

Derecho Nuclear

Debate mundial



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

DERECHO NUCLEAR
DEBATE MUNDIAL

Los siguientes Estados son Miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica:

ALBANIA	FINLANDIA	PALAU
ALEMANIA	FRANCIA	PANAMÁ
ANGOLA	GABÓN	PAPUA NUEVA GUINEA
ANTIGUA Y BARBUDA	GEORGIA	PARAGUAY
ARABIA SAUDITA	GHANA	PERÚ
ARGELIA	GRANADA	POLONIA
ARGENTINA	GRECIA	PORTUGAL
ARMENIA	GUATEMALA	QATAR
AUSTRALIA	GUYANA	REINO UNIDO DE
AUSTRIA	HAITÍ	GRAN BRETAÑA E
AZERBAIYÁN	HONDURAS	IRLANDA DEL NORTE
BAHAMAS	HUNGRÍA	REPÚBLICA ÁRABE SIRIA
BAHREIN	INDIA	REPÚBLICA
BANGLADESH	INDONESIA	CENTROAFRICANA
BARBADOS	IRÁN, REPÚBLICA	REPÚBLICA CHECA
BELARÚS	ISLÁMICA DEL	REPÚBLICA DE MOLDOVA
BÉLGICA	IRAQ	REPÚBLICA DEMOCRÁTICA
BELICE	IRLANDA	DEL CONGO
BENIN	ISLANDIA	REPÚBLICA DEMOCRÁTICA
BOLIVIA, ESTADO	ISLAS MARSHALL	POPULAR LAO
PLURINACIONAL DE	ISRAEL	REPÚBLICA DOMINICANA
BOSNIA Y HERZEGOVINA	ITALIA	REPÚBLICA UNIDA
BOTSWANA	JAMAICA	DE TANZANÍA
BRASIL	JAPÓN	RUMANIA
BRUNEI DARUSSALAM	JORDANIA	RWANDA
BULGARIA	KAZAJSTÁN	SAINT KITTS Y NEVIS
BURKINA FASO	KENYA	SAMOA
BURUNDI	KIRGUISTÁN	SAN MARINO
CAMBOYA	KUWAIT	SAN VICENTE Y
CAMERÚN	LESOTHO	LAS GRANADINAS
CANADÁ	LETONIA	SANTA LUCÍA
COLOMBIA	LIBANO	SANTA SEDE
COMORAS	LIBERIA	SENEGAL
CONGO	LIBIA	SERBIA
COREA, REPÚBLICA DE	LIECHTENSTEIN	SEYCHELLES
COSTA RICA	LITUANIA	SIERRA LEONA
CÔTE D'IVOIRE	LUXEMBURGO	SINGAPUR
CROACIA	MACEDONIA DEL NORTE	SRI LANKA
CUBA	MADAGASCAR	SUDÁFRICA
CHAD	MALASIA	SUDÁN
CHILE	MALAWI	SUECIA
CHINA	MALÍ	SUIZA
CHIPRE	MALTA	TAILANDIA
DINAMARCA	MARRUECOS	TAYIKISTÁN
DJIBOUTI	MAURICIO	TOGO
DOMINICA	MAURITANIA	TONGA
ECUADOR	MÉXICO	TRINIDAD Y TABAGO
EGIPTO	MÓNACO	TÚNEZ
EL SALVADOR	MONGOLIA	TURKMENISTÁN
EMIRATOS ÁRABES UNIDOS	MONTENEGRO	TÜRKİYE
ERITREA	MOZAMBIQUE	UCRANIA
ESLOVAQUIA	MYANMAR	UGANDA
ESLOVENIA	NAMIBIA	URUGUAY
ESPAÑA	NEPAL	UZBEKISTÁN
ESTADOS UNIDOS	NICARAGUA	VANUATU
DE AMÉRICA	NÍGER	VENEZUELA, REPÚBLICA
ESTONIA	NIGERIA	BOLIVARIANA DE
ESWATINI	NORUEGA	VIET NAM
ETIOPÍA	NUEVA ZELANDIA	YEMEN
FEDERACIÓN DE RUSIA	OMÁN	ZAMBIA
FIJI	PAÍSES BAJOS	ZIMBABWE
FILIPINAS	PAKISTÁN	

El Estatuto del Organismo fue aprobado el 23 de octubre de 1956 en la Conferencia sobre el Estatuto del OIEA celebrada en la Sede de las Naciones Unidas (Nueva York); entró en vigor el 29 de julio de 1957. El Organismo tiene la Sede en Viena. Su principal objetivo es “acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero”.

DERECHO NUCLEAR DEBATE MUNDIAL

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2022

El libro original, *Nuclear Law: The Global Debate*, fue publicado por primera vez en 2022, en inglés, por TMC Asser Press, La Haya (Países Bajos), y producido y distribuido por Springer-Verlag, Heidelberg (Alemania) bajo una licencia de Creative Commons del tipo Atribución 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY 3.0 IGO). ISBN 978-92-0-337822-2 (papel) | ISBN 978-92-0-337922-9 (PDF) | ISBN 978-92-0-338022-5 (EPUB)

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-6265-495-2>

© Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, 2022

Esta publicación se ha preparado a partir del material original aportado por los colaboradores y no ha sido editada por el personal de los servicios editoriales del OIEA. Las opiniones expresadas son las de los colaboradores y no representan necesariamente las opiniones del OIEA o de sus Estados Miembros. Ni el OIEA ni sus Estados Miembros asumen responsabilidad alguna por las consecuencias que puedan derivarse del uso de esta publicación. Esta publicación no aborda cuestiones de responsabilidad, jurídica o de otra índole, por actos u omisiones por parte de persona alguna. El uso de determinadas denominaciones de países o territorios no implica juicio alguno por parte de la entidad editora, el OIEA, sobre la situación jurídica de esos países o territorios, sus autoridades e instituciones o el trazado de sus fronteras. La mención de nombres de empresas o productos específicos (se indiquen o no como registrados) no implica ninguna intención de violar derechos de propiedad ni debe interpretarse como una aprobación o recomendación por parte del OIEA. Corresponde a los autores obtener la autorización necesaria para que el OIEA reproduzca, traduzca o utilice material de fuentes que ya estén protegidas por derechos de propiedad intelectual. El OIEA no es responsable de la continuidad o exactitud de las URL de los sitios web externos o de terceros en Internet a que se hace referencia en esta publicación y no garantiza que el contenido de dichos sitios web sea o siga siendo preciso o adecuado.

PREFACIO

El derecho nuclear es un ámbito en constante evolución, en cuyo centro se encuentra el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Este cuerpo de leyes altamente especializado impregna todo el sector nuclear y permite utilizar, de manera tecnológica y físicamente segura y pacífica, la tecnología nuclear.

Gracias a él, podemos disfrutar de los numerosos beneficios de la ciencia y la tecnología nucleares que permiten salvar vidas, como el tratamiento del cáncer, la energía limpia y un mejor rendimiento de los cultivos.

El OIEA y la comunidad internacional han creado un régimen de salvaguardias casi universal que tiene por objeto detectar e impedir la desviación de materiales nucleares adscritos a actividades nucleares pacíficas hacia la fabricación de armas nucleares. Asimismo, hemos creado una cultura que antepone la seguridad tecnológica —y física—, y nos hemos adaptado a nuevas amenazas como el terrorismo.

La ciencia y la tecnología nucleares evolucionan, impulsadas por la innovación y la necesidad de hacer frente a los desafíos actuales y emergentes, como la pandemia COVID-19 y el cambio climático, por ejemplo. El derecho nuclear debe evolucionar a la par de ellas. Por este motivo, publicamos el presente libro en el marco de la Primera Conferencia Internacional del OIEA sobre Derecho Nuclear — Debate Mundial.

En 2022, expertos de todo el mundo se reunieron en este foro mundial único con la finalidad de debatir cuestiones clave del derecho nuclear y formular una visión para el futuro. La presente colección de ensayos es una recopilación de las ideas de las eminencias mundiales en este ámbito. Algunos de los ensayos hacen una reflexión sobre la historia del derecho nuclear y su evolución, otros se centran en cuestiones específicas relacionadas con las cuatro ramas principales del derecho nuclear —la seguridad tecnológica, la seguridad física, las salvaguardias y la responsabilidad por daños nucleares— y otros ponen de relieve algunas de las esferas en las que la ciencia y la tecnología nucleares desempeñan un papel importante.

Estoy seguro de que este libro será útil para los responsables de elaborar y aplicar políticas y de redactar leyes y reglamentos. Tengo la convicción de que será de interés para las organizaciones del sistema de las Naciones Unidas y otras organizaciones internacionales y regionales cuyos mandatos abarcan la paz y la seguridad y el desarrollo sostenible. Algunos ensayos resultarán particularmente interesantes para las industrias del sector jurídico y de los seguros que prestan asesoramiento a los gobiernos y a la industria sobre cuestiones nucleares. Para el mundo académico y la sociedad civil, el libro bien podría dar lugar a estudios y campañas de promoción que inviten a la reflexión. Espero que inspire y oriente a estudiantes y a jóvenes profesionales, especialmente a las mujeres,

que siguen carreras profesionales relacionadas con el derecho, la política o la industria nucleares.

No obstante, mi objetivo es que esta colección resulte útil no solo para quienes trabajan en el ámbito nuclear. Deseo que todos los que nos beneficiamos del poder de la ciencia y la tecnología nucleares para salvar vidas comprendamos qué hay detrás de ellas.

Huelga decir que este libro ha sido posible gracias a la generosidad de los distinguidos autores que dedicaron tiempo a compartir sus ideas. Quisiera expresarles mi más sincero agradecimiento. También quisiera reconocer la labor de muchos colegas de la Secretaría del OIEA gracias a los cuales esta publicación única e importante existe, entre ellos, el personal de la Oficina de Asuntos Jurídicos y de la División de Servicios de Conferencias y Documentación del Departamento de Administración, mis asesores de la Oficina del Director General, así como colegas del Departamento de Salvaguardias, el Departamento de Seguridad Nuclear Tecnológica y Física, el Departamento de Energía Nuclear y el Departamento de Cooperación Técnica. Por último, me gustaría agradecer en particular el apoyo que han prestado la Asesora Jurídica y Directora de la Oficina de Asuntos Jurídicos, P. L. Johnson, y los Jefes de Sección de la Oficina de Asuntos Jurídicos, W. Tonhauser (que también actuó como Secretario Científico de la Conferencia), I. Suseanu y J. Lusser. Doy las gracias a A. Wetherall, C. de Francia e I. Pletukhina de la Oficina de Asuntos Jurídicos del OIEA por su indispensable ayuda.

Rafael Mariano Grossi
Director General
Organismo Internacional de Energía Atómica
Viena (Austria)

ÍNDICE

1.	DERECHO NUCLEAR: DEBATE MUNDIAL.....	1
	Referencias	34
2.	LEYES NUCLEARES PARA LOS USOS PACÍFICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR.....	39
2.1.	Establecimiento y perfeccionamiento del marco jurídico nuclear internacional	39
2.2.	Establecimiento de un marco jurídico nuclear y desarrollo práctico de la energía nuclear en China	46
2.3.	Perspectivas	50
	Referencias	53
3.	LA VISIÓN RUSA DE LOS PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS DEL MARCO JURÍDICO INTERNACIONAL EN EL CONTEXTO DE LOS REACTORES MODULARES PEQUEÑOS Y LAS UNIDADES DE ENERGÍA NUCLEOELÉCTRICA TRANSPORTABLES	57
3.1.	Introducción	57
3.2.	Enfoques para el control reglamentario de los SMR flotantes	59
3.3.	Aspectos específicos de la concesión de licencias y enfoques del SOLAS	61
3.4.	Apoyo jurídico para el transporte de SMR flotantes	62
3.5.	Salvaguardias del OIEA.....	64
3.6.	Los SMR flotantes y la responsabilidad civil por daños nucleares.....	64
3.7.	Iniciativas del OIEA para el estudio del apoyo jurídico con respecto a los SMR flotantes	66
3.8.	Conclusión	67
	Referencias	68
4.	HITOS DEL DERECHO NUCLEAR: UN VIAJE POR LA REGLAMENTACIÓN NUCLEAR.....	69
4.1.	Introducción	69
4.2.	Reglamentación nuclear: características y tensiones	70

4.3.	Prepararse para los desafíos en materia de reglamentación . . .	79
4.4.	Perspectivas de futuro	83
4.5.	Conclusión	88
	Referencias	89
5.	EL FORTALECIMIENTO DEL RÉGIMEN MUNDIAL DE SEGURIDAD NUCLEAR	93
	Referencias	104
6.	EL DESAFÍO DEL CAMBIO CLIMÁTICO. TRANSFORMACIÓN COMPLETA DE LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS: SIN ENERGÍA NUCLEAR NO HABRÁ CERO EMISIONES NETAS	105
6.1.	El desafío del cambio climático y la transformación de la energía primaria	105
6.2.	Energía primaria	106
6.3.	Consumo de energía actual.	108
6.4.	Atributos/excepcionalidad de la energía nuclear	116
6.5.	Producción en cadena: reactores modulares.	120
6.6.	La energía nuclear como proveedor de combustible alternativo	134
6.7.	La energía nuclear como batería	138
6.8.	La energía nuclear como descarbonizadora industrial	140
6.9.	Quemar nuestro legado: nuevo diseño de reactor para aprovechar los desechos	142
6.10.	La energía nucleoelectrica como energía primaria de bajo costo	145
6.11.	Mercados energéticos	151
6.12.	Nuestras opciones y planteamiento	164
6.13.	Reflexiones finales	169
	Referencias	170
7.	IMPUTACIÓN LEGAL DEL DAÑO POR RADIACIÓN EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN RADIOLÓGICA	175
7.1.	Propósito	176
7.2.	Resumen del consenso científico básico	178
7.3.	De la estimación de los efectos a la imputación del daño	180
7.4.	El paradigma fundamental	183

7.5.	Hechos verificables frente a conjeturas subjetivas.	188
7.6.	Atestación.	189
7.7.	Consecuencias jurídicas	191
7.8.	Conclusión	195
	Referencias	195
8.	LA EFICACIA DEL RÉGIMEN JURÍDICO DE LA SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR A NIVEL MUNDIAL Y LA CAPACIDAD DE APLICACIÓN DE LOS ESTADOS A LA LUZ DEL DESARROLLO FUTURO DE TECNOLOGÍAS DE REACTORES NUCLEARES AVANZADOS	199
8.1.	Introducción	200
8.2.	Revisión de los componentes primarios internacionales del régimen jurídico mundial de la seguridad física nuclear	201
8.3.	Revisión de la capacidad de los Estados para aplicar nuevos requisitos u orientaciones relacionados con la seguridad física nuclear	207
8.4.	Conclusión	210
	Referencias	210
9.	ESTABLECIMIENTO DE UN RÉGIMEN DE SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR: PREGUNTAS QUE CONVIENE HACER	211
9.1.	Introducción	211
9.2.	Soberanía y responsabilidad del Estado	214
9.3.	La amenaza: evaluación de la amenaza y amenaza base de diseño.	216
9.4.	El marco internacional	218
9.5.	El marco legislativo y reglamentario	224
9.6.	La autoridad de seguridad física nuclear	229
9.7.	Responsabilidad de los explotadores	232
9.8.	Elección de opciones tecnológicas, emplazamientos y rutas de transporte	236
9.9.	Confidencialidad, transparencia y comunicación.	239
9.10.	Conclusión	242
9.11.	Yendo más lejos....	244
	Referencias	245

10.	SALVAGUARDIAS DEL OIEA: CORRECCIÓN Y EXHAUSTIVIDAD DE LAS DECLARACIONES DE SALVAGUARDIAS DE LOS ESTADOS	247
10.1.	Introducción	247
10.2.	Perspectiva histórica	248
10.3.	Interpretación del tratado	250
10.4.	Nociones fundamentales de las salvaguardias amplias	254
10.5.	Resumen	264
	Referencias	267
11.	SALVAGUARDIAS PARA EL FUTURO	269
11.1.	Introducción	269
11.2.	La situación actual de las salvaguardias del OIEA	270
11.3.	La búsqueda de la universalidad	271
11.4.	Fortalecimiento de las salvaguardias	273
11.5.	Gestión de las salvaguardias	276
11.6.	Transparencia y apertura	280
11.7.	Capacitación en salvaguardias	284
11.8.	Perfeccionamiento del personal de salvaguardias	288
11.9.	Futuros desafíos en materia de verificación	292
11.10.	¿Más oficinas regionales?	294
11.11.	Financiación de las salvaguardias	295
11.12.	Conclusión	297
	Referencias	297
12.	RESPONSABILIDAD POR DAÑOS NUCLEARES Y EVOLUCIÓN DESPUÉS DE FUKUSHIMA	301
12.1.	Introducción	301
12.2.	Grupo Internacional de Expertos sobre Responsabilidad por Daños Nucleares	302
12.3.	Medidas adoptadas como respuesta directa al accidente	303
12.4.	Otros temas examinados por el INLEX desde 2012, principalmente en respuesta a la evolución y las innovaciones de la industria nuclear mundial	311
12.5.	Ámbitos de reflexión para hoy y para mañana	321
12.6.	Conclusión	326
	Referencias	326

13.	EL ÁTOMO HUMANITARIO: LA FUNCIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEOELÉCTRICA EN LA CONSECUCCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LAS NACIONES UNIDAS	329
13.1.	Introducción	329
13.2.	Centralidad de la energía (limpia) para el desarrollo sostenible y función de la energía nuclear	332
13.3.	Tecnología nuclear al servicio de la salud	336
13.4.	Protección del medio ambiente con energía nuclear	343
13.5.	Garantizar una transición energética justa	347
13.6.	Conclusión	352
	Referencias	354
14.	LOS PAÍSES EN FASE DE INCORPORACIÓN AL ÁMBITO NUCLEAR: EL CAMINO RECORRIDO POR LOS EMIRATOS ÁRABES UNIDOS.	363
14.1.	El inicio del programa nucleoelectrico de los Emiratos Árabes Unidos: la Política Nuclear	364
14.2.	De la Política Nuclear al marco jurídico	365
14.3.	Hacia una legislación nuclear nacional integral.	371
	Referencias	386
15.	LA CREACIÓN DE LA AUTORIDAD DE SEGURIDAD TECNOLÓGICA Y FÍSICA NUCLEAR Y RADIOLÓGICA EN EL REINO DE MARRUECOS: UNA PUESTA EN COMÚN DE LA EXPERIENCIA Y LAS ENSEÑANZAS EXTRAÍDAS . .	389
15.1.	Introducción	389
15.2.	La evolución de las aplicaciones nucleares en Marruecos.	391
15.3.	La evolución del marco regulador nacional de la seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica	393
15.4.	Función y logros de la AMSSNuR.	394
15.5.	Principales logros por área estratégica.	397
15.6.	Conclusión	403
	Referencias	404

1. DERECHO NUCLEAR: DEBATE MUNDIAL

Rafael Mariano Grossi

International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria

Resumen El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) desempeña un papel único en el desarrollo y la aplicación del derecho nuclear internacional. El presente capítulo contiene un breve examen del régimen de derecho nuclear y sus cuatro pilares, a saber, la seguridad tecnológica, la seguridad física, las salvaguardias y la responsabilidad civil por daños nucleares. En él se examina cómo hemos llegado hasta aquí y hacia dónde podemos encaminar el debate mundial, teniendo en cuenta las aplicaciones actuales y emergentes de la ciencia y la tecnología nucleares con fines pacíficos, como los reactores avanzados y la fusión nuclear. Asimismo, se invita a todas las partes interesadas de la comunidad mundial, incluidas organizaciones internacionales, organizaciones no gubernamentales, la industria, el mundo académico y la sociedad civil, así como todos aquellos que se encargarán de dar forma al derecho nuclear en el futuro, para que den comienzo al debate y el diálogo sobre derecho nuclear.

