

# Conferencia General

**GC(48)/INF/4**

Fecha: 22 de julio de 2004

Distribución general

Español

Original: Inglés

## Cuadragésima octava reunión ordinaria

Punto 16 del orden del día provisional  
(GC(48)/1)

# Examen de la tecnología nuclear 2004

*Informe del Director General*

## Resumen

- En respuesta a peticiones de los Estados Miembros, la Secretaría elabora cada dos años un amplio *Examen de la tecnología nuclear*, y actualizaciones más resumidas en los años intermedios. El presente informe es el tercer documento amplio y ofrece una perspectiva mundial de las tecnologías nucleares, tanto para las aplicaciones eléctricas como no eléctricas.
- El *Examen de la tecnología nuclear — 2004* pasa revista a las siguientes esferas: aspectos fundamentales del desarrollo nuclear; aplicaciones eléctricas; aplicaciones en materia de alimentos, agua y salud; aplicaciones en las esferas del medio ambiente y los procesos industriales sostenibles; y aspectos socioeconómicos de la energía nuclear y sus aplicaciones. En la página web del Organismo, IAEA.org se encuentran, en inglés únicamente, otros documentos relacionados con el *Examen de la tecnología nuclear — 2004*, sobre los reactores de investigación, la situación actual de la energía nucleoelectrica, los primeros 50 años de la energía nucleoelectrica, las tecnologías nucleoelectricas avanzadas e innovadoras, el diagnóstico molecular, la tecnología basada en los radioisótopos y la radiación, la desalación nuclear y los aspectos socioeconómicos de las aplicaciones nucleares.
- El documento se ha modificado para tener en cuenta, en la medida de lo posible, observaciones concretas de la Junta y otras recibidas de los Estados Miembros.

## Índice

A.	Aspectos fundamentales del desarrollo nuclear .....	1
A.1.	Datos nucleares, atómicos y moleculares .....	1
A.2.	Reactores de investigación, aceleradores y radioisótopos .....	1
B.	Aplicaciones energéticas .....	2
B.1.	La energía nucleoelectrónica en la actualidad .....	2
B.2.	El futuro .....	6
B.2.1.	Proyecciones a mediano plazo .....	6
B.2.2.	Desarrollo sostenible y cambio climático .....	7
B.2.3.	Fisión y fusión avanzadas .....	9
C.	Aplicaciones en materia de alimentos, agua y salud .....	10
C.1.	Técnicas nucleares para mejorar los cultivos .....	10
C.2.	Técnicas nucleares para la protección de los cultivos .....	11
C.3.	Mejora de la productividad y sanidad pecuarias .....	11
C.4.	Inocuidad de los alimentos .....	12
C.5.	Gestión sostenible del suelo y el agua .....	13
C.6.	Recursos hídricos .....	13
C.7.	Sanidad humana .....	14
C.7.1.	Nutrición .....	14
C.7.2.	Medicina nuclear .....	14
D.	Aplicaciones para procesos ambientales e industriales sostenibles .....	16
D.1.	Protección de los medios marino y terrestre .....	16
D.1.1.	Medio ambiente marino .....	16
D.1.2.	Medio ambiente terrestre .....	16
D.2.	Tecnología radiológica para industrias limpias y seguras .....	18
D.2.1.	Técnicas analíticas nucleares .....	18
D.2.2.	Desalación nuclear .....	19
E.	Aspectos socioeconómicos de la energía nuclear y sus aplicaciones .....	19

# Examen de la tecnología nuclear 2004

## *Informe del Director General*

### **A. Aspectos fundamentales del desarrollo nuclear**

#### **A.1. Datos nucleares, atómicos y moleculares**

1. A los efectos de la viabilidad y credibilidad de una amplia gama de tecnologías nucleares se requiere el acceso fácil a datos atómicos, moleculares y nucleares de calidad elevada. El Organismo desempeña una función central en el establecimiento y mantenimiento de amplias bases de datos con el fin de abarcar la información bibliográfica y los datos teóricos y experimentales, así como para registrar los datos atómicos y nucleares evaluados. Se continúan forjando y manteniendo vínculos internacionales con el fin de atender a las necesidades de diversos programas y asegurar su integridad; por ejemplo, el Subcomité de datos atómicos y moleculares (A+M) del Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión presta asesoramiento y formula recomendaciones en materia de datos atómicos y moleculares, mientras que el Comité Internacional de Datos Nucleares proporciona orientación similar en materia de datos nucleares.

2. La demanda de nuevas tecnologías nucleares continúa determinando la orientación de la elaboración futura de datos, incluida la necesidad de datos relacionados con los ciclos del combustible innovadores, los sistemas accionados por aceleradores, la incineración por medios nucleares, los dispositivos de fusión, el tratamiento médico por irradiación con fines terapéuticos y de diagnóstico, la optimización de la producción de isótopos de uso médico, el ensayo no destructivo de materiales, las técnicas de radioanálisis (p.ej., el análisis por activación neutrónica y el análisis por haces iónicos), la exploración de minerales y la detección de minas.

3. Entre los recientes proyectos de elaboración de datos con diversas aplicaciones cabe citar un motor de búsqueda de datos A+M que permite la recuperación simultánea de datos a partir de varias fuentes distintas para su inclusión en bases de datos tanto numéricas como bibliográficas, como ayuda para los diseñadores; la capacidad para efectuar cálculos teóricos A+M en línea, lo que permite al usuario generar nuevos datos a partir de modelos teóricos utilizando los códigos apropiados en las instalaciones de las instituciones que mantienen esos códigos; una biblioteca de datos sobre la potencia de radiación y el balance de ionización de los plasmas de interés para las investigaciones sobre la fusión, y una biblioteca de datos sobre las secciones eficaces normalizadas de reacción que reducirán las incertidumbres de las mediciones relativas de las secciones eficaces, contribuyendo así de manera significativa a las mejoras previstas en las nuevas bibliotecas relacionadas con los iones.

#### **A.2. Reactores de investigación, aceleradores y radioisótopos**

4. Durante más de 50 años, los reactores de investigación han contribuido de manera valiosa al desarrollo de la energía nucleoelectrónica, las ciencias básicas, el desarrollo de materiales, la producción de radioisótopos de uso médico e industrial, y la enseñanza y capacitación. Estos reactores siguen siendo instrumentos experimentales básicos. Hasta junio de 2004 se han registrado 673 reactores de investigación en la base de datos sobre reactores de investigación (RRDB) del OIEA, de los cuales 274 están en funcionamiento en 56 países (85 en 39 países en desarrollo), 214 están en régimen de parada, 168 han sido clausurados y 16 están en fase de planificación o construcción.

5. Muchos de los que están en régimen de parada, pero que no han sido clausurados, todavía contienen combustible, tanto gastado como sin irradiar. Una demora prolongada entre la parada

definitiva y la clausura de estos reactores influirá en el costo y la seguridad de las operaciones de clausura, debido principalmente a la pérdida del personal experimentado (ya avanzando en edad en el momento de la parada) necesario para participar en las actividades de clausura<sup>1</sup>.

6. La subutilización de los reactores de investigación causa preocupación en muchos Estados Miembros. Sin embargo, muchos reactores de investigación en explotación se utilizan considerablemente a escala nacional e internacional para la producción de radioisótopos, la investigación de líneas de haces, las aplicaciones industriales, la irradiación de neutrones y las aplicaciones especializadas. Además, se están construyendo reactores de investigación de fines múltiples y únicos.

7. La utilización de combustible de uranio muy enriquecido (UME) se considera una posible amenaza de proliferación. Hasta la fecha, 31 reactores de investigación han sido transformados totalmente para que utilicen uranio poco enriquecido (UPE). Otros siete reactores han sido parcialmente transformados, mientras otros están en espera de su conversión. La no disponibilidad de un combustible de alta densidad idóneo, y apto para la conversión de algunos reactores de investigación en concreto, es una preocupación importante. El problema del uso de UPE en lugar de UME como material blanco en la producción de isótopos para aplicaciones médicas está recibiendo gran atención.

8. Los aceleradores de partículas cargadas son poderosos instrumentos de usos múltiples, por ejemplo, como sondas para el análisis de muestras físicas, químicas y biológicas; para la modificación por haces iónicos de superficies y materiales a fin de mejorar las propiedades deseadas; para la producción de radioisótopos; y para el tratamiento de materiales por irradiación y la radioterapia del cáncer. Está creciendo la demanda de haces de radiación sincrotrónica y de haces neutrónicos pulsados de alta calidad procedentes de fuentes de espalación utilizadas para la investigación de materiales.

9. Actualmente se utiliza de manera generalizada una variedad de radioisótopos (más de 150 en diferentes formas), procedentes principalmente de reactores. Se están evaluando minuciosamente los radionucleidos que son adecuados para su uso en radioterapia y que pueden producirse fácilmente en reactores de investigación, tales como el <sup>177</sup>Lu, con miras a la producción de radiofármacos. Por otra parte, se están investigando fuentes selladas pequeñas de <sup>125</sup>I y <sup>103</sup>Pd para el tratamiento de tumores de los ojos y la próstata. Los trazadores de tomografía de emisión de positrones (PET) procedentes de ciclotrones para fines médicos, la fluorodeoxiglucosa F-18 (FDG), en particular, están teniendo cada vez mayor impacto, sobre todo en la oncología.

## **B. Aplicaciones energéticas**

### **B.1. La energía nucleoelectrónica en la actualidad<sup>2</sup>**

10. “La energía producida por la división del átomo no es gran cosa. Esperar obtener una fuente de energía de las transformaciones de estos átomos es una tontería”. Lord Ernest Rutherford, 1933.

11. “Pensar que nuestros hijos dispondrán en sus hogares de energía eléctrica [generada por medios nucleares] de muy bajo costo no es una utopía”. Lewis Strauss, Presidente de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, 1954.

