecnecio 99m y de flúor 18 en la imaginología diagnóstica sigue estando en torno al 80% y el 10%, respectivamente, de los casi 25 a 30 millones de procedimientos efectuados en 2006. En el caso de los productos destinados al tratamiento con radionucleidos, la creciente popularidad del lutecio 177, cuya producción es más fácil y está más extendida, y de un nuevo sistema de generadores para el itrio 90, basado en la separación electroquímica a partir del estroncio 90, son dos novedades importantes registradas en 2007. Otro adelanto notable de 2007 fue el naciente interés por el establecimiento de nuevas instalaciones para la producción de molibdeno 99 utilizando blancos

de UPE en algunos Estados Miembros. En diciembre de 2007 tuvo lugar en Sidney (Australia) una importante reunión de todos los interesados directos que participan actualmente en la producción de este radioisótopo, la que estuvo organizada por la Administración Nacional de Seguridad Nuclear (NNSA) del Departamento de Energía de los Estados Unidos y la Organización Australiana de Ciencia y Tecnología Nuclear (ANSTO). En el informe de la reunión se especifican todos los aspectos que han de abordarse, así como el apoyo necesario para facilitar el uso de la tecnología de blancos de UPE sin afectar a los suministros de molibdeno 99 y reducir de ese modo la dependencia del UME para la producción en gran escala de ese radioisótopo. En Australia está previsto que la producción ordinaria de molibdeno 99 en gran escala empleando blancos de UPE comience en 2008.

## I.2. Polímeros naturales

113. Los polímeros naturales existen en muchas formas, y muchos de ellos permiten su procesamiento por irradiación para elaborar productos valiosos (véase la figura I-1). Entre esos polímeros naturales se incluyen el almidón (en la patata y el maíz), la celulosa (en plantas y árboles), la quitina (en camarones, cangrejos y langostas), el alginato (en algas) y polipéptidos como la seda, la queratina y el cabello. Estos polímeros naturales son no tóxicos y biodegradables y se obtienen a un costo reducido. El tratamiento por irradiación ofrece un método limpio y sin aditivos para la preparación de nuevos materiales de valor añadido basados en esos polímeros naturales. Los productos derivados de la quitina, por ejemplo, pueden utilizarse como apósitos de hidrogel, colchones antiescaras, máscaras cosméticas limpiadoras, dispositivos de administración de fármacos y absorbentes de contaminantes, como iones metálicos, colorantes, proteínas y partículas sólidas, entre otros. Los productos de bajo peso molecular muestran propiedades antibióticas, antioxidantes y promotoras del crecimiento de las plantas.