Palabras clave Aplicaciones (de la ciencia y la tecnología nucleares) con fines pacíficos • Derecho nuclear internacional • Fusión nuclear • Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) • Reactores avanzados • Responsabilidad civil por daños nucleares • Salvaguardias • Seguridad física nuclear • Seguridad tecnológica nuclear

Los instrumentos, principios y normas internacionales conforman el marco de derecho nuclear sobre el cual cimentamos la confianza en que la energía nuclear redundará en beneficio nuestro y de nuestro planeta. En ese sentido, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ocupa un lugar esencial, velando por que este activo vital siga siendo sólido y ágil en un panorama en que la tecnología, las oportunidades y los desafíos se encuentran en constante cambio.

Del mismo modo que las inspecciones del OIEA garantizan que no se utilizan indebidamente los materiales nucleares para fabricar armas, o que sus científicos ayudan a los Estados Miembros a utilizar la ciencia y la tecnología nucleares en la medicina, la agricultura y la lucha contra la contaminación por plásticos y las enfermedades zoonóticas (como la COVID-19), el derecho nuclear y quienes le dan forma brindan el marco normativo indispensable para sostener todo ese esfuerzo.

Ese marco crítico en el que nos basamos hoy se construyó en gran medida a partir de una serie de reacciones a acontecimientos mundiales de gran calado, comenzando por la fundación del OIEA por parte de quienes, al término de la Segunda Guerra Mundial, tomaron conciencia del formidable poder de la energía nuclear, tanto para salvar vidas como para destruirlas. Las actividades de verificación del OIEA nos permiten ofrecer garantías de que los Estados se adhieren a sus compromisos de no proliferación, en virtud de los cuales el material y la tecnología nucleares se utilizarán exclusivamente con fines pacíficos. Esto promueve una confianza mutua en que no se desvían materiales nucleares hacia armas nucleares y constituye la piedra angular del régimen internacional de no proliferación.

Aparte de asegurar que el OIEA actúa como guardián infatigable, firme, imparcial, justo y transparente del sistema mundial de salvaguardias, dentro del terreno jurídico hay tres tareas importantes que me he marcado como Director General: trabajar activamente para que el marco jurídico y normativo que tenemos hoy sea lo más sólido posible; ayudar a los Estados a cumplir las leyes, los principios y las normas que nos mantienen seguros a todos y gracias a los cuales podemos disfrutar de las numerosas ventajas de la tecnología nuclear; y hacer posible que todos quienes, junto con el OIEA, modelan los instrumentos jurídicos internacionales nucleares del mañana sean lo más proactivos que resulte posible.

El presente libro recoge los pensamientos e ideas de algunas de las figuras más destacadas en su campo, muchas de ellas juristas. Este capítulo se basará en mi propia experiencia como estudiante de historia, diplomático argentino y funcionario internacional. Como dijo Edmund Burke: “En la historia se despliega un gran volumen para instruirnos, del que se extraen los materiales de la sabiduría futura”. Un breve examen del régimen de derecho nuclear, de cómo hemos llegado hasta aquí y de adónde podemos llevar este debate global es un buen modo de comenzar. La apertura del debate mundial sobre el derecho nuclear a un público más amplio asegurará la adopción de decisiones fundamentadas por los Estados, teniendo en cuenta las opiniones y contribuciones de las partes interesadas de la comunidad mundial, esto es, las organizaciones internacionales, las organizaciones no gubernamentales, la industria, el mundo académico y la sociedad civil.

El derecho nuclear consta de cuatro “pilares” principales: seguridad tecnológica, seguridad física, salvaguardias y responsabilidad. Impregnan todo el sector nuclear y abarcan, por ejemplo, el modo en que manejamos los materiales nucleares y otros materiales radiactivos, ya sea en el laboratorio de una universidad de París o en un portacontenedores que viaja camino de un reactor de investigación en Nigeria. El derecho nuclear es esencial para aprovechar las

ventajas que se derivan del uso tecnológica y físicamente seguro y con fines pacíficos de la tecnología nuclear y sus aplicaciones en nuestra vida cotidiana.

La atención se centra primordialmente, como cabe entender, en la energía nuclear, que resulta esencial a medida que se va convirtiendo en una parte cada vez más crítica de la canasta energética con bajas emisiones de carbono de los países que tratan de evitar los peores efectos del cambio climático, proporcionando, al mismo tiempo, el combustible sostenible y fiable que precisa su crecimiento económico, y a medida que avances como los reactores modulares pequeños (SMR) requieren una atención especial. Ahora bien, el derecho nuclear hace mucho más que abordar cuestiones de seguridad tecnológica, seguridad física, salvaguardias y responsabilidad en relación con las centrales nucleares. La humanidad sigue enfrentándose actualmente a otros grandes desafíos que se prevé que persistan en el futuro: la seguridad alimentaria, la atención sanitaria y la gestión de los recursos hídricos, junto con la necesidad de un medio ambiente más limpio y más seguro. Los marcos jurídicos permiten usar la tecnología nuclear para responder a esas cuestiones críticas.

Como participantes en la comunidad nuclear, debemos, pues, asegurar que el derecho nuclear siga sirviendo adecuadamente su propósito.

El sector nuclear y las leyes y normas que lo rigen están en continua evolución, y lo mismo hace el OIEA. En este capítulo, intento describir cómo estamos ayudando a nuestros Estados Miembros a integrar las lecciones del pasado para anticiparse a las necesidades del futuro.

Para evaluar continuamente los marcos jurídicos en que se desarrollan las actividades nucleares, hace falta cierto rigor. Como Director General del OIEA, soy muy consciente de los años que se necesitan para dominar la complejidad de esta esfera, en la que científicos, ingenieros, juristas, políticos y diplomáticos deben hablar un lenguaje común. Para lograrlo, debemos entender el ámbito nuclear y las leyes conexas. Con el objetivo de hablar un lenguaje común en el debate mundial, comenzaremos este viaje con unas nociones básicas sobre los orígenes, el contenido y la evolución de este campo.

El martes 8 de diciembre de 1953, sobre el telón de fondo de la carrera armamentista nuclear entre los Estados Unidos de América y la Unión Soviética, el presidente de los Estados Unidos, Dwight Eisenhower, se dirigió a los diplomáticos que se habían congregado en la Sede de las Naciones Unidas en Nueva York para escuchar lo que iba a decir a la Asamblea General. En un discurso que con el tiempo figuraría entre los más célebres de la historia, prometió que los Estados Unidos ayudarían a resolver el “temible dilema atómico” y se afanarían por “encontrar un camino para que la milagrosa inventiva del hombre no estuviera dedicada a su propia muerte, sino consagrada a su propia vida”. En su discurso conocido como “Átomos para la paz”, el presidente Eisenhower esbozó lo que acabaría por ser el OIEA y sentó las bases del futuro Tratado sobre la No

Proliferación de las Armas Nucleares (TNP),¹ dos piedras angulares que todavía hoy rigen el enfoque global de cara a garantizar el uso con fines exclusivamente pacíficos de la fuente de energía más poderosa del mundo.²

Igual que una moneda, el mandato del OIEA tiene dos caras: es, a nivel mundial, el organismo internacional de vigilancia nuclear y el principal foro intergubernamental para la cooperación científica y técnica en el ámbito nuclear. En este sentido, trabaja para garantizar que los usos tecnológica y físicamente seguros y con fines pacíficos de la ciencia y la tecnología nucleares ayuden a los Estados Miembros a progresar en la consecución de sus Objetivos de Desarrollo Sostenible.

En sus más de seis décadas de vida, el OIEA se ha enfrentado a muchos desafíos para renovar continuamente su papel de principal organización intergubernamental independiente del sistema de las Naciones Unidas basada en la ciencia y la tecnología, y siempre ha sido ágil en su respuesta a las crisis. El desarrollo de marcos jurídicos nucleares sólidos ha evolucionado desde mediados de la década de 1940 en los planos nacional, regional e internacional.

Como se describe en este capítulo, acontecimientos del pasado como el accidente de Chernóbil en 1986, el descubrimiento de un programa clandestino de armas nucleares en el Iraq en 1991 y los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001 llevaron a desarrollar nuevos instrumentos jurídicos internacionales en materia de seguridad nuclear y radiológica, seguridad física nuclear, salvaguardias y responsabilidad civil por daños nucleares, y a reforzar los ya existentes. Esos acontecimientos también fueron importantes elementos catalizadores del cambio en el seno del OIEA, y dieron pie a que se reforzaran las funciones de verificación, seguridad física y seguridad tecnológica nuclear que ejerce el Organismo.

Una característica básica del derecho nuclear es que se centra en calibrar los beneficios de la tecnología nuclear y minimizar al mismo tiempo sus riesgos. Su objetivo es aportar un marco jurídico para llevar a cabo actividades relacionadas con la energía nuclear y la radiación ionizante de manera que se protejan adecuadamente las personas, los bienes y el medio ambiente, a fin de que el público pueda beneficiarse de esta tecnología. Esta tarea se lleva a cabo mediante regímenes complementarios que tratan de la seguridad tecnológica, la seguridad física, las salvaguardias y la responsabilidad.

El accidente de la central nuclear de Chernóbil, que tuvo lugar el 26 de abril de 1986, fue una llamada de atención a la comunidad internacional e hizo que se introdujeran normas más estrictas de seguridad nuclear a nivel

¹ El Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) se abrió a la firma el 1 de julio de 1968 y entró en vigor el 5 de marzo de 1970.

² Eisenhower, 1953.

internacional y nacional. Los operadores examinaron minuciosamente sus reactores y establecieron canales de comunicación que incluso pasaron por encima de las líneas políticas profundamente divididas de la Guerra Fría, creando una cultura mundial en la que la seguridad es lo primero y de la que aún hoy nos beneficiamos. Chernóbil dio lugar a la creación de un marco jurídico internacional en este ámbito que consta actualmente de cuatro tratados aprobados bajo los auspicios del Organismo. También fue un importante elemento catalizador del fortalecimiento del papel del OIEA en materia de seguridad nuclear.

En septiembre de 1986, inmediatamente después del accidente de Chernóbil, se aprobaron dos convenciones: la Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares (Convención sobre Pronta Notificación)³ y la Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica (Convención sobre Asistencia).⁴ El objetivo de estas convenciones es reducir al mínimo las consecuencias de los accidentes o las emergencias, disponiendo la notificación de accidentes, el intercambio de información y la rápida prestación de asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica. La Convención sobre Pronta Notificación cuenta actualmente con 130 partes y la Convención sobre Asistencia, con 124 partes (a septiembre de 2021).

Aunque el grado de adhesión a estas dos convenciones de seguridad posteriores a Chernóbil es relativamente alto, todavía hay cerca de 50 Estados Miembros del OIEA que no son partes en estos instrumentos fundamentales. Nuestra labor consiste en seguir concienciando acerca de por qué todos los Estados deberían ser partes en esos instrumentos. Cabe destacar que las convenciones constituyen la base jurídica del marco internacional de preparación y respuesta para casos de emergencia (PRCE) y están respaldadas por disposiciones operacionales, que son los medios prácticos mediante los cuales el OIEA, sus Estados Miembros y otras organizaciones internacionales se mantienen preparados para casos de emergencia y responden eficazmente a cualquier incidente o emergencia nucleares o radiológicos.⁵

La piedra angular del marco jurídico internacional de seguridad nuclear, la Convención sobre Seguridad Nuclear⁶ aprobada en 1994, trata del importante tema

³ La Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares se abrió a la firma el 26 de septiembre de 1986 (Viena) y el 6 de octubre de 1986 (Nueva York), y entró en vigor el 27 de octubre de 1986 (Convención sobre Pronta Notificación).

⁴ La Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica se abrió a la firma el 26 de septiembre de 1986 (Viena) y el 6 de octubre de 1986 (Nueva York), y entró en vigor el 26 de febrero de 1987 (Convención sobre Asistencia).

⁵ Véanse OIEA 2017; OIEA 2018a; OIEA 2020a; OIEA 2020b.

⁶ La Convención sobre Seguridad Nuclear se abrió a la firma el 20 de septiembre de 1994 y entró en vigor el 24 de octubre de 1996.

de la seguridad de las centrales nucleares terrestres (incluidas las instalaciones de almacenamiento, manipulación y tratamiento directamente relacionadas con su funcionamiento). La Convención sobre Seguridad Nuclear cuenta con 91 partes y, salvo alguna excepción contada, todos los países que poseen centrales nucleares en funcionamiento son partes en ella (a marzo de 2021).

Como su nombre indica, la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos aprobada en 1997 (Convención Conjunta)⁷ se ocupa de la parte final del ciclo del combustible nuclear y otros desechos radiactivos, temas que no se habían abordado antes en la Convención sobre Seguridad Nuclear. Aunque la Convención Conjunta entró en vigor hace dos decenios, actualmente cuenta con solo 86 partes y más de la mitad de los Estados Miembros del OIEA aún no se han adherido a ella (a septiembre de 2021). La situación puede explicarse en parte por los aspectos técnicos de la Convención y la necesidad de una mayor sensibilización entre los responsables de la toma de decisiones acerca de su pertinencia para los países que no llevan a cabo actividades relacionadas con el ciclo del combustible nuclear. Por ejemplo, casi todos los países generan desechos radiactivos, ya sea como resultado de la producción de electricidad de origen nuclear o bien del empleo de radioisótopos en el diagnóstico y tratamiento médicos, en aplicaciones industriales o agrícolas o en la investigación. Por lo tanto, la Convención Conjunta es pertinente para todos los Estados.

El principal elemento innovador de la Convención sobre Seguridad Nuclear y la Convención Conjunta es el procedimiento de examen por homólogos. En reuniones que tienen lugar cada tres años, responsables oficiales, entre ellos reguladores, someten las prácticas nacionales en materia de seguridad de su país, tal y como las recogen los informes nacionales, a un proceso de examen por homólogos exigente, pero constructivo. Por medio de este mecanismo, no solo demuestran el compromiso de aplicar estrictas medidas de seguridad y lograr altos niveles de seguridad, sino que también tienen una oportunidad única de compartir experiencias y aprender colectivamente.

Cuando hablamos de derecho nuclear, nos referimos a un cuerpo de leyes que incluye no solo tratados internacionales jurídicamente vinculantes, sino también instrumentos jurídicamente no vinculantes y códigos de conducta que influyen enormemente en la creación de normas. Cuando no se llega a un consenso para la aprobación de un tratado, esos instrumentos jurídicamente no vinculantes pueden ser una solución útil, dada la posibilidad de aprobarlos y actualizarlos más rápidamente, lo que permite responder sencilla y flexiblemente a las necesidades

⁷ La Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos se abrió a la firma el 29 de septiembre de 1997 y entró en vigor el 18 de junio de 2001 (Convención Conjunta).

que vayan surgiendo. En concreto, dos códigos de conducta aprobados por el OIEA en los últimos dos decenios tratan la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas y la seguridad de los reactores de investigación civiles.⁸ Para contrarrestar el carácter jurídicamente no vinculante del Código de Conducta sobre la Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas de 2003⁹ (y las dos Directrices y Orientaciones complementarias)¹⁰, los Estados tienen la posibilidad de prestar apoyo político al Código de Conducta, con arreglo a las resoluciones pertinentes de la Conferencia General, el órgano rector del OIEA integrado por los Estados Miembros que cada año aprueba resoluciones que orientan la labor del Organismo.¹¹ Desde 2006, funciona un proceso formalizado de intercambio de información, en el marco del Código de Conducta, sobre los criterios nacionales para controlar las fuentes radiactivas.