12. Medio siglo después, sabemos que la verdad se encuentra en un punto medio<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> En el “Examen de la tecnología nuclear – 2004” disponible en la página web IAEA.org se encuentran otros documentos relacionados con este tema.

<sup>2</sup> En el “Examen de la tecnología nuclear – 2004” disponible en la página web IAEA.org se encuentran otros documentos relacionados con este tema.

**Cuadro B-1. Reactores nucleares de potencia en explotación y en construcción en el mundo (al 31 de diciembre de 2003)**

PAÍS	Reactores en explotación		Reactores en construcción		Electricidad nuclear suministrada en 2003		Experiencia operacional total en Dic. 2003	
	No. de unidades	Total MW(e)	No. de unidades	Total MW(e)	TW h	% del total	Años	Meses
ARGENTINA	2	935	1	692	7,03	8,59	50	7
ARMENIA	1	376			1,82	35,48	36	3
BÉLGICA	7	5 760			44,61	55,46	191	7
BRASIL	2	1 901			13,34	3,65	25	3
BULGARIA	4	2 722			16,04	37,71	129	2
CANADÁ	16	11 323			70,29	12,53	486	11
CHINA	8	5 977	3	2 610	41,59	2,18	39	1
REPÚBLICA CHECA	6	3 548			25,87	31,09	74	10
FINLANDIA	4	2 656			21,82	27,32	99	4
FRANCIA	59	63 363			420,70	77,68	1 346	2
ALEMANIA	18	20 643			157,44	28,10	648	0
HUNGRÍA	4	1 755			11,01	32,69	74	2
INDIA	14	2 550	8	3 622	16,37	3,30	223	5
IRÁN, REPÚBLICA ISLÁMICA DEL			2	2 111			0	0
JAPÓN	53	44 139	3	3 696	230,80	25,01	1 123	7
REPÚBLICA POPULAR DEMOCRÁTICA DE COREA			1	1 040			0	0
COREA, REPÚBLICA DE	19	15 850	1	960	123,28	40,01	220	8
LITUANIA	2	2 370			14,30	79,89	36	6
MÉXICO	2	1 310			10,51	5,23	23	11
PAÍSES BAJOS	1	449			3,80	4,48	59	0
PAKISTÁN	2	425			1,81	2,37	35	10
RUMANIA	1	655	1	655	4,54	9,33	7	6
FEDERACIÓN DE RUSIA	30	20 793	3	2 825	138,39	16,54	761	4
ESLOVAQUIA	6	2 442	2	776	17,86	57,35	100	6
ESLOVENIA	1	656			4,96	40,45	22	3
SUDÁFRICA	2	1 800			12,66	6,05	38	3
ESPAÑA	9	7 584			59,36	23,64	219	2
SUECIA	11	9 451			65,50	49,62	311	1
SUIZA	5	3 220			25,93	39,73	143	10
UCRANIA	13	11 207	4	3 800	76,70	45,93	279	10
REINO UNIDO	27	12 052			85,31	23,70	1 329	8
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	104	98 298			763,74	19,86	2 871	8
Total	439	361 094	31	25 387	2524,03		11 143	5

Nota: El total incluye los datos siguientes en Taiwan, China:

— 6 unidades, 4 884 MW(e) en explotación; 2 unidades, 2600 MW(e) en construcción;

— 37,37 TW·h de generación de electricidad nuclear, lo que representa el 21,5% del total de electricidad producida en 2003;

— 134 años y un mes de la experiencia operacional total.

<sup>3</sup> En el "Examen de la tecnología nuclear – 2004" disponible en la página web IAEA.org se encuentran otros documentos relacionados con este tema.

13. En 2002, la energía nucleoelectrica representó el 16% de la producción mundial de electricidad, y en 31 de diciembre de 2003 había 439 centrales nucleares en explotación en todo el mundo (véase el cuadro B-1). Su factor de disponibilidad mundial de energía ha aumentado constantemente de 74,2% en 1991 a aproximadamente 84% en 2003. En este último año se conectaron a la red dos nuevas centrales nucleares, un reactor de agua pesada a presión (PHWR) de 665 MW(e) en China y un reactor de agua a presión (PWR) de 960 MW(e) en la República de Corea. Además, el Canadá puso nuevamente en funcionamiento dos unidades que estaban en régimen de parada. En la India se iniciaron los trabajos de construcción de una nueva central nuclear. Se retiraron cuatro unidades de 50 MW(e) en el Reino Unido, así como una unidad de 640 MW(e) en Alemania y una unidad de 148 MW(e) en el Japón.

14. Las actuales perspectivas de expansión y crecimiento se centran en Asia. Al final de 2003, de los 31 reactores actualmente en construcción<sup>4</sup>, 18 se encontraban en China, la India, el Japón, la República de Corea y la República Popular Democrática de Corea. Veintiuno de los últimos 30 reactores que se han conectado a la red se encuentran en el Lejano Oriente y Asia meridional.

15. Es probable que en Europa occidental la potencia se mantenga relativamente constante a pesar de la eliminación gradual de centrales nucleares en Alemania, Bélgica (que promulgó en enero de 2003 una ley sobre el abandono gradual de la energía nuclear) y Suecia. Los planes más avanzados para el aumento de la potencia nuclear son los de Finlandia. En 2003, la compañía eléctrica Teollisuuden Voima Oy seleccionó el emplazamiento de Olkiluoto para la construcción del quinto reactor finlandés y firmó un contrato con un consorcio de Framatome ANP - Siemens para la construcción de un reactor europeo de agua a presión de 1 600 MW(e). La solicitud de licencia de construcción para el reactor fue presentada al Gobierno de Finlandia en enero de 2003.

16. En la Federación de Rusia, ROSENERGOATOM prosiguió su programa de concesión de licencias a once centrales nucleares. En 2003, el órgano regulador nuclear ruso, Gosatomnadzor, expidió una prórroga de licencia de cinco años para Kola-1. Los reguladores búlgaros expidieron una nueva licencia por diez años para Kozloduy-4, la primera licencia de larga duración en Bulgaria, y posteriormente expidieron una prórroga similar de ocho años para Kozloduy-3. En Rumania, donde se requiere la prórroga de la licencia cada dos años, se aprobó una prórroga para Cernavoda hasta 2005.

17. En 2003, la Comisión Reguladora Nacional (CRN) de los Estados Unidos aprobó nueve prórrogas de licencia de 20 años cada una (por un total de vida útil de 60 años autorizada para cada central nuclear), elevando a 19 el número total de prórrogas de licencias aprobadas. También aprobó ocho solicitudes de aumento de la potencia por un total de 401 MW(t). Tres empresas presentaron solicitudes a la CRN en relación con sus nuevos permisos iniciales relativos al emplazamiento, que pueden reservarse para su uso en el futuro. En el Canadá, la expansión a corto plazo se viene realizando mediante la nueva puesta en marcha de todas o algunas de las ocho unidades nucleares (de un total de 22 que existen en el Canadá) que han estado en régimen de parada en los últimos años. En 2003 se pusieron nuevamente en marcha las primeras dos, Pickering A-4 y Bruce A-4. Entre tanto, se han expedido licencias para cuatro unidades hasta 2005 y para otras ocho hasta 2008.

18. Las cuestiones clave que afectan a la expansión nuclear a corto plazo son las relacionadas con los aspectos económicos, la seguridad tecnológica y física, los desechos y la resistencia a la proliferación.

19. **Aspectos económicos:** La estructura de los costos de las centrales nucleares, que se concentran al comienzo de un período, implica que las centrales amortizadas y bien administradas pueden ser bastante rentables, mientras que las nuevas son con frecuencia más costosas que otras opciones. Pero las ventajas económicas difieren según los países, inversionistas y mercados. La construcción de nuevas centrales nucleares es más interesante en los países en que el crecimiento de la demanda

---

<sup>4</sup> El total incluye también a Taiwan (China).

energética es rápido, los recursos alternativos son escasos, la seguridad del suministro energético es una prioridad o la energía nucleoelectrica es importante para reducir la contaminación ambiental y las emisiones de GEI. Las centrales nucleares también son más interesantes para los inversionistas públicos encargados de la seguridad energética, las emisiones de GEI y el desarrollo a largo plazo que para los inversionistas privados que necesitan ingresos rápidos y para los que el hecho de que la energía nucleoelectrica produzca pocas emisiones de GEI o contribuya a la seguridad energética no supone ningún beneficio financiero. Por lo tanto, en los mercados occidentales liberalizados y de crecimiento más lento, la construcción de nuevas centrales nucleares generalmente no reviste tanto interés. En previsión de la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto, se está creando en Europa un mercado propicio a la reducción de las emisiones de GEI, y los futuros inversionistas podrán así percatarse de los beneficios reales que entraña el bajo nivel de emisiones de GEI de la energía nucleoelectrica. En los Estados Unidos se están investigando otros medios para ajustar los incentivos del mercado a corto plazo con el fin de fomentar la expansión nuclear a tono con política energética nacional a más largo plazo.

**20. Seguridad tecnológica y física:** Aunque el accidente de Chernóbil aún ensombrece el futuro de la energía nucleoelectrica, el historial de seguridad de esta industria ha mejorado considerablemente. Las estadísticas de 2003 de la Asociación Mundial de Explotadores de Instalaciones Nucleares indican una tasa baja estable de paradas automáticas de emergencia no planificadas en un tercio del nivel registrado a comienzos del decenio de 1990, así como una reducción constante de la tasa ya baja de accidentes industriales. Ahora bien, siguen planteándose varios desafíos, a saber, asegurar que las instalaciones nucleares en todo el mundo funcionen con arreglo a los niveles más altos de seguridad, mejorar “la planificación de la sucesión” para la industria nuclear, velar por que las enseñanzas extraídas en un país se transmitan de manera eficaz y minuciosa a todos los demás y se incorporen en las prácticas operacionales y de reglamentación de todas las instalaciones nucleares pertinentes. En el *Examen de la seguridad nuclear* que publica anualmente el Organismo se proporciona información más detallada sobre la seguridad y los últimos adelantos relacionados con todas las aplicaciones nucleares.