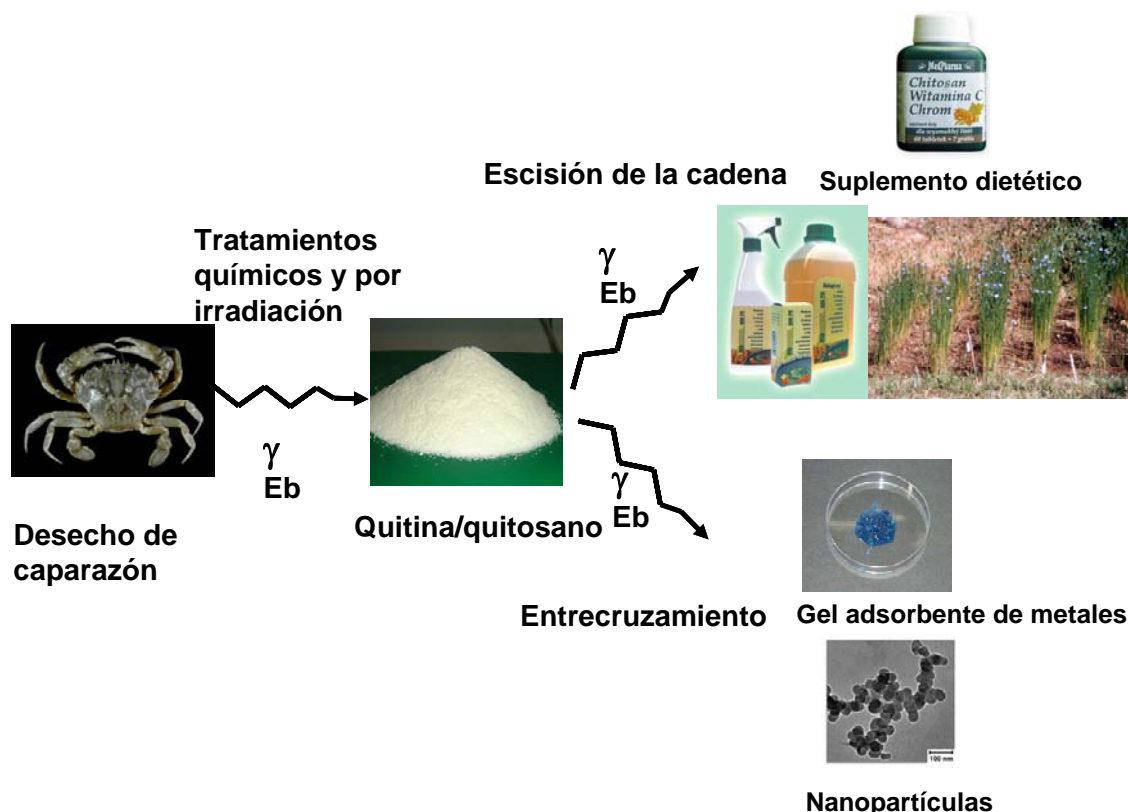


Figura I-1. Procesamiento por irradiación de polímeros naturales

114. El tratamiento por irradiación de los polímeros naturales está surgiendo como un campo prometedor en el que las características excepcionales de los materiales poliméricos pueden aprovecharse para aplicaciones prácticas en las esferas de la medicina, la cosmética, la agricultura, la biotecnología y la protección ambiental.



### I.3. Biocontaminantes peligrosos

115. El uso de radiación ionizante para la inactivación de microbios es una tecnología que está establecida en la higienización de alimentos, la radioesterilización de productos médicos y tejidos biológicos y, a mayor escala, el tratamiento de fangos de alcantarillado. Más recientemente se ha demostrado la utilidad de la tecnología de irradiación para reducir la amenaza de contaminantes biológicos como el ántrax en el correo. Estos resultados mostraron la utilidad de la radiación ionizante para hacer frente a amenazas como la propagación deliberada de contaminantes biológicos<sup>18</sup>. Las principales ventajas de emplear la tecnología de irradiación en comparación con otros métodos residen en que ésta es capaz de tratar materiales desde escalas pequeñas hasta escalas muy grandes, y en que el único parámetro que es preciso controlar es la administración de la dosis requerida al objeto o la zona que se vaya a tratar. Los resultados notificados hasta el momento indican que en el desarrollo futuro de esta tecnología se deberán abordar algunos aspectos adicionales como, por ejemplo, la manipulación y el tratamiento de productos contaminados o la capacitación para operaciones sobre el terreno.

### I.4. Rastreo computarizado de partículas radiactivas

116. Una técnica denominada rastreo computarizado de partículas radiactivas (CARPT) es actualmente un método reconocido para investigar flujos multifásicos complejos (por ejemplo, gas y líquido) en las industrias química, del petróleo y de la bioingeniería. Esta técnica utiliza una pequeña partícula trazadora emisora de rayos gamma de densidad y tamaño correctos, capaz de moverse con la fase que se investiga, y varios detectores de radiación gamma ubicados estratégicamente alrededor del reactor químico con el fin de rastrear de forma fiable la posición de la partícula y, a su vez, el movimiento de fase.

117. El método de rastreo es no invasivo y ofrece las características dinámicas de la fase particular de interés. Los datos obtenidos sobre el modelo de flujo, la velocidad, las turbulencias, etc., contribuyen a optimizar los procesos a escala de planta piloto y, a su vez, proporcionan información para tomar decisiones acerca de los diseños finales para las operaciones a escala de planta<sup>19</sup>. Las industrias petroquímicas, que utilizan lechos fluidizados y columnas de burbujeo, y los productos manufacturados basados en procesos biológicos serán los principales beneficiarios del uso del CARPT.

118. Otra opción mejorada consiste en utilizar un trazador que emita positrones para el rastreo de partículas. La técnica denominada rastreo de partículas por emisión de positrones (PEPT) ofrece una ventaja adicional debido a la detección en coincidencia de la irradiación de aniquilación del positrón, gracias a la cual se consigue una mayor exactitud para rastrear la partícula trazadora, incluso en los sistemas de flujo de alta velocidad que suele existir en algunos sistemas industriales. El objetivo general del CARPT y el PEPT es garantizar que los procesos industriales sean más eficaces y eficientes<sup>20</sup>.

---

<sup>18</sup> E.K. Noji, "Bioterrorism: A 'New' Global Environment Health Threat," *Global Change & Human Health*, Vol. 2, Nº 1, 2001, págs. 46 a 53

<sup>19</sup> S. Bhusarapu, M.H. Al-Dahhan y M.P. Dudukovic, "Solids Flow Mapping in a Gas-solid Riser: Mean Holdup and Velocity Fields," *Powder Technology*, Vol. 163 (1-2), 2006, págs. 98 a 123

<sup>20</sup> S. Bakalis, P.W. Cox, A.B. Russell, D.J. Parker y P.J. Fryer, "Development and Use of Positron Emitting Particle Tracking (PEPT) for Velocity Measurements in Viscous Fluids in Pilot Scale Equipment", *Chemical Engineering Science*, Vol. 61(6), 2006, págs. 1864 a 1877