Las convenciones y los códigos de conducta, que establecen principios, objetivos y requisitos de alto nivel, se sustentan, en cada caso, en un conjunto exhaustivo de normas técnicas de seguridad detalladas y no vinculantes, aprobadas sobre la base del Estatuto del OIEA, que reflejan un consenso internacional con respecto a lo que constituye un alto grado de seguridad para proteger a la población y el medio ambiente. Las normas, que se aplican a una gran variedad de instalaciones y actividades, desde instalaciones nucleares hasta el uso de la radiación y de fuentes radiactivas en la medicina, la industria y la agricultura, se elaboran con expertos de los Estados Miembros en un proceso abierto y transparente dirigido por la Comisión sobre Normas de Seguridad (CSS), en consulta con las Naciones Unidas y sus organismos especializados¹².

La mayoría de los países aplican las normas de seguridad del Organismo de manera voluntaria. Para facilitar la aplicación nacional, los instrumentos y las normas están respaldados por mecanismos voluntarios de aplicación práctica, como exámenes por homólogos y los servicios del OIEA de asesoramiento en

⁸ OIEA 2004; OIEA 2006a.

⁹ OIEA 2004.

¹⁰ OIEA 2012a; OIEA 2018b.

¹¹ Hasta la fecha (septiembre de 2021), 140 Estados han asumido el compromiso político de aplicar el Código de Conducta, 123 Estados han asumido el compromiso político de aplicar las Directrices sobre la Importación y Exportación de Fuentes Radiactivas complementarias y 44 Estados, las Orientaciones sobre la Gestión de las Fuentes Radiactivas en Desuso complementarias de 2017.

¹² Existen cuatro Comités que apoyan el programa de normas de seguridad del OIEA: en la esfera de la seguridad nuclear, el Comité sobre Normas de Seguridad Nuclear (NUSSC); en la seguridad radiológica, el Comité sobre Normas de Seguridad Radiológica (RASSC); en la seguridad de los desechos radiactivos, el Comité sobre Normas de Seguridad de los Desechos (WASSC); y en el transporte seguro de materiales radiactivos, el Comité sobre Normas de Seguridad en el Transporte (TRANSSC).

materia de seguridad, que se llevan a cabo en tanto que función estatutaria del Organismo¹³. Además, se ofrecen otras diversas actividades de asistencia, entre ellas, el programa de asistencia legislativa del OIEA, que ayuda a los Estados a adherirse a los instrumentos jurídicos internacionales pertinentes y a darles aplicación efectiva en los marcos jurídicos nacionales amplios en materia nuclear.

Si bien científicos internacionales destacados no han detectado que se produjeran efectos en la salud inducidos por la radiación como consecuencia de este, el accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi de la Compañía de Energía Eléctrica de Tokio que tuvo lugar en el Japón el 11 de marzo de 2011 fue el segundo accidente de mayor repercusión de la historia de la energía nuclear.¹⁴ Poco después del accidente, los Estados Miembros del OIEA aprobaron por unanimidad un Plan de Acción sobre Seguridad Nuclear¹⁵. Además del Plan de Acción, se adoptaron varias medidas encaminadas a mejorar la eficacia del marco jurídico internacional de seguridad nuclear y fortalecer los exámenes por homólogos y las normas de seguridad del OIEA. En 2015, las partes en la Convención sobre Seguridad Nuclear¹⁶ también aprobaron la Declaración de Viena sobre la Seguridad Nuclear¹⁷, que en la actualidad forma parte del procedimiento de examen de la Convención sobre Seguridad Nuclear. La Declaración refuerza el cumplimiento del objetivo de la Convención sobre Seguridad Nuclear de prevenir

¹³ Los servicios de examen por homólogos y de asesoramiento en el ámbito de la seguridad comprenden el Servicio Integrado de Examen de la Situación Reglamentaria (IRRS), el Grupo de Examen de la Seguridad Operacional (OSART), las misiones de Examen de Medidas de Preparación para Emergencias (EPREV), las misiones de examen del Diseño del Emplazamiento y los Sucesos Externos (SEED), los servicios de examen técnico de la seguridad (TSR), las misiones de Servicio de Evaluación de la Protección Radiológica Ocupacional (ORPAS), las misiones de Aspectos de Seguridad de la Explotación a Largo Plazo (SALTO), las misiones de Examen por Homólogos de la Experiencia en el Comportamiento de la Seguridad Operacional (PROSPER), las misiones de Evaluación Integrada de la Seguridad de Reactores de Investigación (INSARR), las misiones de Evaluación Independiente de la Cultura de la Seguridad (ISCA), las Misiones de Asesoramiento sobre la Infraestructura de Reglamentación en materia de Seguridad Radiológica (AMRAS) (que también se ocupan de la seguridad física, como la Misión de Asesoramiento sobre la Infraestructura de Reglamentación en materia de Seguridad Radiológica y Seguridad Física del Material Radiactivo (RISS)) y las misiones de Evaluación de la Enseñanza y la Capacitación (EduTA). En 2014, el OIEA puso en marcha el Servicio de Examen Integrado para la Gestión de Desechos Radiactivos y de Combustible Gastado, la Clausura y la Rehabilitación (ARTEMIS).

¹⁴ OIEA 2015a.

¹⁵ OIEA 2011a. El Plan de Acción fue aprobado por la Junta de Gobernadores del OIEA el 13 de septiembre de 2011, y refrendado por la Conferencia General en su quincuagésima quinta reunión ordinaria en 2011.

¹⁶ Convención sobre Seguridad Nuclear: véase la nota 6 *supra*.

¹⁷ OIEA 2015b.

los accidentes con consecuencias radiológicas y mitigar estas consecuencias en caso de que se produjesen. Las partes en la Convención sobre Seguridad Nuclear y en la Convención Conjunta¹⁸ también fortalecieron los procesos de examen por homólogos en el marco de ambas Convenciones. Asimismo, se alentó a los Estados Miembros a que utilizaran periódicamente los servicios de examen por homólogos y de asesoramiento del OIEA. El posterior aumento de su uso, así como el intercambio de resultados, experiencias y enseñanzas extraídas, son pasos positivos que deberían continuar. Además, se hizo un llamamiento a la Secretaría del OIEA para que realizara labores de evaluación y pronóstico durante una emergencia nuclear o radiológica¹⁹.

El accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi recordó a la comunidad internacional la necesidad de un entendimiento común entre los países y, en la medida de lo posible, de un enfoque común de la preparación y respuesta para casos de emergencia (PRCE), incluso en los casos en que se producen accidentes en centrales nucleares a gran distancia, al otro lado del mundo. Se reconoce que un elevado grado de cumplimiento de las normas de seguridad del OIEA es un paso vital para lograr la armonización de las disposiciones en materia de PRCE. La necesidad de armonización de las disposiciones en materia de PRCE y de coordinación transfronteriza a ese respecto se establece en los instrumentos jurídicos y las normas internacionales pertinentes.²⁰ Dado que ha aumentado el número de países de todo el mundo que aspiran a poner en marcha nuevos programas nucleoelectrónicos y construir nuevas centrales nucleares, los debates para armonizar las estrategias de PRCE a nivel bilateral y regional son importantes. Una respuesta armonizada en todos los países es fundamental en caso de accidente nuclear.

Desde la década de 1970, ha ido en aumento la conciencia de que la explotación de las centrales nucleares y la gestión de fuentes radiactivas exigen elevados niveles de seguridad tanto tecnológica como física. En esencia, la seguridad física nuclear tiene por objetivo velar por que los materiales nucleares y otros materiales radiactivos no caigan en manos de actores no estatales que podrían utilizarlos con fines dolosos. Para ello se requiere, por ejemplo, reforzar la seguridad de las fronteras mediante la instalación de monitores de radiación en puertos y pasos fronterizos y garantizar que la policía, las guardias de fronteras y

¹⁸ Convención Conjunta: véase la nota 7 *supra*.

¹⁹ De conformidad con el Plan de Acción, la Conferencia General del OIEA, en su quincuagésima séptima reunión ordinaria de 2013, subrayó posteriormente que la función de respuesta de la Secretaría debía abarcar todas las emergencias nucleares y radiológicas. Véase OIEA 2013a, párr. 103.

²⁰ En particular, véanse la Convención sobre Seguridad Nuclear y la Convención Conjunta, así como las normas de seguridad del OIEA pertinentes, como OIEA 2015c y otras recomendaciones y orientaciones del OIEA relativas a la PRCE.

otros funcionarios sean capaces de detectar y prevenir el contrabando de materiales nucleares y otros materiales radiactivos. Exige fortalecer la protección física en las instalaciones nucleares y en los hospitales, incluida la dotación de guardias y cámaras, para evitar robos de material radiactivo.

La interfaz entre la seguridad física y la seguridad tecnológica nucleares es una esfera de sinergia en el debate mundial sobre el derecho nuclear. Ambas comparten el mismo objetivo: proteger a las personas, el público y el medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación ionizante. No obstante, las actividades que abordan la seguridad tecnológica y la seguridad física son distintas, y las medidas adoptadas para fortalecer una pueden repercutir en la otra positiva o negativamente. Por ejemplo, los controles para limitar el acceso a las zonas esenciales de una central nuclear no solo desempeñan una función de seguridad tecnológica al prevenir o limitar la exposición de los trabajadores y restringir el acceso para el mantenimiento al personal cualificado, sino que también cumplen una función de seguridad física al impedir el acceso no autorizado de intrusos. En consecuencia, existe una necesidad constante de cuidar de que las medidas de seguridad tecnológica y las medidas de seguridad física se diseñen y apliquen de manera integrada.

El Organismo lleva 50 años formulando importantes orientaciones en materia de seguridad física nuclear, centradas inicialmente en recomendaciones para la protección física de los materiales nucleares.²¹ Las recomendaciones del Organismo contribuyeron a sentar las pautas para las deliberaciones y negociaciones relativas a la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN)²², aprobada en 1979 bajo los auspicios del OIEA, aunque fueron los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001 en los Estados Unidos de América los que impulsaron una reevaluación rápida y radical de los riesgos del terrorismo en todas sus formas, incluida la amenaza del terrorismo nuclear y radiológico. Aquella atrocidad puso de relieve la necesidad urgente de fortalecer la seguridad física nuclear sin esperar a que un suceso relacionado con la seguridad física nuclear obligara por su gravedad a realizar mejoras de seguridad y ampliar la cooperación internacional. Tras los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001, los Estados acordaron reforzar los instrumentos jurídicos internacionales ya existentes, establecer otros nuevos para mejorar la seguridad física nuclear en todo el mundo y fortalecer el papel del OIEA. En concreto, se alcanzó un acuerdo en 2005 para aprobar una enmienda

²¹ OIEA 2011b.

²² La Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN) se abrió a la firma el 3 de marzo de 1980 y entró en vigor el 8 de febrero de 1987.

con el objetivo de reforzar la CPFMN.²³ A la vez, se aprobó el Convenio Internacional para la Represión de los Actos de Terrorismo Nuclear (ICSANT) de las Naciones Unidas.²⁴

En la actualidad, el marco jurídico de la seguridad física nuclear comprende varios tratados complementarios, las resoluciones pertinentes del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas y una serie de instrumentos jurídicamente no vinculantes.²⁵ Los instrumentos no han sido adoptados únicamente por el OIEA y bajo sus auspicios, sino también por las Naciones Unidas y sus organismos especializados y bajo sus auspicios, en particular la Organización Marítima Internacional (OMI) y la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).²⁶ El marco incluye dos importantes resoluciones del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas adoptadas tras los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001, en virtud del Capítulo VII de la Carta de las Naciones Unidas relativo a la acción en caso de amenazas a la paz, quebrantamientos de la paz o actos de agresión (resolución 1540 (2004) y resolución 1373 (2001)).²⁷ Ambas resoluciones son vinculantes para todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas (actualmente 193). La entrada en vigor de la Enmienda de la CPFMN en 2016 supuso un hito importante para los esfuerzos internacionales encaminados a reforzar la seguridad física nuclear en todo el mundo. Algo muy importante es que la CPFMN²⁸ y su Enmienda siguen siendo los únicos compromisos jurídicamente vinculantes desde el punto de vista internacional en la esfera de la protección física de los materiales e instalaciones nucleares utilizados con fines pacíficos.

Al objeto de prestar apoyo a los Estados, el OIEA elabora orientaciones sobre seguridad física nuclear que, al igual que las normas de seguridad del OIEA, tienen por finalidad ayudar a los Estados a desarrollar, aplicar y mantener regímenes nacionales en materia nuclear. La *Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA* incluye las importantes orientaciones sobre protección

²³ La Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (Enmienda de la CPFMN) entró en vigor el 8 de mayo de 2016.

²⁴ El Convenio Internacional para la Represión de los Actos de Terrorismo Nuclear (ICSANT) se abrió a la firma el 14 de septiembre de 2005 y entró en vigor el 7 de julio de 2007.

²⁵ OIEA, 2011c.

²⁶ La mayoría de los tratados pertinentes adoptados fuera de los auspicios del OIEA se centran principalmente en la penalización de determinados actos relacionados con materiales nucleares u otros materiales radiactivos, así como en los aspectos conexos, mientras que los instrumentos adoptados bajo los auspicios del OIEA comprenden, además de la penalización y la cooperación internacional, medidas legislativas, administrativas y técnicas para garantizar la protección física de los materiales y las instalaciones.

²⁷ Naciones Unidas 2004; Naciones Unidas 2001.

²⁸ CPFMN: véase la nota 22 *supra*.

física que en la actualidad también se aplican a las instalaciones nucleares.²⁹ El Comité de Orientación sobre Seguridad Física Nuclear (NSGC), que supervisa la publicación y la revisión de todas las publicaciones de la colección, está compuesto por representantes de los Estados Miembros del OIEA y forman parte de él observadores como el Instituto Mundial de Seguridad Física Nuclear (WINS). Cuando se logre la aplicación generalizada de las orientaciones de seguridad física nuclear del OIEA, tendrán el mismo rango que las normas de seguridad del OIEA. Al igual que en el caso de la seguridad tecnológica nuclear, los servicios voluntarios de asesoramiento en materia de seguridad física nuclear del Organismo, como el Servicio Internacional de Asesoramiento sobre Protección Física (IPPAS) y el Servicio Internacional de Asesoramiento sobre Seguridad Física Nuclear (INSServ), desempeñan un importante papel apoyando a los Estados en el establecimiento, el mantenimiento y la mejora de sus regímenes de seguridad física nuclear.

Debemos proseguir nuestra labor destinada a mantener marcos jurídicos sólidos de seguridad física nuclear y mejorarlos. Vivimos en un mundo en el que va en aumento el número de instalaciones y actividades nucleares y de otro tipo, incluidas centrales nucleares, laboratorios y otros lugares relacionados con este tipo de material. Individuos y grupos con intenciones dolosas podrían intentar aprovechar los puntos débiles del régimen mundial de seguridad física nuclear para sembrar el miedo y el pánico, algo que no solo provocaría sufrimiento, sino que también minaría la confianza del público, fundamental para poder seguir utilizando la ciencia y la tecnología nucleares para todo tipo de aplicaciones importantes que salvan vidas.

La seguridad física nuclear, al igual que la seguridad tecnológica nuclear, es responsabilidad de cada país. No obstante, se reconoce universalmente que la cooperación internacional es clave para protegerse del terrorismo nuclear, y que el OIEA actúa como plataforma mundial inclusiva para este fin. Además de las orientaciones y recomendaciones técnicas que el OIEA establece y para cuya aplicación presta apoyo a los Estados Miembros, otra parte de su labor está relacionada con el suministro de equipo de detección de radiación, incluidos detectores personales y pórticos detectores de radiación para el control de vehículos y contenedores en los puertos marítimos y puestos fronterizos, y la capacitación del personal. El OIEA presta también apoyo práctico en relación con la seguridad física nuclear en grandes eventos públicos. Además, la singular posición del Organismo le permite reunir e integrar las numerosas y valiosas iniciativas que se están llevando a cabo en todo el mundo, no solo por parte de los gobiernos, sino también por centros de estudio, organizaciones no gubernamentales, etc.

²⁹ OIEA, 2011b.

Para eliminar los puntos débiles del régimen mundial de seguridad física nuclear, son fundamentales la adhesión universal a los instrumentos pertinentes y su plena aplicación.³⁰ Seguimos promoviendo la universalización de la Enmienda de la CPFMN,³¹ entre otras cosas mediante la colaboración con todas las partes interesadas a nivel nacional, regional e internacional. Asesoramos sobre los aspectos jurídicos para garantizar su comprensión y la concienciación al respecto, así como sobre los beneficios que implica la adhesión a este instrumento. También ofrecemos ayuda en relación con los aspectos técnicos mediante asistencia práctica, asesoramiento de expertos, equipos y capacitación.³² Disponer de un marco internacional global reforzado para combatir el terrorismo nuclear, de una base para garantizar que los implicados en actos terroristas y otros actos delictivos relacionados con materiales nucleares sean llevados ante la justicia y que se les niegue un refugio seguro, y de mecanismos más sólidos de cooperación internacional y regional mejora la seguridad de todos los Estados, posean o no materiales nucleares.