21. Las medidas relacionadas con las posibles amenazas del terrorismo nuclear y radiológico han adquirido carácter urgente. En las centrales nucleares de todo el mundo se han reforzado las fuerzas de seguridad, añadido barreras y adoptado otras medidas protectoras con el fin de tener en cuenta las nuevas percepciones en cuanto a los riesgos relacionados con la seguridad física. El Organismo ha aumentado considerablemente el alcance y volumen de sus actividades de seguridad física nuclear. Es importante comprender la interrelación existente entre la seguridad tecnológica y la física en la determinación de los aspectos vulnerables de las instalaciones nucleares y la adopción de medidas de protección contra ellos. Se ha pedido crecientemente al Organismo que proporcione orientaciones sobre cómo conciliar la necesidad de transparencia respecto de las cuestiones de seguridad nuclear y radiológica con la necesidad de confidencialidad en lo que atañe a la seguridad física. La gestión eficaz de los riesgos entrañará el logro de un equilibrio que permita proteger la información de carácter sensible relacionada con la seguridad física, velando al mismo tiempo por que los problemas de seguridad continúen resolviéndose de manera transparente y por que las enseñanzas extraídas en la esfera de la seguridad tanto tecnológica como física se pongan a disposición de toda la comunidad nuclear.

**22. Combustible gastado y desechos:** Como se observa en la figura B-1, los inventarios de combustible gastado están creciendo debido al reprocesamiento limitado y a las demoras en la disposición final. Para los desechos de actividad alta, el progreso más notable en las instalaciones de disposición final se registró en los Estados Unidos, Finlandia y Suecia. El Gobierno y el Parlamento de Finlandia han aprobado una decisión “en principio” para construir un repositorio final de combustible gastado cerca de Olkiluoto. También se requerirán licencias independientes de construcción y explotación. La construcción debería comenzar en 2011 y el repositorio debería estar en

funcionamiento en 2020. Suecia ha comenzado investigaciones geológicas minuciosas en dos emplazamientos posibles. Estos emplazamientos deberían funcionar durante cinco o seis años, y la compañía de gestión de combustible y desechos nucleares de Suecia, la SKB, espera presentar una propuesta definitiva con respecto al emplazamiento aproximadamente en 2007. En 2002, el Presidente y el Congreso de los Estados Unidos decidieron proceder a la construcción del emplazamiento de disposición final de Yucca Mountain, cuyas operaciones está previsto que comiencen en 2010.

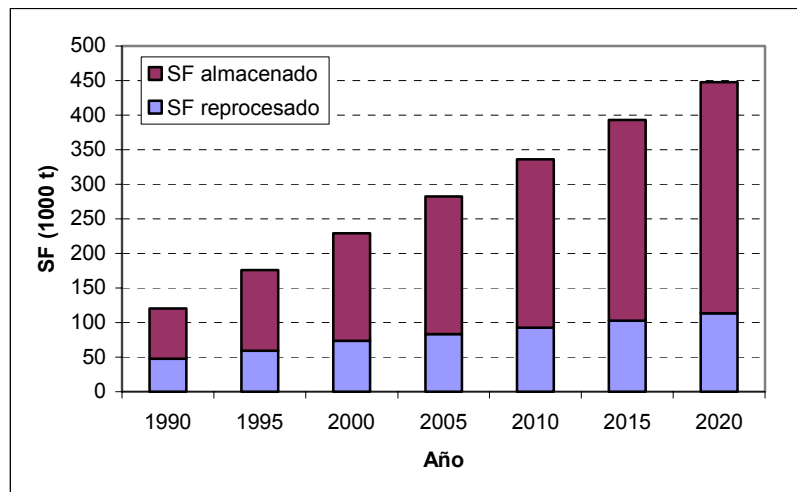


Figura B-1: Reprocesamiento y almacenamiento acumulativo de combustible gastado a escala mundial, 1990-2020.

23. Aunque actualmente la atención se sigue centrando en el establecimiento de repositorios nacionales, hay un renovado interés en la posibilidad de contar con repositorios regionales o internacionales. Una razón es el interés que se señala más adelante en el aumento del control internacional de los materiales nucleares con miras a fortalecer el régimen mundial de no proliferación. La otra es la realidad de que para los países que no poseen emplazamientos de desechos con buenas condiciones, o que tienen programas reducidos de investigación y energía nucleoelectrónica, los emplazamientos nacionales de disposición final por separado no tienen ningún sentido económico.

24. **Resistencia a la proliferación:** La resistencia a la proliferación es la característica de un sistema de energía nuclear que impide la desviación o producción no declarada de materiales nucleares, o el uso indebido de tecnología, con el fin de adquirir armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos. El grado de resistencia a la proliferación es resultado de la combinación de, entre otras cosas, las características del diseño técnico, las modalidades operacionales, las disposiciones institucionales y las medidas de salvaguardias. Últimamente, en particular en el contexto de la labor que se lleva a cabo en relación con los reactores y ciclos del combustible innovadores, se está prestando mayor atención a la cuestión de las características *intrínsecas* de resistencia a la proliferación, es decir, las que se derivan del diseño técnico de los sistemas de energía nuclear, así como de las características *extrínsecas* de las medidas de resistencia a la proliferación, es decir, las medidas que dimanen de las decisiones y compromisos de los Estados asociados a los sistemas de energía nuclear. El trabajo en curso vinculado a los nuevos tipos de reactores y ciclos del combustible incluye en todos los casos aspectos relacionados con las características y medidas de resistencia a la proliferación que contribuyen a garantizar que los futuros sistemas de energía nuclear sigan siendo medios que desestimulen la adquisición de materiales con miras a un programa de armas nucleares.

## B.2. El futuro

### B.2.1. Proyecciones a mediano plazo

25. Todos los años el Organismo publica proyecciones actualizadas de la energía nuclear a mediano plazo, las que en 2003 se extendieron por primera vez a 2030 (véase el cuadro B-2). En la proyección



baja se supone fundamentalmente que no habrá otras centrales nucleares que no sean las ya construidas o planificadas en firme en la actualidad, y que se retirarán de las centrales antiguas. La proyección fue revisada en sentido ascendente en 2003 y en ella se prevé un aumento del 20% en la producción mundial de energía nuclear hasta el final de 2020 (en comparación con un 2% de aumento proyectado el año pasado), al que seguiría una disminución como resultado de la producción mundial de energía nuclear sólo 12% más alta en 2030 que en 2002. La participación de la energía nucleoelectrica en la producción mundial de electricidad baja después de 2010 al 12% en 2030, en comparación con el 16% en 2002. Los aumentos son más importantes en el Lejano Oriente, y las reducciones son mayores en Europa occidental.

**Cuadro B-2 Estimaciones de la producción total de electricidad y contribución de la energía nucleoelectrica**

Grupos de países	2002			2010			2020			2030		
	Elect. Total TW.h	Nuclear		Elect. Total TW.h	Nuclear		Elect. Total TW.h	Nuclear		Elect. Total TW.h	Nuclear	
		TW.h	%		TW.h	%		TW.h	%		TW.h	%
América del Norte	4779	851.1	17.8	5034 5444	874 894	17 16	5784 6709	870 939	15 14	6451 8146	844 944	13 12
América Latina	1078	28.6	2.7	1178 1427	29 38	2.5 2.7	1628 2291	47 50	2.9 2.2	2227 3758	30 92	1.3 2.4
Europa occidental	3084	880.2	28.5	3352 3609	858 893	26 25	3634 4687	823 961	23 20	3942 6061	564 1090	14 18
Europa oriental	1758	298.5	17.0	1884 2074	319 399	17 19	2174 2867	423 552	19 19	2463 4133	378 611	15 15
África	459	12.0	2.6	538 612	13 14	2.5 2.3	699 973	14 24	2.0 2.4	876 1530	14 60	1.6 3.9
Oriente Medio y Asia Meridional	1176	19.6	1.7	1342 1626	41 47	3.1 2.9	1805 2596	53 100	3.0 3.9	2327 3946	70 194	3.0 4.9
Sudeste de Asia y el Pacífico	600			736 786			934 1119	5.5	0.5	1162 1584	18	1.2
Lejano Oriente	3157	484.3	15.3	3399 4296	695 702	20 16	4199 6605	855 1125	20 17	5073 9830	981 1361	19 14
Total mundial	Estimación baja Estimación alta	16090 2574.2	16.0	17463 19873	2830 2987	16 15	20857 27848	3085 3756	15 13	24520 38989	2881 4369	12 11

26. En la proyección alta, la producción mundial de energía nuclear aumenta constantemente en un total del 46% hasta 2020 (sin cambio a partir de la proyección alta del año pasado) y en un 70% hasta 2030. En todas las regiones hay aumentos, que encabeza nuevamente el Lejano Oriente. Con todo, la producción global de electricidad aumenta aún más rápido que la energía nucleoelectrica, lo que hará que se reduzca la participación de este tipo de energía en la producción global de electricidad. En 2030 la participación de la energía nuclear descenderá al 11%.

### B.2.2. Desarrollo sostenible y cambio climático

27. A más largo plazo, la cuestión fundamental será saber cuánto podrían durar los recursos nucleares. Los recursos convencionales conocidos bastan para varios decenios a las tasas de utilización actuales como se muestra en el cuadro B-3, si bien el período para el que bastan los recursos disminuye en función del aumento que se supone registrará la energía nucleoelectrica en el futuro. Como también se muestra en el cuadro, con los recursos convencionales no descubiertos el período para el que los recursos son suficientes aumenta hasta varios cientos de años si se efectúan la exploración y las inversiones para el desarrollo necesarias (y considerables). Los recursos *no convencionales*, incluidos los yacimientos de fosfato y el agua de mar, contienen grandes cantidades de uranio muy diluido, y su utilización podría servir para producir energía nuclear durante milenios si se elaboran métodos avanzados de extracción. En la actualidad sólo se han extraído cantidades a escala de laboratorio a partir del agua de mar y el costo previsto es aproximadamente entre cinco y diez veces mayor que el costo del uranio extraído por métodos convencionales. Se deberán desplegar esfuerzos y realizar inversiones considerables antes de que se pueda disponer de esos recursos.

**Cuadro B-3: Años de disponibilidad de recursos con respecto a varias tecnologías nucleares<sup>5</sup>**

Reactor/ciclo del combustible	Años de producción mundial de electricidad nuclear a partir de 2002 utilizando recursos convencionales conocidos 1)	Años de producción mundial de electricidad nuclear a partir de 2002 utilizando los recursos totales convencionales 2)	Años de producción mundial de electricidad nuclear a partir de 2002 utilizando los recursos totales 3)
Ciclo del combustible actual (LWR, una sola vez)	85	270	8 200
Ciclo del combustible de reciclaje (sólo plutonio, un reciclaje)	100	300	9 200
Agua ligera y reactores rápidos (mezcla con reciclaje)	130	410	12 000
Ciclo puro del combustible de reactores rápidos con reciclaje	2 500	8 500	240 000

- 1) Los recursos convencionales y conocidos incluyen todas las categorías de costos de los recursos razonablemente garantizados (RRG), los recursos suplementarios previstos – categoría I (RSP-I) por un total de 4 588 700 tU<sup>6</sup>.
- 2) Los recursos convencionales totales incluyen todas las categorías de costos de los recursos razonablemente garantizados, los recursos suplementarios previstos, y los recursos posibles por un total de 14 382 500 tU.
- 3) Los recursos totales suponen los recursos convencionales de 14 382 500 tU, más 90% de recursos de fosfato de 22 000 000 tU (= 19 800 000 tU), más 10 % de los recursos previstos de uranio del agua de mar de 4 000 000 000 tU (= 400 000 000 tU) por un total de 434 182 500 tU.

28. El torio es tres veces más abundante en la corteza terrestre que el uranio. El torio natural es básicamente 100% torio 232, que no es fisionable. Sin embargo es fértil y absorbe neutrones lentos hasta convertirse en torio 233 fisionable. Así pues, en el futuro, un ciclo del combustible basado en el torio destinado a generar electricidad a partir de este recurso, podría prolongar considerablemente la vida útil de los recursos nucleares mundiales.

29. La energía nuclear, así como las energías renovables, podrían satisfacer una mayor parte de las crecientes necesidades energéticas del mundo mediante la fabricación de vehículos de célula de combustible de hidrógeno y otras aplicaciones basadas en el hidrógeno. Se puede producir hidrógeno a partir del agua utilizando la electricidad, que es el producto principal de la energía nuclear y de las tecnologías renovables como la energía eólica. Un proceso de conversión económico, unido a tecnologías económicas de distribución y de uso final del hidrógeno, posibilitarían que la energía nuclear y las energías renovables ayudasen a alimentar el sector del transporte, que actualmente depende en un 95% del petróleo, y ampliarían la contribución de la energía nucleoelectrica al suministro de calor industrial. Se están llevando a cabo nuevas iniciativas importantes de investigación sobre el hidrógeno, en particular en China, Europa, el Japón y los Estados Unidos de América. Todas ellas incluyen también diseños nucleares innovadores que producirían hidrógeno de forma más directa sin tener que generar antes electricidad.

30. En 2003 no se registraron progresos en relación con el Protocolo de Kyoto, lo que habría contribuido a concienciar a los inversores privados acerca de la utilidad de la energía nucleoelectrica para evitar las emisiones de GEI. Después de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (CDDS) celebrada en 2002, no se prevén deliberaciones fundamentales sobre la energía y el desarrollo

---

<sup>5</sup> Agencia de Energía Nuclear de la OCDE y Organismo Internacional de Energía Atómica, *Uranium 2003: Resources, Production and Demand*, OCDE, París, 2004.

<sup>6</sup> La definición completa de los RRG y los RSP-I figura en la publicación *Uranium 2003: Resources, Production and Demand. Recursos, producción y demanda*. En pocas palabras, los RRG están constituidos por el uranio que se encuentra en depósitos minerales conocidos y son recuperables por medio de las tecnologías actuales. Los RSP-I están constituidos por el uranio, además de los RRG, cuya existencia se deduce sobre la base de indicios geológicos directos.

sostenible hasta el décimo tercer período de sesiones de la Comisión de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (CDS) en 2006–2007. La CDDS había refrendado las decisiones anteriores de la CDS con respecto a la energía nuclear. En estas decisiones los países acordaron disentir con la aserción de que la energía nucleoelectrica es un importante contribuyente al desarrollo sostenible, mientras que todos coincidieron en que la decisión incumbe a cada uno de los países.

### **B.2.3. Fisión y fusión avanzadas<sup>7</sup>**

31. En respuesta a las dificultades a que se enfrenta actualmente la energía nucleoelectrica, que se indican en la sección B.1, muchos países están trabajando para mejorar los aspectos económicos, la seguridad y la resistencia a la proliferación de los sistemas avanzados de reactores y del ciclo del combustible. En el caso de los diseños avanzados de centrales nucleares, los esfuerzos se centran en la tarea de simplificar la explotación, inspección, mantenimiento y reparación de las centrales. A corto plazo, la mayoría de las nuevas centrales probablemente tendrán diseños evolutivos basados en sistemas comprobados, y al mismo tiempo incorporarán avances tecnológicos y a menudo economías de escala. A más largo plazo, la atención se centrará en los diseños innovadores, de los cuales varios abarcan la escala de pequeña a mediana potencia (hasta 700 MW(e)). En estos diseños se prevé la construcción con componentes de fabricación industrial, incluidas unidades modulares completas para la instalación rápida en el emplazamiento, lo que creará posibles economías de producción en serie en lugar de economías de escala. Otras ventajas previstas de las unidades más pequeñas son: mayor facilidad de financiamiento, mayor idoneidad para las redes pequeñas de electricidad o zonas aisladas, y posibilidad para la generación de calefacción urbana, la desalación del agua de mar y otras aplicaciones no eléctricas. Todas estas ventajas deberían aumentar su atractivo para los países en desarrollo.

32. En Alemania, China, los Estados Unidos, la Federación de Rusia, Francia, Japón, y la República de Corea se están realizando importantes esfuerzos en los grandes diseños evolutivos de LWR. Los principales esfuerzos orientados a los diseños evolutivos de LWR de pequeña y mediana potencia se observan en China, los Estados Unidos, la Federación de Rusia, Francia y el Japón. En la Argentina, los Estados Unidos, la Federación de Rusia, el Japón y la República de Corea se están elaborando diseños *innovadores* de LWR (es decir, los que incorporan cambios conceptuales radicales en los métodos de diseño o en la configuración de sistemas).

33. Tanto el Canadá como la India están trabajando en los diseños avanzados de reactores de agua pesada, y se están elaborando varios diseños de reactores avanzados refrigerados por gas con la participación de Alemania, China, los Estados Unidos, la Federación de Rusia, Francia, el Japón, el Reino Unido y Sudáfrica. En China, la Federación de Rusia, Francia, la India, el Japón y la República de Corea se están realizando actividades de desarrollo de reactores rápidos refrigerados por metal líquido. En el Foro Internacional de la Generación IV (GIF) y en la Federación de Rusia se están efectuando actividades de desarrollo para sistemas de reactores rápidos refrigerados por metal de plomo y de sodio líquido y para reactores rápidos refrigerados por gas (helio). La investigación de sistemas híbridos de espectro de neutrones rápidos (sistemas accionados por aceleradores) está en marcha en los Estados Unidos, la Federación de Rusia, la República de Corea y ocho países de la UE.

34. Dos importantes esfuerzos internacionales complementan las numerosas iniciativas mencionadas anteriormente para promover la innovación: el GIF y el Proyecto Internacional del Organismo sobre ciclos del combustible y reactores nucleares innovadores (INPRO). Los miembros del GIF son Argentina, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Francia, Japón, República de Corea, Reino Unido, Sudáfrica, Suiza y la Euratom. El GIF ha examinado una amplia gama de conceptos innovadores y, en

---

<sup>7</sup> En el “*Examen de la tecnología nuclear – 2004*” disponible en la página web IAEA.org se encuentran otros documentos relacionados con este tema.

2002, seleccionó seis tipos de sistemas de reactores para la cooperación bilateral y multilateral en el futuro: el reactor rápido refrigerado por gas, el reactor refrigerado por metal líquido de aleación de plomo, el reactor de sales fundidas, el reactor refrigerado por metal líquido de aleación de sodio, el reactor supercrítico refrigerado por agua y el reactor de muy alta temperatura refrigerado por gas.

35. Los miembros del proyecto INPRO del Organismo son: Alemania, Argentina, Brasil, Bulgaria, Canadá, China, España, Francia, Federación de Rusia, India, Indonesia, Países Bajos, Pakistán, República de Corea, Sudáfrica, Suiza, Turquía y la Comisión Europea. El INPRO publicó un informe inicial en 2003 en que se explicó a grandes rasgos el potencial de la energía nucleoelectrónica y se especificaron directrices y una metodología para evaluar los conceptos innovadores. Ahora está validando esa metodología mediante aplicaciones de prueba en una serie de estudios de casos.