De conformidad con la CPFMN en su forma enmendada, se convoca una Conferencia de las partes en la Enmienda de la CPFMN para examinar su aplicación e idoneidad a la luz de la situación imperante en el momento de la reunión. Esta Conferencia ofrece una excelente oportunidad para considerar la aplicabilidad de la Convención enmendada a los desafíos actuales, incluidas las cuestiones emergentes, debatir las enseñanzas extraídas en la aplicación de la Convención enmendada y garantizar la viabilidad duradera de la Convención como instrumento válido en el futuro.

Las tecnologías emergentes, como los sistemas aéreos no tripulados y la inteligencia artificial, son un tema que recibe cada vez más atención y que probablemente seguirá en el punto de mira en el futuro. Estas tecnologías y sus aplicaciones presentan oportunidades y desafíos. Por un lado, las tecnologías emergentes son fundamentales para mejorar las operaciones y pueden ser útiles para mejorar la seguridad física nuclear. Por ejemplo, las tecnologías en ámbitos como la inteligencia artificial y los macrodatos tienen aplicaciones en la detección de un suceso relacionado con la seguridad física nuclear, la dilación en hacerlo, así como en la respuesta que se le dé. Por otro lado, es necesario tener en cuenta los posibles riesgos adicionales en materia de seguridad física que podrían acompañar a estas tecnologías, especialmente los asociados a la seguridad física de la información y la seguridad informática.

En los últimos diez años se ha ido prestando cada vez más atención a la seguridad informática, a medida que iban saliendo a la luz pruebas claras y

³⁰ Hay 164 partes en la CPFMN y 127 partes en la Enmienda (a septiembre de 2021).

³¹ Enmienda a la CPFMN: véase la nota 23 *supra*.

³² Véase OIEA, 2021a.

recurrentes de las vulnerabilidades de los sistemas informáticos. Como se depende más de la inteligencia artificial y los sistemas digitales de control y seguridad, incluidos los que se utilizan para detectar fallos y poner en parada las centrales, algunos sucesos recientes han puesto de relieve la importancia de intensificar la seguridad informática. El OIEA desempeña un papel importante ayudando a considerar nuevas tecnologías para aplicaciones de seguridad física nuclear.³³ Adaptar la seguridad física nuclear para tomar en cuenta las tecnologías emergentes implica asegurarse de que estas cumplen los requisitos de seguridad física y se ajustan a los marcos jurídicos y reguladores. Esto requiere una mayor cooperación entre los sectores público y privado. Cabe esperar que las tecnologías emergentes sigan desempeñando un importante papel en el debate mundial, ya sea en el marco de la Conferencia de examen de la CPFMN en su forma enmendada, en el contexto de la ampliación de las orientaciones de la *Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA* o en relación con las importantes conferencias celebradas a nivel ministerial sobre seguridad física nuclear, que el Organismo lleva organizando desde 2013.³⁴

El Organismo desempeña un papel central reconocido en el fortalecimiento del marco de seguridad física nuclear a nivel mundial y en la coordinación de las actividades internacionales en este campo, incluida la cooperación con otras organizaciones internacionales y las diversas iniciativas en materia de seguridad física nuclear. Es vital que todos nos mantengamos a la vanguardia en la lucha contra el terrorismo nuclear. El Centro de Capacitación y Demostración en materia de Seguridad Física Nuclear del Organismo, que pronto entrará en funcionamiento, consolidará el papel central del Organismo en este ámbito de importancia internacional al ofrecer capacitación en una instalación dotada de los últimos adelantos.

La necesidad de salvaguardias eficaces es un componente fundamental del derecho nuclear, además de los altos niveles de seguridad tecnológica y seguridad física ya mencionados. El sistema de salvaguardias del OIEA comenzó su evolución en un momento de gran temor a que las armas nucleares predominaran en los arsenales de muchos países del mundo. El hecho de que esto no haya

³³ Véase OIEA, 2021a. En el Plan de Seguridad Física Nuclear del OIEA para 2022-2025 se señala la reconocida función que desempeña el Organismo en la prestación de asistencia a los Estados que lo solicitan para reforzar la protección de los sistemas informáticos, reconociendo las amenazas a la seguridad física nuclear y las amenazas que plantean los ciberataques en instalaciones del ámbito nuclear, así como sus actividades conexas.

³⁴ Tales conferencias ofrecen foros en los que ministros, responsables de formulación de políticas, funcionarios superiores y expertos en seguridad física nuclear pueden formular e intercambiar puntos de vista en relación con las experiencias y los logros, los enfoques vigentes, las orientaciones futuras y las prioridades en la esfera de la seguridad física nuclear, incluido el marco jurídico.

sucedido atestigua la importancia del tercer gran pilar del derecho nuclear, en el que se fundamentan la misión e historia del Organismo: la tarea de salvaguardar el material nuclear y la tecnología conexas utilizados con fines pacíficos. Por este motivo, el establecimiento y la administración de las salvaguardias se convirtieron en una función básica del OIEA en virtud de su Estatuto.³⁵ El OIEA, a través de su labor de salvaguardias, ha sido reconocido en los últimos 60 años como la autoridad internacional responsable de verificar y garantizar que los Estados no desarrollen armas nucleares.

Las responsabilidades y el volumen de trabajo del OIEA en materia de salvaguardias han aumentado de manera constante desde la concertación del primer acuerdo de salvaguardias en 1959. De una instalación nuclear sometida a las salvaguardias del OIEA en aquel momento se pasó en 1971 a 156 instalaciones nucleares sometidas a las salvaguardias en 32 Estados. En 2020, cincuenta años después de la entrada en vigor del TNP en 1970, el OIEA realizó 2034 inspecciones en más de 1300 instalaciones y lugares situados fuera de las instalaciones sometidas a salvaguardias en 183 Estados. Aun en los tiempos más difíciles, como durante la pandemia de COVID-19, la labor de verificación del OIEA no se detiene ni un solo minuto. Un marco jurídico eficaz y sólido es fundamental para garantizar un sistema de salvaguardias creíble a escala mundial.

Las salvaguardias del OIEA iniciaron su recorrido poco después de la creación del Organismo, con la concertación del primer acuerdo de salvaguardias con el Canadá y el Japón en 1959. En virtud de este acuerdo, el OIEA sometió a salvaguardias un único reactor de investigación pequeño y su combustible. Entre 1959 y 1971, 32 Estados concertaron con el OIEA los denominados

³⁵ OIEA, 1989, artículo III.A.5; en 1957, también se preveía que el OIEA desempeñaría una importante función como intermediario para garantizar la prestación de servicios o el suministro de materiales, equipos o instalaciones por un Estado Miembro del OIEA a otro. Esto no se produjo al nivel que se esperaba en un principio, sino a través de proyectos del OIEA y la concertación de los llamados “acuerdos de proyecto y suministro”, por los que se exige la aplicación de las salvaguardias del OIEA a los artículos suministrados (*ibid.* artículo XI). En este contexto, también conviene señalar que los enfoques multilaterales del ciclo del combustible nuclear, que han abordado la parte inicial del ciclo del combustible nuclear, se han desarrollado con la participación del OIEA. El primero de ellos, por ejemplo, es el Centro Internacional de Enriquecimiento de Uranio, establecido oficialmente en marzo de 2010 por el OIEA y el Gobierno de Rusia, y propiedad de la Federación de Rusia, que se encarga de su explotación. El segundo es el Banco de Uranio Poco Enriquecido (UPE) del OIEA, propiedad del Organismo y sito en Kazajstán, que empezó a funcionar en octubre de 2019.

“acuerdos de salvaguardias específicos para partidas”,³⁶ en virtud de los cuales el OIEA aplicaba salvaguardias únicamente a los artículos especificados en dichos acuerdos (es decir, materiales nucleares, instalaciones o equipos). Mientras que las salvaguardias específicas para partidas fueron la norma durante unos 15 años hasta 1971, en la actualidad el Organismo solo aplica salvaguardias en virtud de acuerdos específicos para partidas en el caso de tres Estados que no son Partes en el TNP ni en tratados sobre zonas libres de armas nucleares: la India, Israel y el Pakistán.

La labor de salvaguardias del OIEA cambió radicalmente tras la entrada en vigor del TNP³⁷ en 1970. En virtud del TNP,³⁸ los Estados no poseedores de armas nucleares (ENPAN) que son Partes en el TNP deben concertar con el OIEA lo que se conoce como acuerdos de salvaguardias “totales” o “amplias” (ASA), que se aplican a “todos los materiales básicos o materiales fisiónables especiales en todas las actividades nucleares con fines pacíficos realizadas en el territorio de dicho Estado, bajo su jurisdicción, o efectuadas bajo su control en cualquier lugar”. Estos acuerdos de salvaguardia permiten al OIEA verificar el cumplimiento de las obligaciones asumidas por los ENPAN en virtud del artículo III del TNP con miras a impedir que la energía nuclear se desvíe de usos pacíficos hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos. Los ASA se basan en el documento titulado *Estructura y Contenido de los Acuerdos entre los Estados y el Organismo requeridos en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares*, que fue aprobado por la Junta de Gobernadores en abril de 1971 (documento INFCIRC/153).³⁹ En septiembre de 2021, tenían un ASA en

³⁶ Los acuerdos de salvaguardias específicos para partidas fueron un primer tipo de acuerdo de salvaguardias que solía exigirse en los acuerdos de cooperación bilateral entre Estados. El acuerdo de salvaguardias propiamente dicho se concerta entre el OIEA y el Estado receptor (y, en ocasiones, también con el Estado suministrador). Los acuerdos de salvaguardias específicos para partidas se han concertado sobre la base de los procedimientos de salvaguardias especificados en una serie de documentos: el primer sistema de salvaguardias, documento INFCIRC/26 (que se aplicaba a reactores de investigación de hasta 100 Mw(t)) y documento INFCIRC/26/Add.1 (que se aplica a todos los reactores); y el sistema revisado, publicado inicialmente como documento INFCIRC/66 (basado en el documento INFCIRC/26/Add.1) y ampliado mediante el documento INFCIRC/66/Rev.1 (que incorpora las plantas de reprocesamiento) y el documento INFCIRC/66/Rev.2 (que incorpora las plantas de conversión y de fabricación de combustible) (OIEA, 1961, 1964, 1965, 1967, 1968, respectivamente).

³⁷ Transcrito en OIEA 1970.

³⁸ NPT: véase la nota 1 *supra*.

³⁹ OIEA, 1972.

vigor 178 ENPAN que son Partes en el TNP⁴⁰, mientras que 8 ENPAN que son Partes en el TNP aún no habían puesto en vigor los ASA estipulados en dicho Tratado. Los tratados regionales por los que se establecen zonas libres de armas nucleares también exigen la concertación de ASA.⁴¹

Los cinco Estados poseedores de armas nucleares que son Partes en el TNP —China, Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Francia y Reino Unido— han concertado “acuerdos de ofrecimiento voluntario para la aplicación de salvaguardias” con el OIEA. Estos acuerdos se concertaron con el fin de fomentar una amplia adhesión al TNP, demostrando a los ENPAN que no se verían en desventaja comercial por la aplicación de los ASA de conformidad con lo dispuesto en el Tratado. Los acuerdos se basan también en el documento aprobado por la Junta de Gobernadores en 1971⁴² e incluyen los mismos procedimientos de salvaguardias que un ASA, si bien con un ámbito de aplicación distinto.⁴³ En los Estados poseedores de armas nucleares hay grandes cantidades de plutonio producido mediante procesamiento de combustible gastado sometidas a las salvaguardias del OIEA en virtud de acuerdos de ofrecimiento voluntario.

En el tiempo transcurrido desde la creación del OIEA, han surgido varios problemas en la aplicación de las salvaguardias. Durante los primeros 20 años en que estas se aplicaron en los Estados con ASA, las actividades de salvaguardias se centraron principalmente en verificar los materiales e instalaciones nucleares declarados por un Estado (es decir, verificar la exactitud de las declaraciones de los Estados y ofrecer garantías de que no se desvían materiales nucleares declarados de las actividades nucleares con fines pacíficos en el Estado). La aplicación de las denominadas “salvaguardias tradicionales” durante este período respecto de los materiales e instalaciones nucleares declarados por los Estados en virtud de sus ASA se basó en enfoques de salvaguardias y

⁴⁰ En el caso de 33 Estados, los ASA también están relacionados con el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe (Tratado de Tlatelolco), y en el caso de un Estado, el ASA también está relacionado con el Tratado de Bangkok. Dos ASA (transcritos en el documento INFCIRC/193 (OIEA, 1973) y el documento INFCIRC/435 (OIEA, 1994) del OIEA) se aplican a dos o más Estados Partes y sus organizaciones regionales de salvaguardias: la Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC) y la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom).

⁴¹ ya se han establecido zonas libres de armas nucleares en América Latina y el Caribe, el Pacífico Sur, Asia Sudoriental, África y Asia Central.

⁴² OIEA 1972.

⁴³ En virtud de un acuerdo de ofrecimiento voluntario, el Organismo aplica salvaguardias a los materiales nucleares presentes en las instalaciones, o partes de ellas, que el Estado ha ofrecido para la aplicación de salvaguardias por parte del Organismo y que este ha seleccionado de la lista de posibles instalaciones del Estado, con miras a verificar que no se deja de aplicar salvaguardias a esos materiales salvo en los casos previstos en el acuerdo.

criterios de salvaguardias que especifican el ámbito, la frecuencia y el alcance de las actividades de verificación necesarias para alcanzar los objetivos de inspección del OIEA.

A principios de los años noventa, el descubrimiento de los materiales y actividades nucleares no declarados del Iraq, comprendido su programa clandestino de armas nucleares, puso de relieve la necesidad de que las actividades de salvaguardias del OIEA presten más atención a un Estado con ASA en su totalidad (es decir, que se verificara también la exhaustividad de las declaraciones del Estado para que el OIEA pudiera ofrecer garantías creíbles de que no había ni materiales ni actividades nucleares no declaradas en el Estado en su conjunto). Este descubrimiento, junto con la detección por el OIEA de posible plutonio no declarado en la República Popular Democrática de Corea (RPDC) en 1992, y la experiencia acumulada por el OIEA en su verificación de la exhaustividad de las declaraciones de Sudáfrica en virtud de su ASA en 1993, desencadenaron los esfuerzos por reforzar la capacidad del OIEA para garantizar que las salvaguardias se aplican conforme a lo exigido en los ASA a todo el material nuclear de los Estados con ASA. Las experiencias casi simultáneas en el Iraq, la RPDC y Sudáfrica desempeñaron un importante papel formativo en la labor que el Organismo acometió posteriormente para reforzar el sistema de salvaguardias.

Las experiencias en el Iraq, la RPDC y Sudáfrica condujeron directamente a la puesta en marcha del Programa 93+2 en 1993, que, desde un punto de vista histórico, ha sido el esfuerzo más notable para reforzar aún más la eficacia y mejorar la eficiencia de las salvaguardias del OIEA, incluido el marco jurídico. Las medidas recogidas en este programa se diseñaron para perfeccionar la capacidad del OIEA para detectar materiales y actividades nucleares no declarados en Estados con ASA. Algunas de estas medidas (por ejemplo, el suministro temprano de información sobre el diseño respecto de nuevas instalaciones, el muestreo ambiental y el uso de imágenes por satélite) podrían aplicarse con arreglo a las facultades legales existentes previstas en el ASA, mientras que otras⁴⁴ requieren facultades legales complementarias. En mayo de 1997, la Junta de Gobernadores aprobó el Modelo de Protocolo Adicional,⁴⁵ que contenía las medidas recomendadas y fue la culminación de las labores por “fortalecer la

⁴⁴ Esas medidas consisten en el suministro por el Estado de información sobre las actividades de investigación y desarrollo relacionadas con el ciclo del combustible nuclear que no incluyen material nuclear, las minas de uranio, las plantas de concentración de uranio y torio, la fabricación de equipos del ámbito nuclear, el procesamiento de desechos de actividad intermedia o alta, las exportaciones de equipos especificados y de material no nuclear y un mayor acceso a lugares del Estado.

⁴⁵ OIEA 1997.

eficacia y aumentar la eficiencia del sistema de salvaguardias, como contribución a los objetivos de la no proliferación nuclear mundial”.

El Modelo de Protocolo Adicional ha fortalecido considerablemente las salvaguardias del OIEA. Sin él, poco pueden hacer los inspectores. El Modelo los faculta para realizar búsquedas exhaustivas, gracias a lo cual el OIEA puede estar más seguro de que no hay material nuclear alguno sin contabilizar ni desviado y transmitir, así, un mensaje tranquilizador al mundo. La información adicional y el acceso más amplio que se disponen para el OIEA en el Modelo de Protocolo Adicional tienen por objeto colmar las lagunas en la información y el acceso exigidos en virtud de los ASA. El Modelo de Protocolo Adicional es, por lo tanto, esencial para que el Organismo obtenga una imagen más completa de los programas nucleares, las actividades relacionadas con el ciclo del combustible nuclear y las existencias de material nuclear actuales y previstas de los Estados con ASA. Así pues, la entrada en vigor y la aplicación de un protocolo adicional en un Estado con un ASA es de vital importancia para que el OIEA ofrezca garantías sobre el carácter exclusivamente pacífico del programa nuclear de ese Estado.