36. Gran parte de la investigación experimental y teórica actual sobre la fusión nuclear se centra en el reactor termonuclear experimental internacional (ITER). La etapa de las “actividades de diseño técnico” del ITER ha concluido, y el proyecto se aproxima a la decisión relativa a la selección del emplazamiento. En 2003 se incorporaron a él tres nuevos miembros, a saber, China, los Estados Unidos (que abandonaron al inicio el ITER en 1999) y la República de Corea, que se han sumado a la Federación de Rusia, la UE y el Japón. Los dos emplazamientos propuestos están en Francia y el Japón.

37. También continúan las investigaciones en relación con otros métodos de confinamiento magnético, y el confinamiento inercial se está desarrollando intensamente en los programas nacionales de los Estados Unidos y Francia. Se prevé la terminación de la National Ignition Facility de los Estados Unidos para 2008.

## **C. Aplicaciones en materia de alimentos, agua y salud**

### **C.1. Técnicas nucleares para mejorar los cultivos**

38. Las técnicas nucleares han desempeñado, y siguen desempeñando, un importante papel en la mejora de los cultivos. Las aplicaciones son diversas, pero repercuten más en los aspectos siguientes: mejora del germoplasma en las plantas de cultivo mediante la mutación inducida; desarrollo de marcadores genéticos para dactilación genética, cartografía genética y diagnóstico mediante varias técnicas, incluido el radiomarcado de marcadores de ADN; y descubrimiento de genes mediante mutagénesis dirigida.

39. Las mutaciones inducidas, creadas por rayos gamma, rayos X, neutrones rápidos o sustancias químicas, han permitido obtener algunos éxitos importantes en la fitotecnia. En muchos casos nuevos fenotipos, como los semienanos del arroz y la cebada, revolucionaron la apariencia de los cultivos. Actualmente se están liberando variedades mutantes de semillas oleaginosas y legumbres para su cultivo con fines comerciales. Se han creado cambios más sutiles, aunque igualmente importantes, para aumentar la resistencia a enfermedades y plagas y la calidad nutricional y de elaboración. Los fitotécnicos han conseguido y explotado mutantes beneficiosos: en más de 160 especies de plantas de todo el mundo aparecen registradas oficialmente 2 316 variedades de mutantes (base de datos sobre variedades de mutantes de la FAO/OIEA).

40. La mejora de los métodos de examen ha dado lugar al resurgimiento de las aplicaciones de mutaciones radioinducidas. Por ejemplo, en Seibersdorf se han obtenido mutantes del arroz tolerantes a la salinidad mediante la irradiación gamma. Una prueba rápida en cultivo hidropónico en que se examinaron 2000 plántulas facilitó la selección. Se seleccionaron cuatro mutantes y se verificó su

tolerancia a la salinidad en el terreno. Las líneas mutantes no muestran caracteres negativos y los fitotécnicos del Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz están realizando ingentes actividades de mejoramiento genético con ellas. La zona objetivo para cultivares de arroz tolerantes a la salinidad en Asia se calcula en 618 000 ha.

41. La explosión en la información sobre la secuencia del ADN ha dado lugar a un cambio en los estudios genéticos, que de estructurales han pasado a ser funcionales. La función de los genes constituye en estos momentos un objetivo fundamental de la genética. Los mutantes son un elemento clave en esta investigación, ya que proporcionan un diagnóstico rápido para el descubrimiento sistemático y el análisis funcional de los genes. Una técnica de este tipo es la denominada TILLING (localización en genomas de lesiones locales inducidas), técnica de genética inversa en que poblaciones numerosas de mutantes pueden examinarse sistemáticamente utilizando datos sobre la secuencia del ADN.

## **C.2. Técnicas nucleares para la protección de los cultivos**

42. En los últimos años la técnica de los insectos estériles (TIE) se ha convertido en una tecnología más rentable para la eliminación de la mosca de la fruta, y capaz de competir en costos con la supresión tradicional basada en insecticidas.

43. Una de las mejoras más importantes ha sido el desarrollo de cepas de sexaje genético (CSG) como las cepas mortales sensibles a la temperatura de machos (estériles) de moscamed, que han reducido a la mitad los costos de transporte y suelta y han aumentado la eficacia de los machos estériles en el terreno, por lo menos al triple. El uso de las cepas de machos es ahora la norma de la TIE para combatir la moscamed y los países que han adquirido capacidad para la cría de moscamed han incorporado las CSG en sus procesos de producción en masa.

44. Se calcula que la demanda potencial de moscamed estériles en la cuenca del Mediterráneo solamente asciende a 4 000 millones de machos estériles como mínimo por semana, cifra que se acerca al número total producido actualmente a escala mundial. Las mejoras continuas y los nuevos adelantos científicos auguran un futuro prometedor para la TIE en lo que concierne a varias especies de importancia económica como la polilla falsa de la manzana, la polilla de la manzana, la polilla del dátil, el gusano rosado del algodón y varios otros insectos de plagas, incluido el tetuán del boniato. También el desarrollo de cepas de sexaje genético para otras plagas de insectos fundamentales con el fin de aumentar la rentabilidad de la tecnología de la TIE seguirán siendo centro de atención de las actividades de investigación y desarrollo.

## **C.3. Mejora de la productividad y sanidad pecuarias**

45. Se calcula que la erradicación del gusano barrenador utilizando la TIE en toda América del Norte y América Central a un costo global de cerca de 1 000 millones de dólares proporcionará beneficios anuales a la industria pecuaria de esta región que superen la inversión global en la campaña de erradicación de más de 45 años. Con todo, en África la tripanosomiasis transmitida por la mosca tsetse hace imposible la implantación de sistemas mixtos de agricultura y ganadería. Las pérdidas totales debidas a la tripanosomiasis en el producto interno bruto agrícola de los países infestados por la mosca tsetse del África subsahariana se calculan en 4 750 millones de dólares anuales.

46. Se han determinado zonas prioritarias internacionalmente acordadas para el desarrollo agrícola, en las cuales la intervención contra la mosca tsetse y la tripanosomiasis, incluido el componente de la TIE, probablemente produciría beneficios rápidos, tangibles y sostenibles en el contexto del desarrollo agrícola y la utilización ecológicamente apropiada de los recursos. La concertación de medidas al nivel internacional en estas esferas prioritarias se encuentra en etapa más avanzada en el valle del Rift meridional etíope, donde los análisis preliminares de costos-beneficios pronostican un punto de equilibrio de los beneficios en relación con las inversiones logrado después de 5 a 6 años y una tasa

interna de rendimiento en un período de 12 años del 33% al 43%. La Organización Árabe para el Desarrollo Agrícola, la FAO y el Organismo seguirán colaborando en un proyecto conjunto regional de viabilidad contra el gusano barrenador del Viejo Mundo en la región de Asia occidental.

47. Los últimos adelantos de la biotecnología, en particular los relacionados con tecnologías genéticas, han revolucionado las investigaciones encaminadas a mejorar la producción y la sanidad pecuarias en el mundo desarrollado. Estos adelantos permiten que los enfoques nuevos e innovadores contribuyan a hallar soluciones singulares tanto para problemas nuevos como antiguos.

48. En la producción pecuaria, la caracterización de genomas del ganado permitirá identificar genes beneficiosos, como los que dan resistencia natural a las enfermedades o la capacidad de crecimiento en condiciones de estrés climático o nutricional. Las técnicas de hibridación y otras conexas que emplean  $^{32}\text{P}$  y otros marcadores isotópicos junto con instrumentos moleculares no isotópicos para la identificación de genes, microsatélites y locis de rasgos cuantitativos, permitirán la selección y mejoramiento de animales resistentes, perfeccionando o sustituyendo así los métodos convencionales de lucha contra las enfermedades.

49. A pesar de los adelantos, las tecnologías nucleares más probadas, como el radioinmunoanálisis (RIA), que emplean  $^{125}\text{I}$  para medir las hormonas y los metabolitos en la sangre o la leche de los animales, se siguen utilizando de manera generalizada. El RIA relacionado con la hormona progesterona es un instrumento indispensable que provee información tanto sobre los problemas de los agricultores en materia de gestión genética como sobre las deficiencias en los servicios de inseminación artificial que les prestan el gobierno, las cooperativas o las organizaciones privadas. El RIA también es un método poco costoso y sólido para detectar residuos nocivos en los alimentos de origen animal, como los originados por el uso indebido de medicamentos veterinarios.

50. El diagnóstico basado en métodos moleculares ha entrado en una era importante para la sanidad pecuaria, al aumentar la sensibilidad y especificidad de las pruebas destinadas a detectar enfermedades en los animales. Un objetivo importante de muchos dispositivos de diagnóstico es la capacidad para realizar pruebas en el lugar de tratamiento que garanticen la detección rápida y exacta de los patógenos. Las mejoras en la instrumentación y su disponibilidad permitirán que se apliquen en los países en desarrollo tecnologías como la “secuenciación de genes mediante la formación de imágenes fosforescentes con  $^{35}\text{S}/^{32}\text{P}$ ”. Los adelantos en la tecnología de microfabricación, la microfluídica y la nanotecnología prometen la producción de dispositivos más sensibles, rápidos y resistentes que podrán funcionar en condiciones diversas. Los dispositivos de laboratorio en chips ofrecen la capacidad para integrar el tratamiento de muestras, y la amplificación y detección de los blancos en un solo dispositivo miniaturizado. Un elemento precursor en ese tipo de tecnologías será el desarrollo de juegos de diagnóstico basados en biochips capaces de detectar agentes infecciosos múltiples (es decir, antígenos) o la presencia de patógenos (es decir, anticuerpos) en un único análisis muy sensible, específico y rápido. Su adaptación para utilizarlas sobre el terreno ciertamente revolucionará el diagnóstico, la prevención y el control de enfermedades devastadoras para el ganado en los países en desarrollo<sup>8</sup>.

#### **C.4. Inocuidad de los alimentos**

51. Actualmente se utilizan 70 instalaciones de irradiación en más de 33 países de todo el mundo para garantizar la inocuidad y calidad de los alimentos y para dar cumplimiento a los reglamentos de cuarentena en el comercio, incluidos los productos cárnicos, los frutos frescos, las especias y los condimentos vegetales desecados.

---

<sup>8</sup> En el “*Examen de la tecnología nuclear – 2004*” disponible en la página web IAEA.org se encuentran otros documentos relacionados con este tema.

52. El vigésimo sexto período de sesiones de la Comisión del Codex Alimentarius (Roma (Italia), 30 de junio a 7 de julio de 2003), aprobó como textos finales del Codex la *Norma revisada del Codex para la irradiación de alimentos* y el *Código de práctica internacional para el tratamiento por irradiación de alimentos* recomendado por el Codex. Por otra parte, el 5º período de sesiones de la Comisión Interina de Medidas Fitosanitarias ((CIMF) Roma (Italia), 7 a 11 de abril de 2003), el órgano rector de la Convención internacional de protección fitosanitaria (IPPC), aprobó las *Directrices para utilizar la irradiación como medida fitosanitaria*. Tanto el Codex como las normas de la IPPC tienen estatuto jurídico en el marco del Acuerdo AMSF/OMC.

53. Cada vez se harán más necesarias las técnicas nucleares para garantizar la inocuidad y calidad de los alimentos y validar y normalizar métodos analíticos de bajo costo para contaminantes y residuos de alimentos que resulten adecuados para los países en desarrollo. Las actividades coordinadas en estas esferas fortalecerán la seguridad alimentaria y facilitarán el comercio internacional de alimentos gracias a la adopción de un enfoque integrado que abarcará toda la cadena alimentaria.

### **C.5. Gestión sostenible del suelo y el agua**

54. La CMDS de Johannesburgo celebrada en septiembre de 2002 reafirmó que la degradación del suelo es uno de los principales desafíos para el medio ambiente mundial y el desarrollo sostenible que plantea el siglo XXI. El Organismo ha centrado la atención en el uso de trazadores de radionucleidos, en particular el  $^{137}\text{Cs}$ , para obtener estimaciones cuantitativas de la erosión del suelo y la deposición en terrenos agrícolas, que proporcionarán información retrospectiva sobre las tasas de erosión y deposición a plazo medio (30 a 40 años) y las pautas espaciales de redistribución del suelo, sin necesidad de programas de vigilancia a largo plazo. Actualmente más de 40 grupos de investigación tienen capacidad para realizar estas investigaciones.

55. El programa FAO/OIEA participa activamente en nuevas actividades de investigación y desarrollo sobre el uso combinado del  $^{137}\text{Cs}$  con otros radionucleidos ambientales, como el  $^{210}\text{Pb}$  el  $^7\text{Be}$ , para evaluar tanto las tasas de erosión y sedimentación como las pautas en varias escalas espaciales y temporales. Esa información resultará útil para la determinación de medidas prometedoras de conservación del suelo con el fin de controlar y mitigar la erosión y la sedimentación del suelo y para la elaboración de estrategias con miras a la gestión sostenible de cuencas hidrográficas y la protección ambiental.

56. En el Foro Mundial del Agua, celebrado en marzo de 2003 en Kyoto (Japón), se reconoció el desafío que plantea la urgente necesidad de aumentar con eficacia tanto la productividad del agua para cultivos como el aprovechamiento del agua del sector agrícola. Se están realizando investigaciones con técnicas nucleares a los efectos de desarrollar instrumentos prácticos y directrices para el aumento de la productividad del agua en diversas condiciones de gestión y climáticas y para la selección de plantas resistentes a medios propensos a la sequía. La técnica de discriminación basada en el isótopo del carbono ha demostrado sus posibilidades como valioso instrumento para identificar genotipos tolerantes a la sequía.

### **C.6. Recursos hídricos**

57. El mejor conocimiento del ciclo hídrico de la Tierra ha sido reconocido ampliamente como uno de los elementos clave de la información científica necesaria para elaborar políticas encaminadas a la gestión sostenible de los recursos de agua dulce. Las aplicaciones de los isótopos en la hidrología basadas en el uso de las “huellas isotópicas” que han quedado espontáneamente en el agua ayudan a obtener rápidamente información hidrológica de grandes zonas a bajo costo.

58. En la hidrología isotópica se utilizan normalmente doce isótopos o pares isotópicos, y los que más se emplean son los isótopos estables del oxígeno y el hidrógeno. El tritio y el helio-3 se utilizan cada

vez más para datar aguas subterráneas jóvenes, lo que denota la importancia de las aguas subterráneas para satisfacer las necesidades de agua dulce en el mundo.

59. Las técnicas isotópicas se utilizan de ordinario para las evaluaciones de recursos de aguas subterráneas que realiza el US Geological Survey (USGS), en que la mayoría de los programas de análisis de sistemas acuíferos regionales han empleado técnicas isotópicas para calcular la recarga de aguas subterráneas. Ejemplos análogos del uso de los isótopos en la gestión de las aguas subterráneas se encuentran en Alemania, Australia, Francia, la India, el Reino Unido y en varios otros países. Recientemente, la aplicación de los isótopos para la gestión de los recursos de aguas superficiales y para conocer mejor el efecto del cambio climático en los recursos hídricos ha registrado avances gracias a un amplio estudio de las composiciones isotópicas de la mayoría de los ríos principales de los Estados Unidos. Más de diecisiete grupos de investigación que participan en un proyecto coordinado de investigación del Organismo están diseñando ahora una red mundial de vigilancia isotópica de grandes ríos.

60. La composición isotópica de la precipitación recogida mediante las redes nacionales y mundiales de estaciones de vigilancia ha dado una nueva dimensión a los modelos de circulación atmosférica mundial que se emplean para reconstruir condiciones paleoclimáticas en apoyo de la investigación del cambio climático mundial. Instituciones de Alemania, los Estados Unidos de América y Francia han ampliado recientemente el uso de los datos isotópicos mundiales de la precipitación para representar y verificar mejor la simulación de los procesos hidrológicos en los modelos de circulación atmosférica mundial. Los modelos basados en los datos isotópicos han mejorado el conocimiento de los procesos y se considera que simulan de manera más fiable las condiciones climáticas de épocas anteriores.

61. Más de 250 participantes de 69 países examinaron recientemente las aplicaciones en el pasado, el presente y el futuro de los isótopos en la hidrología y la investigación del clima en un simposio convocado por el Organismo en 2003. En el simposio se concluyó que las aplicaciones isotópicas seguirán siendo importantes para la gestión de recursos de aguas subterráneas y probablemente sean fundamentales en los esfuerzos por comprender y pronosticar los procesos climáticos y atmosféricos. Esta importante función de los isótopos en el estudio del cambio del clima en el pasado también es la clave para pronosticar los cambios en el futuro: cambios que quizás no sólo influyan en las temperaturas mundiales, sino también en las necesidades de energía, la disponibilidad de agua potable y la seguridad alimentaria.

## **C.7. Sanidad humana**

### **C.7.1. Nutrición**

62. Algunos de los métodos utilizados corrientemente para evaluar la salud y el estado nutricional pueden ser invasivos, inexactos, insensibles a pequeños cambios y no fácilmente transferibles al terreno. Las técnicas nucleares e isotópicas alternativas se consideran cada vez más como instrumentos indispensables para la nutrición y la investigación aplicadas. La tecnología isotópica ha resultado útil para crear programas y directrices encaminados a reducir muchas formas de malnutrición. Algunas de las técnicas principales son la técnica de dilución isotópica para el análisis de la composición corporal; la técnica del agua doblemente marcada para precisar el metabolismo energético; el uso de isótopos estables para determinar la biodisponibilidad de oligominerales; la determinación de la reserva de vitamina A en el cuerpo; las mediciones dobles de rayos X-absorciometría para determinar la densidad mineral ósea, y la prueba de aliento utilizando  $^{13}\text{C}$  para detectar infecciones.

### **C.7.2. Medicina nuclear**

#### **Aplicaciones de diagnóstico**

63. Los estudios funcionales de medicina nuclear con y sin formación de imágenes ofrecen aplicaciones de diagnóstico e investigación de las fuentes abiertas de radiactividad administradas



internamente. Por otra parte, han aumentado las aplicaciones terapéuticas. Estas técnicas se utilizan en varias especialidades como cardiología, oncología, nefrología, neurología, infecciones y genética.

**64. Estudios funcionales de medicina nuclear con y sin formación de imágenes:** La cámara gamma y la SPECT (tomografía computarizada por emisión de fotón único) se emplean de ordinario en la medicina clínica y proporcionan información estática y dinámica que permite el diagnóstico y el pronóstico de enfermedades, la determinación de la función de los órganos y una valiosa información sobre la respuesta al tratamiento. La tomografía por emisión de positrones (PET) ha surgido como un poderoso instrumento para el diagnóstico precoz de las enfermedades, y para determinar su alcance y respuesta al tratamiento, calcular la enfermedad residual después del tratamiento, prever el pronóstico y comprender el comportamiento biomolecular. La PET está dando pasos agigantados en los países desarrollados, aunque la complejidad y el costo limitan su uso clínico ordinario en la mayoría de los países en desarrollo.

65. El uso de sondas gamma para la detección y la biopsia del nódulo linfático centinela ha revolucionado el control de pacientes en la esfera de la oncología quirúrgica y ha cambiado el concepto de control de melanomas malignos y cánceres de mama y colon.