En el caso de un Estado que tenga en vigor tanto un ASA como un protocolo adicional, el OIEA puede ofrecer garantías creíbles no solo de que no se ha desviado material nuclear declarado respecto de las actividades nucleares declaradas, sino también de la ausencia de material y actividades nucleares no declarados en todo el Estado y, así, extraer lo que se conoce como una conclusión más amplia de que todo el material nuclear en el Estado sigue adscrito a actividades pacíficas. En septiembre de 2021, había protocolos adicionales en vigor en 138 Estados: 132 Estados tenían ASA en vigor, 5 Estados tenían acuerdos de ofrecimiento voluntario en vigor y un Estado tenía un acuerdo de salvaguardias específico para partidas en vigor. Cuarenta y siete Estados aún no han puesto en vigor protocolos adicionales a sus acuerdos de salvaguardias.

La evolución de las salvaguardias del OIEA ha estado marcada por requisitos, supuestos y condiciones límite cambiantes, así como por la mejora continua de las capacidades técnicas y los enfoques de salvaguardias. Los requisitos cambiantes de las salvaguardias del OIEA, junto con las modificaciones del marco jurídico correspondientes, han reflejado la evolución de las necesidades de los Estados en cuanto a seguridad física a lo largo del tiempo. Tales necesidades siguen evolucionando y el OIEA continúa adaptándose a ellas.

Un ejemplo destacado de la necesidad de adaptarse a los nuevos tiempos es la continua evolución de las salvaguardias relativas a las pequeñas cantidades de material nuclear, que también podrían suponer un riesgo de proliferación conforme aumenta la capacidad tecnológica para producir o procesar material nuclear. El OIEA introdujo el protocolo sobre pequeñas cantidades (PPC) original a un ASA en 1974 como instrumento para minimizar la carga de la aplicación de las salvaguardias para aquellos Estados con ASA cuyas actividades nucleares

fueran mínimas o inexistentes. Ahora bien, hace ya mucho que se considera que el PPC original es un punto débil del sistema de salvaguardias del OIEA. Con arreglo al PPC original, el OIEA no recibe información sobre el diseño de la instalación en una fase temprana de la construcción de una instalación nuclear, ni un informe inicial sobre todo el material nuclear, ni puede tampoco realizar actividades de verificación sobre el terreno en el Estado. Por tal motivo, en 2005 la Junta de Gobernadores del OIEA modificó el PPC y pidió a todos los Estados con PPC que modificaran o rescindieran sus protocolos, según correspondiera, lo antes posible mediante un intercambio de cartas. Conforme a lo dispuesto en un PPC modificado, el Estado debe presentar un informe inicial sobre todo el material nuclear y proporcionar en una fase temprana información sobre el diseño, y el OIEA puede llevar a cabo actividades de verificación sobre el terreno en el Estado.⁴⁶

La capacidad del OIEA para extraer una conclusión anual de salvaguardias creíble y con una base sólida respecto de los Estados que aún no han modificado o rescindido los PPC basados en el texto estándar original se ha vuelto cada vez más difícil de sostener. Por ello, en 2020-2021 el OIEA redobló sus esfuerzos para pedir enérgica y activamente a los Estados que aún no lo hubieran hecho que modificasen o rescindiesen sus PPC mediante un intercambio de cartas. A 24 de septiembre de 2021, 96 Estados tenían PPC en vigor, 69 de los cuales estaban basados en el texto estándar revisado. Diez Estados habían rescindido sus PPC y había 27 Estados que todavía tenían que modificar sus PPC en vigor sobre la base del texto original.

El OIEA debe mantenerse al día con respecto a los avances de la tecnología nuclear a los efectos de las salvaguardias. Actualmente, se utilizan equipos y materiales de nueva producción en actividades relacionadas con el ciclo del combustible nuclear, pero sin que exista la obligación de presentar informes al OIEA. A fin de seguir el ritmo al que evoluciona la tecnología nuclear, los Estados Miembros podrían considerar la posibilidad de actualizar las listas de equipos nucleares y materiales no nucleares pertinentes para el ciclo del combustible nuclear⁴⁷ del Modelo de Protocolo Adicional. Esto permitiría al OIEA obtener una visión más completa de los avances tecnológicos y verificar

⁴⁶ OIEA 2006b.

⁴⁷ Véase OIEA 1997, Anexos I y II.

otras actividades y elementos pertinentes para el ciclo del combustible nuclear y las salvaguardias.⁴⁸

A nivel nacional, garantizar que las salvaguardias sigan siendo eficaces depende en gran medida de la existencia de un sistema sólido de leyes y reglamentos que refleje las obligaciones internacionales de salvaguardias. El OIEA ha prestado asistencia legislativa y en materia de reglamentación muy activamente a los Estados, en particular en este ámbito de las salvaguardias nucleares, y puede complementar esta labor prestando más asistencia para fortalecer a las autoridades estatales en el desempeño de sus funciones reguladoras, especialmente ofreciendo apoyo a la elaboración de reglamentos relacionados con las salvaguardias. La nueva iniciativa COMPASS contribuye a reforzar los marcos jurídicos nacionales. En la iniciativa, puesta en marcha en la Conferencia General del OIEA en 2020, se establece la colaboración con los Estados para ayudar a fortalecer la eficacia de sus autoridades nacionales encargadas de la aplicación de las salvaguardias (ANR) y los sistemas nacionales de contabilidad y control de materiales nucleares (SNCC).

El OIEA ha elaborado importantes instrumentos jurídicos de salvaguardias que están en vigor para muchos Estados. Sin embargo, no todos los Estados se han adherido a estos instrumentos. En la esfera de las salvaguardias, el principal obstáculo para que las salvaguardias amplias alcancen plena eficacia es la falta de universalidad. Desde el punto de vista del OIEA, la universalidad se alcanzará cuando todos los ENPAN que son Partes en el TNP⁴⁹ hayan cumplido su obligación, en virtud del artículo III.1 del TNP, de poner en vigor un ASA con el OIEA (ocho ENPAN que son Partes en el TNP aún deben hacerlo); todos los Estados con un ASA en vigor hayan puesto en vigor un protocolo adicional a sus acuerdos (47 Estados aún deben hacerlo); y todos los Estados con un ASA y

⁴⁸ En cuanto al Anexo II (OIEA 1997), es bien sabido que desde mayo de 1997, cuando la Junta aprobó el Modelo de Protocolo Adicional, los miembros del Grupo de Suministradores Nucleares (GSN) han actualizado en seis ocasiones la Parte I de las Directrices del GSN, o lista inicial, para reflejar los avances habidos en los equipos nucleares, también por lo que respecta a reactores y componentes, materiales no nucleares para reactores, y plantas de reprocesamiento, fabricación de combustible, producción de agua pesada y conversión de uranio y plutonio para su uso en la fabricación de combustible y la separación de isótopos de uranio. El OIEA ya señaló hace más de 15 años que la actualización de las listas “garantizaría que el sistema de salvaguardias del Organismo se mantuviera al día de los avances en tecnología nuclear, y la información adquirida como resultado de ello contribuiría a la transparencia de las actividades nucleares de un Estado y a la comprensión de estas actividades por parte del Organismo. Una actualización así contribuiría a aumentar la confianza en que las actividades adicionales identificadas en el Anexo I, así como los equipos especificados y los materiales no nucleares adicionales señalados en el Anexo II, se utilizan únicamente con fines pacíficos”. Véase OIEA 2006c.

⁴⁹ TNP: nota 1 *supra*.

un PPC original hayan acordado modificar o rescindir sus PPC (27 Estados aún deben hacerlo). El OIEA está creando más conciencia respecto de la importancia de estos instrumentos, ayudando a los Estados a adherirse a ellos y cooperando a los más altos niveles en su aplicación. Al continuar esta labor, confío en que el OIEA garantizará que la credibilidad de sus salvaguardias sea una característica permanente del panorama nuclear.

Una última observación importante sobre las potestades del OIEA en materia de salvaguardias tiene que ver con el cumplimiento de los acuerdos de salvaguardias y las actividades adicionales de verificación y vigilancia. En varias ocasiones, el Director General ha notificado a la Junta de Gobernadores problemas relacionados con la aplicación de salvaguardias que han surgido en los Estados con un ASA. En algunos de esos casos, la Junta determinó que esos Estados incumplían sus obligaciones de salvaguardias, de lo que se informó al Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas.⁵⁰ En ciertas ocasiones se llegó a un acuerdo internacional sobre medidas de fomento de la confianza, lo que dio lugar a solicitudes de que el OIEA llevara a cabo actividades de verificación y vigilancia mejoradas de un programa nuclear, adicionales a las previstas en los acuerdos de salvaguardias o los protocolos conexos.

El Estatuto del OIEA ha sentado las bases para que el OIEA lleve a cabo “otras actividades de verificación” a fin de crear confianza en que las actividades nucleares siguen siendo pacíficas, entre ellas, las actividades realizadas en el Iraq de 1991 a 2009 de conformidad con las resoluciones pertinentes del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, la verificación de 1994 a 2002 de la “congelación” de las instalaciones nucleares de la RPDC con arreglo al Marco Acordado entre los Estados Unidos de América y la República Popular Democrática de Corea, las actividades de vigilancia y verificación en la RPDC de 2007 a 2009 en relación con las Conversaciones entre las Seis Partes y la verificación y vigilancia del cumplimiento de los compromisos del Irán relacionados con la energía nuclear en virtud del Plan de Acción Integral Conjunto. De conformidad con las facultades que le confiere su Estatuto, el OIEA llevó a cabo una amplia variedad de actividades de verificación a petición de los Estados y previa aprobación de la Junta de Gobernadores, contribuyendo así al mantenimiento de la paz y la seguridad internacionales. Como las actividades nucleares van en aumento en todo el mundo, las actividades de verificación del OIEA seguirán desempeñando un papel fundamental para garantizar un futuro nuclear pacífico.

Además de velar por unos elevados niveles de seguridad tecnológica y física y de salvaguardias, el derecho nuclear contempla mecanismos de indemnización adecuada y rápida en el caso poco frecuente de un incidente

⁵⁰ Véase OIEA 1972, párr. 19.

nuclear. Este es el importante ámbito que compete a la responsabilidad civil por daños nucleares, el cuarto pilar del derecho nuclear. Este pilar se formuló en la década de 1960 en reconocimiento de la magnitud que podrían tener los daños nucleares, sus efectos transfronterizos y la consiguiente necesidad de un régimen especial de responsabilidad para indemnizar a las víctimas y atender las preocupaciones económicas de la industria nuclear y del sector de los seguros. Ello trajo como resultado la aprobación del Convenio de París⁵¹ en 1960 bajo los auspicios de la entonces Organización para la Cooperación Económica Europea (OCEE), posteriormente Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)⁵² y de la Convención de Viena⁵³ en 1963 bajo los auspicios del OIEA.

Los convenios establecen normas uniformes y están concebidos para facilitar la indemnización por daños transfronterizos. Se basan en varios principios generales, entre ellos el de la responsabilidad exclusiva del explotador de una instalación nuclear, y el de que este explotador es estrictamente responsable de un importe mínimo de la responsabilidad, que a su vez se garantiza mediante una cobertura financiera obligatoria, normalmente en forma de un seguro.

Además de los efectos en la seguridad nuclear señalados anteriormente, el accidente de Chernóbil de 1986 también tuvo consecuencias en el régimen internacional de responsabilidad por daños nucleares. Los Estados respondieron mediante la modernización de los instrumentos de responsabilidad por daños nucleares de la década de 1960, aprobando nuevos instrumentos y vinculándolos

⁵¹ Convenio de París acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear, abierto a la firma el 29 de julio de 1960, en vigor desde el 1 de abril de 1968 (Convenio de París).

⁵² El llamado régimen de París comprende el Convenio de París, modificado por el Protocolo Adicional del 28 de enero de 1964 y por el Protocolo del 16 de noviembre de 1982, concertado bajo los auspicios de la OCDE, abierto a los Estados miembros de esa organización y a otros Estados si todas las partes dan su consentimiento. El Convenio de París se complementa con el Convenio complementario de Bruselas de 1963, modificado por el Protocolo Adicional del 28 de enero de 1964 y por el Protocolo del 16 de noviembre de 1982, que aumenta el nivel de indemnización económica por daños nucleares en función de los fondos públicos nacionales e internacionales. Ambos convenios han sido modificados por sendos Protocolos aprobados en 1964 y 1982, respectivamente.

⁵³ Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares, abierta a la firma el 21 de mayo de 1963, en vigor desde el 12 de noviembre de 1977 (Convención de Viena).

entre sí.⁵⁴ La aprobación del Protocolo de Enmienda de la Convención de Viena de 1997 y de la Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares de 1997, bajo los auspicios del OIEA, representó un hito importante en la elaboración de un régimen internacional de responsabilidad por daños nucleares. Ambos instrumentos contienen importantes mejoras del importe de la indemnización disponible, el alcance del daño cubierto y la atribución de competencias.

Más recientemente, el accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi en 2011 puso de manifiesto la necesidad de establecer mecanismos de responsabilidad antes de que ocurra un accidente, así como de que haya más Estados en relaciones convencionales, implantando de ese modo un régimen de responsabilidad por daños nucleares de alcance realmente mundial. Atendiendo al llamamiento formulado en el Plan de Acción del OIEA de Seguridad Nuclear de 2011, en 2012 el Grupo Internacional de Expertos sobre Responsabilidad por Daños Nucleares (INLEX), un órgano consultivo de expertos al servicio del Director General del OIEA, adoptó recomendaciones sobre cómo facilitar la consecución de un régimen mundial de responsabilidad por daños nucleares y cómo ofrecer una mejor protección a las víctimas de daños nucleares.⁵⁵ Más de un decenio después del accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi y de la aprobación del Plan de Acción, el OIEA sigue concentrando sus esfuerzos en procurar el establecimiento de ese régimen.

En la reunión anual de la Conferencia General del OIEA se sigue alentando a los Estados Miembros a tomar debidamente en cuenta la posibilidad de adherirse a los instrumentos de responsabilidad por daños nucleares, y a trabajar

⁵⁴ Bajo los auspicios del OIEA, los Estados aprobaron: el Protocolo Común relativo a la Aplicación de la Convención de Viena y del Convenio de París, abierto a la firma el 21 de septiembre de 1988, en vigor desde el 27 de abril de 1992 (Protocolo Común), (véase también OIEA 2013b); la Convención de Viena; el Protocolo de Enmienda de la Convención de Viena de 1963 sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares, abierto a la firma el 29 de septiembre de 1997, en vigor desde el 4 de octubre de 2003 (Protocolo de Viena de 1997); y la Convención sobre Indemnización Suplementaria, abierta a la firma el 29 de septiembre de 1997, en vigor desde el 15 de abril de 2015 (Convención sobre Indemnización Suplementaria) (véase también OIEA 2020c). Bajo los auspicios de la OCDE, el Convenio de París y el Convenio complementario de Bruselas se volverán a modificar por los Protocolos aprobados el 12 de febrero de 2004, que se prevé que entren en vigor a principios de 2022: el Protocolo de Enmienda del Convenio de París acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear, abierto a la firma el 12 de febrero de 2004, que aún no ha entrado en vigor (Protocolo de 2004 que modifica el Convenio de París); el Protocolo de Enmienda del Convenio complementario de Bruselas sobre la Responsabilidad civil en materia de Energía Nuclear, abierto a la firma el 12 de febrero de 2004, que aún no ha entrado en vigor (Protocolo de 2004 al Convenio complementario de Bruselas).

⁵⁵ OIEA 2012b.

para lograr ese régimen sobre la base de los principios de responsabilidad por daños nucleares. Con la entrada en vigor en abril de 2015 de la Convención sobre Indemnización Suplementaria de 1997, la comunidad internacional se acercó un poco más a ese objetivo. La Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares de 1997 proporciona un marco para establecer un régimen mundial que cuente con una amplia adhesión tanto de los países que disponen de un programa nuclear como de los que no. Actualmente es el instrumento único que abarca el mayor número de reactores nucleares de potencia en todo el mundo. Establecer un régimen que responda a las preocupaciones de todos los Estados que puedan verse afectados por un incidente nuclear está a nuestro alcance y, por lo tanto, seguimos promoviendo una mayor adhesión a los instrumentos de responsabilidad por daños nucleares aprobados bajo los auspicios del OIEA.⁵⁶

La energía nucleoelectrónica es una esfera transversal del derecho nuclear de suma importancia, que requiere la atención más minuciosa a medida que pasa a ser una parte cada vez más fundamental de la canasta de energía con bajas emisiones de carbono. El funcionamiento de las centrales nucleares exige prestar especial atención a la seguridad tecnológica y física y a las salvaguardias. En el mundo hay más de 440 reactores de potencia en funcionamiento, que suponen alrededor del 10 % de la generación planetaria de electricidad total y más de una cuarta parte de la producción mundial de electricidad con bajas emisiones de carbono. De los más de 50 reactores actualmente en construcción, nueve se encuentran en países que están construyendo su primera central nuclear. Unos 28 países han manifestado interés en la energía nucleoelectrónica y están considerando la posibilidad de incluirla en su canasta energética, planificando dicha inclusión o trabajando activamente con ese fin. Otros 24 Estados Miembros participan en actividades del OIEA relacionadas con infraestructura nuclear o en proyectos de planificación energética por conducto del programa de cooperación técnica.⁵⁷ Para seguir fomentando el desarrollo nuclear, es importante la adopción, en especial por las instituciones financieras de desarrollo, de enfoques innovadores en materia de políticas de financiación y apoyo a fin de contribuir a la transición a una economía con bajas emisiones de carbono.