**66. Técnicas de medicina nuclear molecular:** Los métodos moleculares tienen aplicaciones en la detección y el diagnóstico rápidos de enfermedades, la patogénesis, la adopción de decisiones terapéuticas, la vigilancia y el control, las investigaciones epidemiológicas, la inmunología, la farmacogenómica y el diseño molecular de nuevos medicamentos y vacunas. Un elemento clave relacionado con estas técnicas es la amplificación de la secuencia genética de patógenos específicos mediante la reacción en cadena de la polimerasa, que se utiliza para detectar mutaciones causantes de la resistencia a los medicamentos contra la malaria y la tuberculosis, así como para clasificar subtipos de VIH y diseñar vacunas para atacarlo.

**67. Radiofarmacología y radioinmunotecnología:** La radiofarmacología se ocupa de la cinética de trazadores y de la elaboración y evaluación de diversos radiofármacos. La introducción de nuevos trazadores y aplicaciones innovadoras puede incidir considerablemente en los servicios de atención sanitaria como los que se ocupan de la oncología, la cardiología y las infecciones.

68. El radioinmunoanálisis y la inmunotecnología en la medicina son un componente importante del sistema de diagnóstico in vitro para la cuantificación de los cambios en las proteínas y otros metabolitos intermedios importantes en los estados patológicos, especialmente en los países en desarrollo. También se están utilizando en trabajos de desarrollo para estudiar nuevos métodos en relación con solicitudes de patentes, y como patrones de referencia para la verificación de los análisis no isotópicos.

## **Terapia**

**69. Braquiterapia de tasa de dosis alta:** En los últimos años, la braquiterapia de tasa de dosis alta (HDR) se ha convertido en un componente muy importante del tratamiento del cáncer de cuello del útero. A diferencia del equipo de braquiterapia de tasa de dosis baja que se había empleado de forma habitual pero con el que sólo se podían someter a tratamiento 2 a 3 pacientes por semana, la HDR permite someter a tratamiento a docenas de pacientes cada día, además de que brinda posibilidades sin precedentes para optimizar la dosis de radiación.

**70. Determinación de perfiles de genes y proteínas:** Las revoluciones genómica y proteómica en las esferas de la biología y la medicina han propiciado la reciente disponibilidad de microseries en gran escala que permiten analizar varios miles de genes o proteínas en un tiempo breve. Esta tecnología es muy prometedora para la preselección en el futuro de pacientes y/o cánceres en función de su respuesta a la radiación.

**71. Terapia basada en células primarias:** Durante mucho tiempo se ha utilizado la radioterapia como parte del proceso de preparación para el trasplante de médula ósea. Las investigaciones

recientes indican que la radioterapia, conjuntamente con el trasplante celular o de células primarias, también podría desempeñar una función valiosa en la regeneración de otros órganos, como el hígado, el páncreas y el sistema nervioso central.

### **Dosimetría y radiofísica médica**

72. La medición adecuada de la radiación ionizante (dosimetría) es fundamental para la utilización segura y eficaz de la tecnología nuclear en el diagnóstico y el tratamiento de pacientes. Más de 250 participantes de 62 países examinaron cuestiones relacionadas con la dosimetría en un simposio convocado recientemente por el Organismo en Viena. Se formularon más de 90 recomendaciones para orientar la labor futura, en las que se destacó la necesidad de proporcionar más capacitación al personal de atención sanitaria en la prestación de servicios infraestructurales; de disponer de equipo adecuado y asequible en apoyo de las tecnologías de diagnóstico y tratamiento; y de elaborar normas físicas y realizar comparaciones y auditorías de programas de control y garantía de calidad para demostrar la aplicación segura y eficaz de la tecnología nuclear a los pacientes.

## **D. Aplicaciones para procesos ambientales e industriales sostenibles**

### **D.1. Protección de los medios marino y terrestre**

#### **D.1.1. Medio ambiente marino**

73. La protección del medio ambiente marino y la gestión de los recursos oceánicos son particularmente complejas y difíciles. Es fundamental proteger las zonas costeras de importancia socioeconómica, en cuyas cercanías habita el 40% de la población mundial y en las que se produce la mayor cantidad de mariscos del mundo.

74. Algunos de los problemas más importantes que han afectado al medio ambiente costero han sido la salud y seguridad públicas, la salud de los ecosistemas, la eutroficación (fertilización excesiva que da lugar a la falta de oxígeno), las floraciones de algas nocivas y otros peligros como las inundaciones de las costas y los cambios del nivel del mar. El fenómeno de las “floraciones de algas nocivas” (HAB) ha tenido amplias repercusiones económicas en las industrias pesquera y de mariscos, así como en el turismo. Técnicas nucleares tales como los análisis radiométricos receptor-ligando, han ayudado, como instrumento analítico, a contrarrestar la incidencia creciente de las HAB, problema que requiere análisis rápidos y económicos sensibles a las bajas concentraciones de toxinas.

75. Por su desintegración radiactiva, algunos radionucleidos naturales son excelentes instrumentos geocronológicos para datar, por ejemplo, la secuencia cronológica de las capas de sedimentos en ciertas zonas marinas. El conocimiento de las etapas de sedimentación ayuda a determinar las tendencias temporales de los contaminantes marinos. Hay una amplia diversidad de radioisótopos de metales pesados análogos, particularmente los emisores gamma, que contribuyen a determinar el transporte, comportamiento y destino final de contaminantes procedentes de metales pesados en el agua, los sedimentos y los organismos marinos en condiciones de laboratorio.

#### **D.1.2. Medio ambiente terrestre**

##### **Prevención de la emisión de contaminantes**

76. Durante la combustión de combustibles fósiles se emiten contaminantes ácidos tales como óxidos de azufre y nitrógeno, lo cual da lugar a la lluvia ácida y la formación de *smog*. Los haces de electrones modifican los óxidos de azufre y nitrógeno contenidos en los gases desprendidos de la

combustión y permiten que reaccionen con amoníaco añadido para producir efluentes limpios y fertilizantes. La ventaja fundamental del tratamiento por irradiación es que los compuestos tóxicos se transforman en productos útiles e inofensivos. En las centrales alimentadas por carbón de China y Polonia, las plantas de tratamiento de gases de combustión por haces de electrones (destinadas a la depuración de gases de combustión procedentes de bloques de 100 MW(e)), registran un alto grado de eficiencia en la eliminación de los óxidos de sulfuro y nitrógeno. Las tecnologías nucleares basadas en haces de electrones, radiación electromagnética o fuentes isotópicas también se han utilizado para descontaminar y desinfectar efluentes acuosos, aguas residuales y aguas y fangos industriales mediante la destrucción de sustancias y microorganismos orgánicos nocivos y tóxicos. Se ha desarrollado una tecnología combinada, que utiliza un haz de electrones y ozono, para eliminar hidrocarburos clorados del agua potable. Otra aplicación permite el saneamiento por irradiación de los fangos biológicos procedentes del tratamiento de aguas residuales biológicas, y ofrece la posibilidad de utilizarlos como fertilizantes.

### **Vigilancia e investigación ambientales**

77. Las técnicas y métodos de medición nucleares también se utilizan ampliamente para la vigilancia y la investigación ambientales, mediante el empleo de radionucleidos naturales y artificiales como indicadores de los procesos de transporte atmosférico, terrestre y marino.

78. La aparición de métodos basados en radionucleidos en la esfera de la geocronología ha revolucionado el conocimiento de los procesos de sedimentación modernos en sistemas acuáticos. Los métodos basados en  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{87/86}\text{Sr}$  se utilizan como instrumentos cuantitativos en la geocronología de sedimentos marinos y lacustres. Además, se ha utilizado el  $^{137}\text{Cs}$  y otros radionucleidos naturales y antropógenos de gran absorción en la superficie del suelo, que se encuentran en concentraciones muy bajas pero mensurables, para estudiar fenómenos relacionados con la erosión de los suelos y su sedimentación.

### **Remoción de minas con fines humanitarios**

79. Las minas terrestres abandonadas colocadas durante conflictos armados anteriores y actuales siguen representando una amenaza para la población de más de 60 países del mundo en desarrollo. Una mina terrestre antipersonal típica contiene muy poco metal, por lo que es difícil detectarla por medios normales de detección de metales. Los detectores de metales muy sensibles pueden detectar minas terrestres con bajo contenido de metal, pero no pueden distinguir entre minas y otros objetos de metal pequeños enterrados, como los fragmentos de metralla. El método nuclear basado en la exploración neutrónica es uno de los pocos métodos que permiten realizar un análisis no intrusivo de los elementos de los objetos enterrados, al detectar el hidrógeno contenido en el explosivo de la mina. Un instrumento basado en un generador de neutrones electrostáticos pulsados (PELAN, análisis elemental de pulsación de neutrones) para la remoción de minas con fines humanitarios ha constituido la base de muchas investigaciones y parece prometedor. Las pruebas indicaron que el dispositivo PELAN podía determinar de forma fiable la presencia de minas antitanque con 5 a 6 kg de dinamita enterradas a 15 cm de profundidad y minas antipersonal con 200 g de dinamita a 5 cm de profundidad. No se pudo llegar a una conclusión definitiva respecto de la detección de minas antipersonal más pequeñas, y aún deben mejorarse los límites de detección. Para tener pleno éxito el PELAN tendría que llevar incorporado un dispositivo adecuado de detección de anomalías, como por ejemplo, un detector de metales o un radar de exploración subterránea, para aplicaciones sobre el terreno. Además, se han elaborado dispositivos manuales basados en la retrodispersión de neutrones para la detección de minas terrestres plásticas en zonas áridas. Estos instrumentos han sido sometidos a prueba en condiciones similares a las del terreno y está previsto que el personal encargado de la remoción de minas utilice este tipo de instrumentos junto con un detector de metales para detectar minas terrestres plásticas.

## **D.2. Tecnología radiológica para industrias limpias y seguras<sup>9</sup>**

80. Actualmente se dispone de una gran variedad de técnicas nucleares para aplicaciones industriales, ambientales, médicas o de investigación. La tecnología radioisotópica, como la irradiación gamma, los haces de electrones o de iones, así como los dispositivos nucleónicos de medición, los radiotrazadores y las fuentes selladas, los ensayos no destructivos y las técnicas analíticas nucleares, se utilizan para el control de procesos, la modificación de materiales, la reducción de emisiones industriales nocivas, el reprocesamiento de las corrientes de desechos, y para muchos fines más.

81. Además de las repercusiones económicas de las aplicaciones radiológicas y radioisotópicas, éstas inciden considerablemente en diferentes aspectos del desarrollo social e industrial, por ejemplo, en la salud humana (radioesterilización de productos médicos, irradiación de sangre e injertos para trasplantes), la protección ambiental (tratamiento de gases de combustión y de aguas residuales mediante haces de electrones, higienización de fangos por rayos gamma); industrias limpias y seguras (comprobaciones de fugas por radiotrazadores y ensayos no destructivos de instalaciones, tuberías y tanques); mejora de la calidad de los productos (técnicas analíticas nucleares, ensayos no destructivos); optimización de procesos (radiotrazadores y sistemas de control nucleónico); exploración y explotación de materias primas (procesamiento en línea, diagrfia de sondeos), y seguridad física (inspecciones de cargamentos, irradiación de la correspondencia estatal).

82. Actualmente existen en todo el mundo más de 160 irradiadores gamma industriales, de los cuales 65 unidades se encuentran en países en desarrollo. Más del 20% de estos irradiadores gamma tienen una potencia superior a 1 MCi. El número total de aceleradores en todo el mundo es superior a 13 000. Las nuevas aplicaciones ambientales requieren la fabricación de aceleradores de alta potencia y fiables. En Polonia se ha construido la instalación de tratamiento por irradiación más potente, con una potencia total de más de 1 MW, para la depuración de los gases de combustión de las centrales eléctricas.

83. En la esfera relativamente nueva de la nanotecnología se utiliza la tecnología basada en haces de electrones para algunas aplicaciones, como la litografía. Ya se han sometido a prueba las estructuras nanométricas, y otras aplicaciones posibles guardan relación con los polímeros conductivos y de fases múltiples.

84. Los radiotrazadores presentes en la industria y el medio ambiente constituyen instrumentos inestimables en muchos procesos, por ejemplo, en los campos petroleros y las refinerías, las industrias química y metalúrgica y las instalaciones de depuración de aguas residuales. Algunos radioisótopos comúnmente utilizados como trazadores son  $^3\text{H}$ ,  $^{82}\text{Br}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{24}\text{Na}$  y  $^{131}\text{I}$ .

### **D.2.1. Técnicas analíticas nucleares**

85. Las técnicas analíticas nucleares desempeñan una función importante en la certificación del contenido de elementos de una serie de materiales, y tienen un valor particular para el comercio internacional, ya que se tienen que respetar los límites legales establecidos para los productos alimenticios y los resultados analíticos deben basarse en el reconocimiento mutuo, lo que se logra si los laboratorios se ajustan a las normas de calidad internacionalmente aceptadas como la norma ISO 17025. El desarrollo de instrumentos sólidos, automáticos y portátiles, aptos para condiciones de laboratorio y, de campo, indica las nuevas tendencias en las aplicaciones nucleares. Las técnicas nucleares también son útiles para la conservación del patrimonio cultural humano. El análisis por activación neutrónica es un análisis de elementos múltiples muy sensible para la dactilación de

---

<sup>9</sup> En el “Examen de la tecnología nuclear – 2004” disponible en la página web IAEA.org se encuentran otros documentos relacionados con este tema.

oligoelementos que se realiza para distinguir especímenes originales de falsificaciones, y que se ha aplicado a monedas y otros artefactos metálicos, piedras y cerámica.

### **D.2.2. Desalación nuclear<sup>10</sup>**

86. El interés en la desalación nuclear está motivado por la creciente demanda mundial de agua dulce y por los adelantos en los reactores de pequeña y mediana potencia, que podrían ser más apropiados para la desalación que los reactores de gran potencia. En la esfera de la desalación nuclear, el Japón ha acumulado más de 125 años-reactor de experiencia, y Kazajstán acumuló 26 años-reactor antes de poner en régimen de parada el reactor rápido Aktau en 1999. Egipto ha finalizado un estudio de viabilidad de una planta de cogeneración nuclear (electricidad y agua) en el emplazamiento de El-Dabaa. Francia ha concluido un estudio europeo conjunto sobre desarrollo de reactores para desalación nuclear (proyecto EURODESAL). La India está construyendo una planta de demostración híbrida de los procesos de evaporación instantánea en etapas múltiples y de desalación nuclear por ósmosis inversa de 6 300m<sup>3</sup>/d en Kalpakkam. La planta de ósmosis inversa ya está en servicio y la puesta en servicio de toda la planta está prevista para 2004. El Canadá ha finalizado los ensayos funcionales del proceso de ósmosis inversa de precalentamiento y está estudiando la posibilidad de realizar un programa de demostración previo a la comercialización. China ha llevado a cabo un estudio preliminar de viabilidad de la planta de desalación nuclear de agua de mar de Shandong, en la zona de Yantai mediante la utilización de un NHR-200, e Indonesia está realizando un estudio preliminar de viabilidad económica de la desalación nuclear en la isla de Madura. La República de Corea concluyó el diseño básico del concepto SMART en 2002, e inició un proyecto de seis años para la construcción de una planta piloto SMART a escala 1:5 para verificar la ejecución integral del sistema SMART y la desalación nuclear. El Pakistán prosigue sus trabajos de construcción de una planta de demostración de desalación nuclear de 4 800 m<sup>3</sup>/d que se ha de conectar al PHWR en KANUPP. En la Federación de Rusia se sigue trabajando en el diseño de una planta flotante de generación de electricidad y calor con métodos nucleares a partir de tecnologías de reactores marinos. Está previsto que la primera planta se comience a construir en 2005 o 2006 en la zona septentrional europea de Rusia. Los planes prevén una unidad flotante con dos reactores KLT-40S que se utilizará como fuente de energía de las instalaciones de desalación nuclear. Túnez está planificando un estudio preliminar de viabilidad de una planta de desalación nuclear adaptada a las condiciones específicas del emplazamiento.

## **E. Aspectos socioeconómicos de la energía nuclear y sus aplicaciones**

87. La tecnología y las técnicas nucleares producen energía, hacen que nuestros alimentos sean más inocuos y abundantes, ayudan a prevenir, diagnosticar y curar enfermedades, optimizan el aprovechamiento sostenible del agua y protegen el medio ambiente. Las técnicas nucleares han contribuido considerablemente - y pueden contribuir mucho más - a resolver cuestiones de interés fundamental para la comunidad internacional, como las determinadas por la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible celebrada en Johannesburgo en 2002: agua, energía, salud, agricultura y biodiversidad.

88. Es necesario entender las repercusiones de esas técnicas en las generaciones futuras, ya que afectan a los recursos de la sociedad y sus instituciones, así como a sus conocimientos públicos,

---

<sup>10</sup> En el "Examen de la tecnología nuclear – 2004" disponible en la página web IAEA.org se encuentran otros documentos relacionados con este tema.

capital humano, capital manufacturado y capital natural. En un mundo cada vez más globalizado, las contribuciones nacionales o regionales también pueden ser beneficiosas para la comunidad mundial, y no únicamente para una sola sociedad. Al nivel nacional y regional, las ciencias y aplicaciones nucleares son disciplinas básicas en el camino hacia una sociedad tecnológicamente avanzada. Todos los países sacan provecho de las aplicaciones nucleares, especialmente en la esfera de la atención sanitaria. Aunque la utilización de las técnicas nucleares aumenta drásticamente con el desarrollo social, tecnológico y económico de los países, se pueden obtener beneficios socioeconómicos importantes en todos los niveles de desarrollo. Para poder obtener esos beneficios, las contribuciones radiológicas deben estar debidamente arraigadas en actividades económicas importantes como la agricultura, la salud y la energía<sup>11</sup>.

89. Se precisan evaluaciones exactas de los costos, ventajas y riesgos de las aplicaciones nucleares, así como una evaluación continua para garantizar que sus ventajas se aprovechen en las esferas en que merece la pena utilizar el átomo. Tanto los países desarrollados como los países en desarrollo se han beneficiado y continúan beneficiándose considerablemente de esas técnicas. Las inversiones en las infraestructuras técnicas, científicas y de reglamentación necesarias se pueden amortizar con relativa rapidez, aunque deban pasar muchos años para que algunos aspectos se consoliden. La transferencia por el Organismo de recursos humanos, técnicos, científicos y de reglamentación en la esfera nuclear es una actividad importante para el desarrollo socioeconómico, pero debe valorarse en función del “valor añadido” o de la rentabilidad comparativa frente a las técnicas no nucleares. Las técnicas de evaluación deben adaptarse a la aplicación nuclear o isotópica pertinente y es preciso que los estudios definan condiciones en los límites realistas para que las evaluaciones de las repercusiones socioeconómicas sean significativas. Las dificultades para evaluar correctamente las repercusiones de las ciencias y aplicaciones nucleares son importantes, pero los resultados podrían ofrecer a los encargados de tomar decisiones claros argumentos de carácter económico y social que justificaran sus decisiones respecto de las aplicaciones nucleares seleccionadas.

---

<sup>11</sup> En el “*Examen de la tecnología nuclear – 2004*” disponible en la página web IAEA.org se encuentran otros documentos relacionados con este tema.