Un nuevo programa nucleoelectrónico es una empresa importante que exige una planificación minuciosa, preparación e inversiones a tiempo, instituciones y

⁵⁶ La Convención de Viena, nota 53 *supra*, solo cuenta con 43 partes; el Protocolo de Viena de 1997, nota 54 *supra*, con 15 partes; la Convención sobre Indemnización Suplementaria, nota 54 *supra*, que finalmente entró en vigor en 2015, con 11 partes (aunque abarca unos 177 reactores) y el Protocolo Común, nota 7 *supra*, con 31 partes. La mayoría de los Estados partes en el Convenio de París también son partes en el Protocolo Común, pero ninguno de ellos es parte en la Convención sobre Indemnización Suplementaria. Además, también hay unos cuantos Estados con centrales nucleares que aún no son partes en los instrumentos.

⁵⁷ OIEA 2021b.

recursos humanos. La decisión de poner en marcha un programa nucleoelectrico debería basarse en el compromiso de utilizar la energía nucleoelectrica de manera tecnológica y físicamente segura y con fines pacíficos. El compromiso abarca la adhesión a todos los instrumentos jurídicos internacionales pertinentes, lo cual prevén como normativa los Estados Miembros del OIEA. Los marcos jurídicos internacionales establecen obligaciones mínimas y proporcionan un instrumento de garantía de la seguridad tecnológica y física. La experiencia actual en materia de nuevas construcciones demuestra la importancia de desarrollar una sólida infraestructura nuclear nacional, incluido un marco legislativo y regulador amplio y eficaz. Es importante que los marcos jurídicos sean sólidos para garantizar que los niveles de seguridad tecnológica o física sigan siendo elevados.⁵⁸

La elección del emplazamiento de una central nuclear puede ser un tema controvertido desde el punto de vista político, especialmente cuando el emplazamiento está cerca de una frontera o de una vía navegable común. Esta elección puede dar lugar a problemas jurídicos o normativos particulares, sobre todo en los países vecinos. Conforme aumenta el número de países de todo el mundo que aspiran a poner en marcha nuevos programas nucleoelectricos y construir centrales nucleares, es preciso dar impulso a los debates sobre mecanismos eficaces y armonizados para atajar los problemas transfronterizos, incluidas las repercusiones ambientales. Estos mecanismos pueden ayudar a evitar o minimizar las disputas que podrían socavar la importante función de la energía nuclear.

A este respecto cabe mencionar las cuestiones de los derechos de acceso a la información ambiental, la participación del público en el proceso de toma de decisiones ambientales y el acceso a la justicia en asuntos ambientales. El Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe (Acuerdo de Escazú)⁵⁹ es un avance reciente a escala regional en este contexto.

⁵⁸ El enfoque de los hitos del OIEA es la principal publicación de referencia para los Estados Miembros en lo que respecta al desarrollo de nuevos programas nucleoelectricos y la ampliación de los existentes, OIEA 2015d. El enfoque de los hitos está respaldado por las misiones de Examen Integrado de la Infraestructura Nuclear (INIR), que ofrecen evaluaciones por expertos, para ayudar a los Estados Miembros que lo solicitan a determinar su situación y sus necesidades en cuanto al desarrollo de su infraestructura nuclear.

⁵⁹ Se abrió a la firma el 27 de septiembre de 2018 y entró en vigor el 22 de abril de 2021.

Cabe destacar que es el primer tratado internacional de América Latina y el Caribe relativo al medio ambiente.⁶⁰

Las nuevas tecnologías constituyen otra importante esfera transversal del derecho nuclear, específicamente con la introducción de reactores avanzados como los reactores modulares pequeños (SMR) y las centrales nucleares transportables. En todo el mundo, varios Estados Miembros siguen investigando, desarrollando o desplegando reactores de fisión avanzados que incorporan tecnologías de reactores evolutivos e innovadores que pueden utilizar gas, sales fundidas o metales líquidos en lugar de agua como refrigerante y moderador.⁶¹ Estos reactores de una generación más reciente están diseñados para ofrecer habitualmente hasta 300 MW de energía eléctrica, y constan de componentes y sistemas que pueden comprarse, fabricarse y luego transportarse como módulos a los emplazamientos para instalarlos en función de la demanda. Más de 70 diseños de SMR están actualmente en distintas etapas de diseño y desarrollo, y algunos conceptos están a punto de comenzar a utilizarse.

Al igual que los reactores nucleares de grandes dimensiones, los SMR suministran energía con bajas emisiones de carbono, pero son más pequeños, más flexibles y más asequibles. Brindan una opción que permite satisfacer la necesidad de una generación flexible de energía eléctrica para una gama más amplia de usuarios y aplicaciones y sustituir las centrales eléctricas basadas en combustibles fósiles que vayan envejeciendo. Pueden emplearse en redes eléctricas de menor dimensión, sobre todo en los países en desarrollo, y construirse en lugares de acceso difícil como comunidades remotas con infraestructuras menos desarrolladas donde los reactores de grandes dimensiones no serían viables. El desarrollo de los SMR está motivado por sus características específicas: su menor tamaño, el aprovechamiento de tecnologías novedosas, su diseño modular y la posibilidad de adoptar enfoques de despliegue más flexibles. Los nuevos enfoques adoptados en el diseño y el despliegue de los SMR, así como las diferencias respecto de los proyectos tradicionales de nueva construcción de

⁶⁰ Este acuerdo fue adoptado por los representantes de 24 países de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en la Novena Reunión del Comité de Negociación el 4 de marzo de 2018 en Escazú (Costa Rica). El acuerdo está abierto a 33 países de América Latina y el Caribe. De los 24 signatarios, 12 lo han ratificado. Tras la adhesión de la Argentina y México el 22 de enero de 2021, el acuerdo entró en vigor el 22 de abril de 2021. El objetivo del acuerdo es garantizar, en América Latina y el Caribe, la aplicación plena y eficaz de los derechos de acceso a la información ambiental, la participación del público en los procesos de toma de decisiones ambientales y el acceso a la justicia en asuntos ambientales, así como la creación y el fortalecimiento de capacidades y oportunidades de cooperación, contribuyendo a la protección del derecho de todas las personas de las generaciones presentes y futuras a vivir en un medio ambiente sano y al desarrollo sostenible.

⁶¹ OIEA 2020d.

centrales nucleares terrestres como la producción y el ensayo en fábricas, y los nuevos métodos de construcción y puesta en servicio, ofrecen la oportunidad de examinar la necesidad de plantear enfoques concebidos específicamente para cada caso, incluso para la concesión de licencias. Aunque las normas de seguridad del OIEA son en general aplicables a los SMR, los expertos mundiales del Foro de Reguladores de SMR están buscando una solución específica para ayudar a las autoridades nacionales a regular esta nueva clase de reactores. A fin de facilitar el despliegue de SMR, en algunos foros también ha solicitado que se armonicen los requisitos, las recomendaciones y las orientaciones de seguridad a nivel mundial.

El OIEA apoya a sus Estados Miembros prestando cooperación para el diseño, el desarrollo y el despliegue de SMR y actuando como centro de intercambio de conocimientos y experiencias en el ámbito de la reglamentación de los SMR. En reconocimiento del creciente interés mundial por los SMR, el OIEA creó recientemente una Plataforma sobre los SMR a nivel de todo el Organismo para prestar un apoyo integrado a los Estados Miembros en relación con todos los aspectos de su desarrollo, despliegue y supervisión.

El OIEA es muy consciente de los desafíos que plantean los SMR y las centrales nucleares transportables a la aplicación de las salvaguardias y está trabajando con las partes interesadas para examinar cómo podrían aplicarse medidas de salvaguardias eficaces cuando se construyan, exporten, desplieguen u operen reactores de ese tipo. Estos reactores podrían ofrecer una solución adecuada a los países con necesidades energéticas que se encuentran en islas o en zonas muy remotas sin redes eléctricas interconectadas o a los países con necesidades energéticas inmediatas que carecen de toda la infraestructura necesaria para las centrales nucleares estacionarias. En función de las necesidades de los usuarios, las centrales nucleares transportables pueden ser explotadas por el suministrador o por una entidad del país receptor.

Para la aplicación eficaz y eficiente de las salvaguardias en los nuevos tipos de instalaciones, se deben tener en cuenta las medidas de salvaguardias desde las etapas iniciales de planificación del diseño. El OIEA ha estado trabajando para apoyar a los Estados y a la industria nuclear en este ámbito, ofreciendo orientaciones sobre la incorporación de las salvaguardias en el diseño a fin de ayudar a aplicar las salvaguardias de forma eficaz y eficiente. En el caso de las instalaciones en la etapa de diseño o construcción, el OIEA ha estado colaborando estrechamente con la autoridad estatal o regional competente, así como los explotadores de la instalación, para integrar características de salvaguardias en el diseño de las nuevas instalaciones. Por ejemplo, el OIEA ha seguido cooperando de manera estrecha con Finlandia, Suecia y la Comisión Europea en la planificación de la aplicación de salvaguardias en las plantas de encapsulamiento y repositorios geológicos; con la República de Corea

en la planificación de la aplicación de salvaguardias en futuras centrales de piroprocesamiento; con China en la elaboración de enfoques de salvaguardias para el reactor de lecho de bolas de alta temperatura refrigerado por gas; y con el Japón en la elaboración de un enfoque de salvaguardias para la planta de fabricación de combustible de óxidos mixtos en el emplazamiento de Rokkasho.

Conforme se despliegan nuevas tecnologías y tipos de reactores, el derecho nuclear no pierde de vista los modelos más antiguos a los que podrían sustituir. Más de la mitad de los reactores que se encuentran actualmente en funcionamiento en el mundo tienen más de 30 años. Hay una tendencia creciente a la explotación a largo plazo o la prolongación de la vida útil de las centrales nucleares. Además, a raíz del número cada vez mayor de reactores e instalaciones conexas que se están poniendo, o se pondrán pronto, en régimen de parada definitiva, está cobrando importancia la cuestión de la clausura de las instalaciones nucleares. Los requisitos jurídicos sirven de base para garantizar que sean suficientes y estén disponibles recursos financieros para cubrir todos los costos de la clausura. El marco jurídico internacional contiene importantes principios generales a este respecto.

Está evolucionando la concepción que se tiene de la clausura, haciéndose eco de las tendencias y los conceptos nuevos, como el desarrollo sostenible y los principios de la economía circular. Así pues, la definición de estado final va más allá de los criterios estrictamente radiológicos y abarca cada vez con mayor frecuencia el contexto ambiental, e incluso cultural, más amplio. Esto plantea nuevos desafíos para los procesos de toma de decisiones y participación de las partes interesadas. Los marcos jurídicos nacionales necesitan modificaciones para contemplar prácticas nuevas como la transferencia del emplazamiento de un propietario anterior a un operador encargado de la clausura. Las consecuencias que la aplicación de esos enfoques podría tener están relacionadas, por ejemplo, con cuestiones atinentes a la responsabilidad por daños nucleares y la idoneidad de la financiación recaudada y transferida, que podrían afectar a la consecución de los objetivos de clausura.

Pocas cuestiones desempeñan un papel tan fundamental en la aceptación pública de las tecnologías nucleares como la gestión y la disposición final del combustible gastado y los desechos radiactivos de actividad alta. Por otro lado, en el extremo opuesto de la escala, encontrar puntos finales adecuados también suele ser un problema en muchos Estados que tienen un inventario nacional de desechos radiactivos comparativamente pequeño, resultante de un uso más limitado de las tecnologías nucleares, como las aplicaciones médicas y en las esferas de la alimentación o de la investigación.

En los últimos años, se han realizado avances importantes en el establecimiento de repositorios geológicos profundos nacionales para los

desechos radiactivos de actividad alta.⁶² Los programas más avanzados están a punto de formular la recomendación oficial sobre el emplazamiento para la disposición final, y algunos están elaborando enfoques para la construcción y la explotación de su instalación de disposición final geológica profunda o preparando la solicitud de licencia para la colocación del combustible gastado en una instalación en construcción. De cara al futuro, será fundamental prestar mayor atención no solo a las cuestiones científicas y técnicas, sino también a los aspectos sociales, políticos, jurídicos y económicos que influyen en las percepciones públicas de la seguridad y la viabilidad de la aplicación del concepto de disposición final geológica.

En la actualidad no existe ningún repositorio multinacional, regional o internacional compartido. Sin embargo, según evolucione la situación de cada país, podría surgir un interés renovado en los repositorios de ese tipo, que podrían resultar prácticos desde el punto de vista técnico y económico y ofrecer ventajas en materia de seguridad tecnológica y física y no proliferación. Desde el punto de vista ambiental, también podría ser beneficioso disponer de un pequeño número de repositorios de grandes dimensiones en lugar de muchos repositorios de dimensiones pequeñas. Cabe esperar que se sigan estudiando estos conceptos.

Mantener nuestra agilidad y disposición para responder a los nuevos desafíos que se plantean en materia de derecho nuclear nos obliga a estar preparados para la llegada de otras tecnologías transformadoras a nuestro alcance, como la fusión nuclear, la cual encierra la promesa de proporcionar una energía inagotable con bajas emisiones de carbono y podría marcar un antes y un después en la lucha contra el cambio climático. Esta tecnología está pasando del ámbito académico a un enfoque mucho más tecnológico, y las cantidades de sustancias radiactivas que generen las instalaciones más avanzadas serán mucho mayores que las generadas actualmente por las instalaciones experimentales existentes. Hoy por hoy se están llevando a cabo múltiples proyectos de desarrollo de múltiples diseños de instalaciones de fusión en múltiples países. Últimamente se han producido algunos avances, aunque no se prevé que la fusión contribuya a la generación de energía eléctrica antes de 2050.

A medida que aumentan las inversiones y prosiguen los esfuerzos en la esfera de la fusión nuclear, es necesario examinar qué marcos jurídicos se necesitan para apoyar la comercialización de instalaciones seguras de energía de fusión, si los marcos jurídicos vigentes deberían regir para los reactores de fusión o si deberían adaptarse de manera que se adecuen a la tecnología de fusión, o bien, si es preciso elaborar nuevos marcos jurídicos y enfoques normativos específicos sobre la fusión.

⁶² OIEA 2011, párrs. 49 y 50.

En general se reconoce que el marco jurídico para la protección del medio ambiente de los efectos de las actividades nucleares comprende dos conjuntos normativos distintos: el derecho nuclear, que abarca mayormente aspectos relacionados con la radiactividad; y el derecho ambiental, que contempla todos los tipos de riesgos, pero también puede incluir requisitos para la protección ambiental frente a los efectos nocivos de la radiación ionizante. Las sinergias entre el derecho nuclear y el derecho ambiental, que tienen el objetivo común de proteger el medio ambiente, son indispensables para este fin.

Algunos principios jurídicos internacionales e instrumentos del derecho ambiental básicos que tratan tanto aspectos sustantivos como de procedimiento son pertinentes para las actividades nucleares. Cabe mencionar en particular la Convención de 1998 sobre el Acceso a la Información, la Participación del Público en la Toma de Decisiones y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales (Convención de Aarhus)⁶³ de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), el Convenio sobre la Evaluación del Impacto Ambiental en un Contexto Transfronterizo (Convenio de Espoo)⁶⁴ y el Protocolo de 2003 de Evaluación Ambiental Estratégica (Protocolo de Kiev)⁶⁵, aprobado bajo los auspicios de la CEPE.

En los últimos decenios, el derecho nuclear internacional también se ha centrado más activamente en proteger el medio ambiente y dotarle de un estatuto específico. De cara al futuro, cabe esperar que se siga prestando atención a la protección del medio ambiente en el sector nuclear, sobre todo en esferas como el fortalecimiento de las normas de seguridad del OIEA, el acceso de las partes interesadas a la información nuclear y su participación en el proceso de toma de decisiones en el ámbito nuclear, así como la prevención de los daños ambientales causados por incidentes nucleares y la indemnización por los que se produzcan.

El OIEA actúa como centro para que los expertos y representantes de los Estados Miembros compartan experiencias y examinen cuestiones de actualidad en esta esfera. A fin de contribuir a dar forma al derecho nuclear para el futuro, el OIEA y sus Estados Miembros permanecen atentos para evaluar si los marcos jurídicos relativos a los usos tecnológica y físicamente seguros y con fines pacíficos de la tecnología nuclear y sus aplicaciones son adecuados para responder a los problemas del futuro. El OIEA trabaja activamente para que el marco

⁶³ Convención sobre el Acceso a la Información, la Participación del Público en la Toma de Decisiones y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales, abierta a la firma el 25 de junio de 1998, en vigor desde el 30 de octubre de 2001 (Convención de Aarhus).

⁶⁴ Convenio sobre la Evaluación del Impacto Ambiental en un Contexto Transfronterizo, abierto a la firma el 25 de febrero de 1991, en vigor desde el 10 de septiembre de 1997 (Convenio de Espoo).

⁶⁵ Protocolo de Evaluación Ambiental Estratégica al Convenio de Espoo, abierto a la firma el 21 de mayo de 2003, en vigor desde el 11 de julio de 2010 (Protocolo de Kiev).

jurídico y normativo vigente hoy sea lo más sólido posible. Existen oportunidades de llevar a cabo actividades de divulgación a organizaciones internacionales como la Asociación de Naciones de Asia Sudoriental (ASEAN), la Comisión Africana de Energía Nuclear (AFCONE), el Foro de Órganos Reguladores Nucleares en África (FNRBA) y el Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO), así como a parlamentarios a nivel nacional e internacional mediante la colaboración con organizaciones como la Unión Interparlamentaria (UIP). También existen oportunidades de promover la universalización junto con las partes de ideas afines en los instrumentos jurídicos internacionales pertinentes que deseen demostrar iniciativa a la hora de apoyar las actividades de divulgación a los Estados que aún no son parte.

Dada la complejidad de la tecnología, las políticas, las leyes y los reglamentos nucleares, se necesitan legisladores versados en la materia y cualificados. La capacitación que ofrece el OIEA se ha centrado tradicionalmente en ayudar a los funcionarios de los Estados Miembros a adquirir la competencia necesaria para redactar legislación nuclear. Es importante señalar que, por conducto del programa de asistencia legislativa, ayudamos a los Estados a adherirse a todos los instrumentos jurídicos internacionales y a evaluar, examinar y elaborar legislación nuclear, a mejorar su conocimiento de los instrumentos jurídicos internacionales y a cumplir sus obligaciones internacionales. Además, nuestra labor de apoyo legislativo incluye visitas científicas y oportunidades de obtener becas en la Oficina de Asuntos Jurídicos del OIEA y en los órganos reguladores nacionales.

Unos marcos jurídicos nacionales e internacionales eficaces e integrales para el uso tecnológica y físicamente seguro y con fines pacíficos de la ciencia y la tecnología nucleares sustentan las vidas y los medios de subsistencia de miles de millones de personas, lo que nos permite a todos luchar por una vida mejor hoy y en el futuro. Estos marcos crean la confianza pública necesaria para que la ciencia y la tecnología nucleares puedan beneficiar a todos. Dada la creciente utilización de las tecnologías nucleares y el considerable número de Estados Miembros que están redactando o revisando una legislación nuclear, o que tienen previsto hacerlo, la demanda para revisar los proyectos de legislación y la legislación promulgada y capacitar a los legisladores sigue siendo elevada. Esta demanda se seguirá atendiendo a través de la capacitación que ofrece anualmente el Instituto de Derecho Nuclear del OIEA y su programa interactivo, que se complementarán, cuando sea necesario y se solicite, con actividades nacionales diseñadas específicamente. Desde la creación del Instituto de Derecho Nuclear en 2011, se han graduado unos 550 profesionales de todas las regiones del mundo, casi la mitad de ellos mujeres.

Los Gobiernos siguen exhortando al OIEA a que sensibilice a los encargados de formular políticas, a los responsables de la toma de decisiones y a los altos

funcionarios acerca de la importancia y los beneficios de los instrumentos, así como del establecimiento y mantenimiento un marco jurídico nuclear nacional adecuado. También nos piden cada vez más asistencia para sensibilizar a los parlamentarios en estas esferas.

En los próximos años, es probable que los enfoques regionales de capacitación en materia de derecho nuclear desempeñen un papel cada vez más importante, de acuerdo con las necesidades, los intereses y las prioridades regionales. Podría facilitarse la adopción de estos enfoques mediante acuerdos de colaboración con los centros de capacitación y enseñanza regionales o nacionales, y algunos Estados Miembros han manifestado interés en convertirse en centros de capacitación en derecho nuclear a nivel regional.

Conforme aumenta el número de miembros del OIEA y los Estados Miembros amplían sus usos de la tecnología nuclear, es probable que el OIEA reciba cada vez más solicitudes de asistencia legislativa. Para seguir garantizando que la solidez de los marcos jurídicos nucleares permita responder a esta dinámica, la Secretaría del OIEA sigue dispuesta a prestar servicios a las reuniones celebradas en relación con las convenciones y los códigos de conducta. El Organismo también seguirá prestando atención a su función única de establecer normas de seguridad y desempeñará un papel central en la elaboración de publicaciones de orientación exhaustivas sobre seguridad física nuclear, conforme a las prioridades establecidas por los Estados Miembros. Por último, se confiará en que el OIEA optimice su capacidad de prestar, cuando así se solicite, servicios de examen por homólogos y de asesoramiento como mecanismo de retroinformación para facilitar la aplicación de las normas de seguridad y las orientaciones sobre seguridad física nuclear. Al seguir prestando esos servicios de forma proactiva, el OIEA apoyará la incesante contribución de la tecnología nuclear al progreso humano.

Una apertura del debate mundial sobre el derecho nuclear a un público más amplio es un requisito indispensable para garantizar que los Estados puedan adoptar decisiones fundamentadas. El Organismo tiene una función importante que desempeñar en este sentido. Al igual que todas las conferencias técnicas organizadas por el OIEA, la Conferencia Internacional sobre Derecho Nuclear de 2022 proporcionará un foro excepcional para que destacados expertos mundiales de los gobiernos, las organizaciones internacionales y no gubernamentales, la industria y sus asesores, el mundo académico y la sociedad civil compartan experiencias y examinen cuestiones de actualidad. No obstante, las deliberaciones que tienen lugar hoy y las decisiones que se deriven de ellas afectarán, de forma directa o indirecta, los intereses de las generaciones venideras.

La evolución de la tecnología nuclear y sus beneficios abarcan, y seguirán abarcando, múltiples generaciones. Por lo tanto, para responder de manera óptima a las necesidades mundiales, tenemos la responsabilidad de tomar

en consideración las opiniones de los juristas, los encargados de formular políticas y los científicos nucleares tanto de nuestra generación como de la próxima. Corresponde a cada generación replantearse el papel que puede desempeñar la energía nuclear para mejorar el mundo. Así pues, nuestro debate debe dar participación a quienes serán responsables de dar forma al derecho nuclear en el futuro.

La promesa de garantizar el futuro bienestar de la humanidad puede lograrse mediante el despliegue de tecnologías que contribuyan a la energía limpia, el aire puro, el agua limpia, la agricultura resistente al clima y mayores niveles de atención médica. La tecnología nuclear puede impulsarnos por una senda sostenible en cada una de estas esferas. La aplicación eficaz de los marcos jurídicos nucleares es fundamental para garantizar que transitemos esta senda de manera segura y pacífica.

El derecho nuclear continuará sirviendo de base para lograr el objetivo de aprovechar el potencial de la tecnología nuclear con miras a hacer realidad el sueño que contemplado en el discurso “Átomos para la paz”, a saber, idear métodos para que esta tecnología sirva a los fines pacíficos de la humanidad y los expertos se movilicen con miras a aplicarla a las necesidades de la agricultura, la medicina y otras actividades pacíficas y a suministrar energía eléctrica para el desarrollo sostenible. Mediante este debate, podemos configurar el mundo en el que queremos vivir durante los próximos 50 años: el mundo que queremos dejar a las generaciones futuras.

El OIEA es el centro mundial para la cooperación en el ámbito nuclear y, junto con nuestros Estados Miembros y otras organizaciones, seguirá desempeñando un papel fundamental para garantizar que la tecnología nuclear contribuya a este futuro. Los marcos jurídicos nucleares son parte indisoluble de la arquitectura nuclear mundial, y son decisivos para su futuro. Como principal foro de debate mundial sobre cuestiones de derecho nuclear, el OIEA, junto con todos aquellos que deseen acompañarnos, proseguirá sus esfuerzos por dar forma a un futuro nuclear más próspero.

Que comience el debate mundial.

REFERENCIAS

- Eisenhower D D (1953) Alocución ante la Asamblea General de las Naciones Unidas, 8 de diciembre de 1953, Nueva York.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1961) *Salvaguardias del Organismo*, INFCIRC/26.

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1964) *Salvaguardias del Organismo: Ampliación del Sistema para Aplicarlo a los Reactores de Gran Potencia y sus Instalaciones Auxiliares*, INFCIRC/26/Add.1.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1965) *Sistema de Salvaguardias del Organismo (1965)*, INFCIRC/66.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1967) *Sistema de Salvaguardias del Organismo (1965, Ampliado Provisionalmente en 1966)*, INFCIRC/66/Rev.1.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1968) *Sistema de Salvaguardias del Organismo (1965, Ampliado Provisionalmente en 1966 y 1968)*, INFCIRC/66/Rev.2.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1970) *Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares: Notificación de la Entrada en Vigor*, INFCIRC/140.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1972) *Estructura y Contenido de los Acuerdos entre los Estados y el Organismo Requeridos en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares*, INFCIRC/153.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1973) *Texto del Acuerdo Concertado entre Bélgica, Dinamarca, la República Federal de Alemania, Irlanda, Italia, Luxemburgo, los Países Bajos, la Comunidad Europea de Energía Atómica y el Organismo en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares*, INFCIRC/193.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1989) *Estatuto*, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1994) *Acuerdo de 13 de Diciembre de 1991 Concertado entre la República Argentina, la República Federativa del Brasil, la Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias*, INFCIRC/435.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1997) *Modelo de Protocolo Adicional al (a los) Acuerdo(s) entre el (los) Estado(s) y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias*, INFCIRC/540 (Corregido).
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2004) *Código de Conducta sobre Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas*, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2006a) *Código de Conducta sobre la Seguridad de los Reactores de Investigación*, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2006b) *Texto Estándar de los Acuerdos de Salvaguardia en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares: Revisión del Texto Estándar del "Protocolo sobre Pequeñas Cantidades"*, GOV/INF/276/Mod.1.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2006c) *Recommendations to be Considered by the Advisory Committee on Safeguards Verification within the Framework of the IAEA Statute to Further Improve the Effectiveness and Efficiency of the Safeguards System*, GOV/2006/Note 45.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2011a) *Proyecto de Plan de Acción del OIEA sobre Seguridad Nuclear*, GOV/2011/59-GC(55)/14.

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2011b) *Recomendaciones de seguridad física nuclear sobre la protección física de los materiales y las instalaciones nucleares (INFCIRC/225/Revision 5)*, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 13, OIEA, Viena.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011c) The International Legal Framework for Nuclear Security, International Law Series No. 4, IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012a) Guidance on the Import and Export of Radioactive Sources, IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012b) IAEA Action Plan on Nuclear Safety — Nuclear Liability. <https://www.iaea.org/sites/default/files/17/11/actionplan-nuclear-liability.pdf>. Accessed 8 October 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2013a) *Medidas para fortalecer la cooperación internacional en materia de seguridad nuclear; radiológica, del transporte y de los desechos*, GC(57)/RES/9.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013b) The 1988 Joint Protocol Relating to the Application of the Vienna Convention and the Paris Convention—Explanatory Text, IAEA International Law Series, No. 5, IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2015a) *El accidente de Fukushima Daiichi - Informe del Director General*, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2015b) *Declaración de Viena sobre la Seguridad Nuclear; Acerca de los principios para el cumplimiento del objetivo de la Convención sobre Seguridad Nuclear de prevenir accidentes y mitigar las consecuencias radiológicas*, CNS/DC/2015/2/Rev.1.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2015c) *Preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear o radiológica*, con el patrocinio conjunto de: Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, Comisión Preparatoria de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares, Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas, Organismo Internacional de Energía Atómica, Organización de Aviación Civil Internacional, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización Internacional de Policía Criminal (INTERPOL), Organización Internacional del Trabajo, Organización Marítima Internacional, Organización Meteorológica Mundial, Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 7*, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2015d) *Hitos en el desarrollo de la infraestructura nacional de energía nucleoelectrónica*, Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NG-G-3.1 (Rev. 1), OIEA, Viena.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2017) Joint Radiation Emergency Management Plan of the International Organizations, IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018a) IAEA Response and Assistance Network, IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2018b) *Orientaciones sobre la gestión de fuentes radiactivas*, OIEA, Viena.

- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020a) Operations Manual for IAEA Assessment and Prognosis during a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2020b) *Manual de operaciones para la comunicación de incidentes y emergencias*, OIEA, Viena.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020c) The 1997 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage and the 1997 Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage—Explanatory Texts, IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020d) Advances in Small Modular Reactor Technology Developments, 2020 Edition, A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS), IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2021a) *Plan de Seguridad Física Nuclear para 2022-2025*, Informe del Director General, GC(65)/24.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2021b) *Situación y Perspectivas Internacionales de la Energía Nucleoeléctrica - 2021*, Informe del Director General, GOV/INF/2021/32-GC(65)/INF/6.
- Naciones Unidas (2001) Resolución 1373 del Consejo de Seguridad, S/RES/1373.
- Naciones Unidas (2004) Resolución 1540 del Consejo de Seguridad, S/RES/1540.

2. LEYES NUCLEARES PARA LOS USOS PACÍFICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Deng Ge

Autoridad de Energía Atómica de China, Beijing,

Resumen El desarrollo y la utilización de la energía nuclear constituyen uno de los mayores logros del siglo XX. Han dado un gran impulso a la capacidad de la humanidad para comprender y modelar el mundo y ha tenido un importante efecto en el desarrollo de la tecnología y de la civilización. En el siglo XXI, las Naciones Unidas han elaborado los “Objetivos de Desarrollo del Milenio” y los “Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030” a fin de promover una solución completa de los problemas sociales, económicos y ambientales del mundo. La energía nuclear ofrece ventajas únicas para ello, pero es preciso abordar los riesgos y desafíos asociados a un desarrollo y una utilización mayores. El derecho nuclear es un potente instrumento para regular su desarrollo y responder a esos riesgos y desafíos. El Gobierno chino siempre ha desarrollado la energía nuclear con fines pacíficos de manera segura e innovadora. En la Cumbre de Seguridad Nuclear de 2014, el Presidente Xi Jinping propuso adherirse a un enfoque de seguridad física nuclear racional, coordinado y equilibrado y promover un régimen internacional de seguridad física nuclear justo, de colaboración y en el que todos ganen. Esto no solo sintetiza la experiencia de China en el establecimiento de un marco jurídico nuclear y el desarrollo de la industria nuclear, sino que también reforzaría la gobernanza nuclear internacional y fomentaría la energía nuclear para mayor beneficio de la humanidad. La comunidad internacional debe cumplir las obligaciones internacionales de manera rigurosa, ejercer las responsabilidades nacionales con eficacia y mantener conjuntamente el sistema internacional y el orden jurídico internacional focalizados en las Naciones Unidas, contribuyendo así a la realización del objetivo común de “Átomos para la paz y el desarrollo”.

Palabras clave desarrollo • energía nuclear • gobernanza nuclear • marco jurídico • seguridad física nuclear • tecnología nuclear

2.1. ESTABLECIMIENTO Y PERFECCIONAMIENTO DEL MARCO JURÍDICO NUCLEAR INTERNACIONAL

La energía nuclear, también denominada energía atómica, es la energía que se libera cuando cambia la estructura del núcleo. La energía nuclear, a diferencia de otras industrias tradicionales, ha propiciado cambios revolucionarios en

la sociedad humana y en el desarrollo industrial apenas tras un centenar de años de desarrollo desde la investigación teórica hasta la industrialización. La energía nuclear es una espada de doble filo. La enorme energía producida por la fisión nuclear no solo beneficia la vida humana, sino que también comporta riesgos y desafíos. El primero de los riesgos es la seguridad nuclear. Accidentes como el de Chernóbil de 1986 y el de Fukushima Daiichi de 2011 provocaron una grave contaminación radiactiva, amenazaron la vida y la salud del público y el entorno ecológico de los países y sus pobladores, y también ralentizaron el desarrollo de la industria de la energía nuclear en todo el mundo. El segundo está relacionado con la seguridad física nuclear. Hoy en día, la complejidad de la situación internacional, los importantes problemas de seguridad física no tradicionales y la potencial amenaza del terrorismo nuclear no pueden ser ignorados. La posibilidad de que materiales nucleares u otros materiales radiactivos caigan en manos de terroristas supondrá un desafío de primer orden para la seguridad física internacional. El tercero está relacionado con la proliferación nuclear. La tecnología nuclear es de doble uso. Si las actividades con fines pacíficos relacionadas con la energía nuclear no pueden controlarse eficazmente, la desviación de tecnologías y materiales nucleares para usos pacíficos hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos podría causar un desastre devastador para la humanidad.

El marco jurídico nuclear internacional nace del desarrollo de la energía nuclear alrededor del mundo. Ha ido mejorándose continuamente según se abordaban las cuestiones sociales, económicas, científicas y tecnológicas asociadas al desarrollo de la energía nuclear, lo cual ha propiciado el desarrollo sostenible y en condiciones de seguridad de los usos pacíficos de la energía nuclear.

2.1.1. Establecimiento de un marco jurídico nuclear internacional

En 1928 se formó la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), que comenzó a estudiar el desarrollo de normas internacionales de protección radiológica. Esta posiblemente sea la primera organización internacional dedicada a la utilización de la energía nuclear. En aquel entonces, en razón del limitado ámbito y escala de utilización de la energía nuclear, no había una necesidad urgente de desarrollar el derecho nuclear.

En 1945, el primer uso militar de la bomba atómica demostró el poder de destrucción masiva y de disuasión de las armas nucleares. En 1954, la conexión de la central nuclear de Óbninsk a la red eléctrica inauguró la era de la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos. En la década de 1960, la industria nucleoelectrónica empezó a desarrollarse a gran escala. La crisis del petróleo de 1973 abrió nuevas oportunidades de desarrollo para la industria nucleoelectrónica.

En 1946 se promulgó la Ley de Energía Atómica de los Estados Unidos de América. En diciembre de 1953, el Presidente de los Estados Unidos Eisenhower pronunció un discurso sobre los “Átomos para la paz” ante la Asamblea General de las Naciones Unidas.¹ El 29 de julio de 1957 entró en vigor el Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que marcó un hito en el desarrollo del marco jurídico nuclear internacional. El Estatuto establece que la misión del Organismo estriba en “procura[r] acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero” y “asegura[r] que la asistencia que preste, o la que se preste a petición suya, o bajo su dirección o control, no sea utilizada de modo que contribuya a fines militares.”²

Desde su creación, el OIEA puso en marcha un programa de asistencia técnica para ayudar a los Estados Miembros en desarrollo en lo que atañe a la creación de capacidad, la implantación y desarrollo de tecnología nuclear, y la utilización segura y eficaz de la tecnología nuclear.³ También elaboró documentos de salvaguardias para “asegurar que los materiales fisionables especiales y otros, así como los servicios, equipo, instalaciones e información suministrados por el Organismo, o a petición suya, o bajo su dirección o control, no sean utilizados de modo que contribuyan a fines militares”.⁴ En marzo de 1970 entró en vigor el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares, por el que se establece que los Estados no poseedores de armas nucleares no adquirirán ni fabricarán, ya sea directa o indirectamente, armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, y se pide a los Estados no poseedores de armas nucleares que negocien y concierten con el OIEA un acuerdo de salvaguardias amplias.⁵ El Comité Zangger, fundado en 1971, y el Grupo de Suministradores Nucleares, fundado en 1974, han establecido directrices y una lista inicial para las transferencias nucleares. Se ha establecido un régimen internacional de responsabilidad por daños nucleares mediante el Convenio acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear (el Convenio de París), adoptado por la Comunidad Europea de la Energía Atómica en 1960, y mediante la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares (la Convención de Viena), auspiciada por el OIEA en 1963, para abordar los riesgos de lesiones corporales y pérdida de bienes que pudieran ser causados por

¹ Eisenhower 1953.

² OIEA 1989.

³ <https://www.iaea.org/services/technical-cooperation-programme/history>. Fecha de acceso 2 de noviembre de 2021.

⁴ OIEA 1968.

⁵ OIEA 1972; Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares, abierto a la firma el 1 de julio de 1968, en vigor desde el 5 de marzo de 1970 (TNP).

accidentes nucleares transfronterizos.⁶ Se ha empezado a conformar un marco jurídico nuclear internacional de no proliferación de las armas nucleares y de prevención de los riesgos de la utilización de la energía nuclear.

2.1.2. Perfeccionamiento del marco jurídico nuclear internacional

Los graves accidentes ocurridos en la central nuclear de Three Mile Island en 1979 y en la central nuclear de Chernóbil en 1986 hicieron sonar la alarma sobre la seguridad de la energía nuclear en todo el mundo, a la vez que ofrecieron a la comunidad internacional una oportunidad para reexaminar y mejorar el marco jurídico nuclear internacional. A principios de la década de 1990 se descubrieron las actividades nucleares clandestinas de algunas Partes en el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares, lo que indujo a la comunidad internacional a seguir fortaleciendo las salvaguardias amplias y los sistemas de control de las exportaciones. En 2001, los ataques del 11 de septiembre suscitaron en la comunidad internacional una seria inquietud sobre el terrorismo nuclear. En 2011, el accidente nuclear de Fukushima Daiichi hizo que las cuestiones relativas a la seguridad nuclear volviesen a ser el centro de interés de la comunidad internacional. El marco jurídico nuclear internacional ha seguido desarrollándose y perfeccionándose en respuesta a los nuevos desafíos.

2.1.2.1. Seguridad nuclear

En la Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares (la Convención sobre Pronta Notificación) y la Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica (la Convención sobre Asistencia), aprobadas en 1986, se estipula que se establecerá un mecanismo de cooperación internacional que permita intensificar la comunicación de información y la asistencia técnica para mitigar las consecuencias de accidentes nucleares o emergencias radiológicas.⁷ La Convención sobre Seguridad Nuclear, aprobada en 1994, refuerza aún más la responsabilidad nacional respecto de la seguridad nuclear y la cooperación internacional, y refleja un consenso internacional sobre lo que constituye un alto grado de seguridad para proteger

⁶ <https://www.iaea.org/topics/nuclear-liability-conventions>. Fecha de acceso 2 de noviembre de 2021.

⁷ Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares, abierta a la firma el 26 de septiembre de 1986 (Viena) y el 6 de octubre de 1986 (Nueva York), en vigor desde el 27 de octubre de 1986 (Convención sobre Pronta Notificación); Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica, abierta a la firma el 26 de septiembre de 1986 (Viena) y el 6 de octubre de 1986 (Nueva York), en vigor desde el 26 de febrero de 1987 (Convención sobre Asistencia).

a las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante.⁸ La Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos (la Convención Conjunta), aprobada en 1997, clarifica las responsabilidades y obligaciones de todos los países en cuanto a la seguridad de la gestión del combustible gastado y de los desechos radiactivos durante todo su ciclo de vida.⁹ El OIEA ha elaborado y publicado un conjunto de normas de seguridad nuclear —Nociones Fundamentales de Seguridad, Requisitos de Seguridad Generales, Guías de Seguridad Generales, Requisitos de Seguridad Específicos y Guías de Seguridad Específicas— para ayudar a los Estados a dar cumplimiento eficazmente a las obligaciones internacionales dimanantes de la Convención sobre Seguridad Nuclear y de la Convención Conjunta. Esas normas han constituido una estructura de principios de seguridad para todo el proceso de utilización de la energía nuclear, y son de gran importancia para que los países establezcan sistemas de reglamentación de la seguridad nuclear y medidas técnicas eficaces y para alcanzar y mantener un alto grado de seguridad nuclear en todo el mundo.

2.1.2.2. *Seguridad física nuclear*

En 1979, bajo los auspicios del OIEA, se elaboró la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN), con el objetivo de fortalecer la seguridad física de los materiales nucleares durante el transporte internacional.¹⁰ Los ataques del 11 de septiembre aceleraron el proceso de revisión de la CPFMN. La Enmienda de la CPFMN, aprobada en julio de 2005, amplía el ámbito de aplicación de la convención a fin de abarcar la protección física de las instalaciones nucleares y los materiales nucleares durante su utilización, almacenamiento y transporte en el territorio nacional, y establece disposiciones adicionales para proteger los materiales y las instalaciones nucleares contra el sabotaje.¹¹ El OIEA también ha elaborado el Código de Conducta sobre la Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas y las publicaciones de la *Colección de Seguridad Física Nuclear* para proporcionar orientación sobre las actividades de seguridad física de los Estados Miembros y de la comunidad

⁸ Convención sobre Seguridad Nuclear, abierta a la firma el 20 de septiembre de 1994, en vigor desde el 24 de octubre de 1996.

⁹ Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos, abierta a la firma el 29 de septiembre de 1997, en vigor desde el 18 de junio de 2001 (Convención Conjunta).

¹⁰ Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, abierta a la firma el 3 de marzo de 1980, en vigor desde el 8 de febrero de 1987 (CPFMN).

¹¹ Enmienda de 2005 de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, en vigor desde el 8 de mayo de 2016 (Enmienda de la CPFMN).

internacional.¹² Además, en abril de 2005 se aprobó el Convenio Internacional para la Represión de los Actos de Terrorismo Nuclear, elaborado bajo los auspicios de las Naciones Unidas, que entró en vigor en julio de 2007.¹³

2.1.2.3. *No proliferación nuclear*

En 1993, el OIEA presentó el Programa 93+2, destinado a potenciar la eficacia y aumentar la eficiencia del sistema de salvaguardias. La adopción del Modelo de Protocolo Adicional en 1997 reforzó la capacidad del OIEA de detectar materiales y actividades nucleares no declarados.¹⁴ En 1992, El Grupo de Suministradores Nucleares estableció la concertación de un acuerdo de salvaguardias amplias entre los Estados no poseedores de armas nucleares y el OIEA como condición para las transferencias nucleares, formuló las directrices para la transferencia de equipos, materiales y tecnología nucleares de doble uso, y mejoró más aún los controles de las exportaciones nucleares.¹⁵

2.1.2.4. *Responsabilidad por daños nucleares*

En 1988, bajo los auspicios conjuntos del OIEA y la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, se aprobó el Protocolo Común relativo a la Aplicación de la Convención de Viena y del Convenio de París (el Protocolo Común); en 1997 se aprobó la Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares, que promueve el establecimiento de un sistema mundial de responsabilidad por daños nucleares.¹⁶

2.1.2.5. *Cooperación nuclear*

Con el apoyo del OIEA, se firmaron en Asia, África y América Latina cuatro acuerdos de cooperación regional para fomentar la ciencia y la tecnología nucleares. A finales de 2020, el OIEA firmó Acuerdos Suplementarios Revisados sobre la Prestación de Asistencia Técnica con 146 países y regiones. Hay en ejecución 1139 proyectos de cooperación técnica y 124 proyectos coordinados de investigación, que abarcan salud y nutrición; alimentación y agricultura;

¹² OIEA 2005.

¹³ Convenio Internacional para la Represión de los Actos de Terrorismo Nuclear, abierto a la firma el 14 de septiembre de 2005, en vigor desde el 7 de julio de 2007 (Convenio sobre el Terrorismo Nuclear o ICSANT).

¹⁴ OIEA 1997.

¹⁵ OIEA 2019.

¹⁶ <https://www.iaea.org/topics/nuclear-liability-conventions>. Fecha de acceso 2 de noviembre de 2021.

agua y medio ambiente; aplicaciones industriales/tecnología de la radiación; seguridad tecnológica y seguridad física; planificación energética y energía nucleoelectrónica, y desarrollo y gestión de los conocimientos nucleares, y que prestan un sólido apoyo a los Estados Miembros con respecto a la creación de capacidad y la capacitación de los recursos humanos en lo que atañe a las aplicaciones nucleares.¹⁷

2.1.3. El papel fundamental del Organismo Internacional de Energía Atómica

El OIEA es la organización intergubernamental especializada en la esfera nuclear más importante y, como tal, desempeña un papel fundamental en la promoción del establecimiento y perfeccionamiento del marco jurídico nuclear internacional. Asimismo, el OIEA promueve la adopción eficaz y la aplicación universal de las leyes nucleares internacionales mediante la prestación de servicios de asistencia legislativa, examen por homólogos, asesoramiento de expertos y capacitación del personal, y presta asistencia a los Estados Miembros en el establecimiento de sus marcos jurídicos nucleares nacionales. Hasta finales de 2020, el OIEA había publicado en total 129 normas de seguridad y 39 orientaciones de seguridad física nuclear para ayudar a los Estados Miembros a desarrollar y utilizar la energía y la tecnología nucleares en condiciones de seguridad tecnológica y física. El OIEA también ha suscrito acuerdos de salvaguardias con 184 países, protocolos adicionales con 136 países y protocolos sobre pequeñas cantidades con 94 países con el fin de verificar los materiales, instalaciones y actividades nucleares de los Estados intervinientes.¹⁸

2.1.4. El marco jurídico nuclear internacional para el desarrollo próspero y ordenado de la energía nuclear

Desde el establecimiento del OIEA en 1957 han tomado forma docenas de convenios internacionales multilaterales relacionados con los usos de la energía nuclear, así como un gran número de acuerdos bilaterales o multilaterales sobre los usos de la energía nuclear concertados entre países y con organizaciones internacionales, los cuales constituyen un marco jurídico nuclear internacional relativamente completo, basado en los principios de paz, seguridad tecnológica, seguridad física, responsabilidad y cooperación, y que proporcionan una base jurídica para el desarrollo de los usos pacíficos de la energía nuclear en todo el mundo.

¹⁷ OIEA 2020.

¹⁸ *Ibid.*

A finales de 2020 había en el mundo 442 unidades de energía nucleoelectrica en explotación, con una capacidad total instalada de más de 393 gigavatios (GW), y 52 unidades de energía nucleoelectrica en construcción, con una capacidad total instalada de más de 54,4 GW.¹⁹ La energía nucleoelectrica representa más de la cuarta parte del suministro de energía eléctrica con bajas emisiones de carbono. En los últimos 50 años, gracias al uso de la energía nucleoelectrica en todo el mundo se han evitado alrededor de 70 gigatoneladas (Gt) de emisiones de CO₂. Actualmente, las emisiones de CO₂ pueden reducirse anualmente en más de 1,2 Gt.²⁰ Dadas las políticas y medidas instauradas por todos los países en respuesta al cambio climático mundial y las innovaciones tecnológicas que han aumentado la seguridad y mejorado la economía de la energía nucleoelectrica, la contribución de la energía nuclear y su papel en la reducción de las emisiones de carbono seguirán ampliándose. Según la publicación del OIEA *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050*, presentada en septiembre de 2021, en el escenario alto, hacia 2050, la capacidad nucleoelectrica instalada en el mundo será más del doble de la actual, llegando a ser de 792 GW; la parte de la generación total de electricidad correspondiente a la energía nucleoelectrica aumentará hasta el 12,3 %. Muchos países en desarrollo de Asia, África, América del Sur y Europa Oriental registrarán en el futuro la demanda más alta de energía nucleoelectrica y el desarrollo más rápido.²¹

2.2. ESTABLECIMIENTO DE UN MARCO JURÍDICO NUCLEAR Y DESARROLLO PRÁCTICO DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN CHINA

2.2.1. Establecimiento de un marco jurídico nuclear en China

En China, la industria nuclear se fundó en 1955. ya en la década de 1960, el Gobierno chino promulgó el Reglamento Provisional sobre la Protección de la Higiene en las Labores Radiológicas, en el que se especificaban cuestiones de protección radiológica que podrían surgir en el desarrollo de la industria nuclear.

A principios de la década de 1980, el Gobierno chino hizo un importante despliegue estratégico de reforma y apertura y decidió desarrollar con vigor la energía nucleoelectrica para contribuir al desarrollo económico. En marzo de 1985 empezó a construirse la central nuclear de Qinshan. Esta fue la primera central nuclear diseñada, construida y explotada por China de forma independiente.

¹⁹ OIEA 2021.

²⁰ AIE 2019.

²¹ OIEA 2021.

En diciembre de 1991 fue conectada con éxito a la red de generación eléctrica, materializando así el avance hacia el “cero neto” de la energía nucleoelectrica en China continental. Con miras a satisfacer las necesidades del desarrollo de la energía nucleoelectrica, el Gobierno chino promulgó el Reglamento sobre la Supervisión de la Seguridad y la Administración de Instalaciones Nucleares Civiles y la Aprobación del Consejo de Estado sobre la Indemnización por Daños causados por Accidentes Nucleares, en 1986; el Reglamento sobre la Gestión y el Control de los Materiales Nucleares, en 1987; la Política Ambiental sobre la Disposición Final de los Desechos Radiactivos de Actividad Media y Baja de China, en 1992; el Reglamento sobre la Gestión de Emergencias de las Centrales Nucleares y los Accidentes Nucleares, en 1993, y el Reglamento sobre la Seguridad Tecnológica y la Seguridad Física de las Centrales Nucleares, en 1997. La reglamentación antes mencionada abarca la seguridad tecnológica nuclear, la seguridad física nuclear, el control de los materiales nucleares, la responsabilidad por daños nucleares, la respuesta a emergencias nucleares, la gestión de los desechos radiactivos y otros aspectos, y conforman un sistema jurídico que regula y promueve el desarrollo de la energía nuclear.²²

Desde el comienzo del nuevo siglo, la estrategia china de desarrollo de la energía nucleoelectrica ha pasado por las etapas de “desarrollo moderado”, “desarrollo activo”, “desarrollo seguro y eficiente” y “desarrollo proactivo y ordenado con la seguridad tecnológica y física como prioridad”. Para velar por el desarrollo seguro, eficiente y sostenible de la energía nuclear, China ha seguido reforzando la construcción de un marco jurídico nuclear. Desde 2003, China ha promulgado sucesivamente la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Radiactiva, el Reglamento de Seguridad y Protección de los Radioisótopos y los Aparatos de Radiación, el Reglamento sobre la Supervisión y Administración de los Equipos de Seguridad Nuclear de Uso Civil, el Reglamento sobre la Supervisión y Administración del Transporte de Materiales Radiactivos, y el Reglamento sobre la Gestión de la Seguridad de los Desechos Radiactivos; ha revisado el Reglamento sobre la Gestión de Emergencias por Accidente Nuclear en las Centrales Nucleares, y la Respuesta del Consejo de Estado sobre la Indemnización por Daños causados por Accidentes Nucleares, y ha promulgado, aplicado y actualizado periódicamente el Plan Nacional de Emergencia Nuclear.²³ En 2018 entró en vigor oficialmente la Ley de Seguridad Nuclear. Actualmente, la Ley de Energía Atómica está a punto de ser presentada al Comité Permanente del Congreso Nacional Popular para su deliberación. Sucesivamente han ido promulgándose reglamentos y directrices normativas en materia de seguridad

²² Consejo de Estado de la República Popular China 1986, 1987, 1993.

²³ Consejo de Estado de la República Popular China 2003; Consejo de Estado de la República Popular China 2005, 2007, 2009, 2011.

nuclear tecnológica y física y de gestión de las importaciones y exportaciones nucleares, y se ha establecido un marco jurídico nuclear compuesto de leyes, reglamentos administrativos y normas departamentales. En la esfera nuclear, hasta junio de 2019 China había promulgado 9 reglamentos administrativos, casi 40 normas departamentales y más de 100 directrices de seguridad; había formulado más de 1000 normas nacionales e industriales pertinentes y 31 provincias, regiones autónomas y municipalidades habían formulado más de 200 reglamentos locales, que desempeñaban una importante función en el desarrollo seguro y eficiente de la industria nuclear china.

China participa activamente en las actividades de cooperación internacional y regional relacionadas con el uso pacífico de la energía nuclear y el proceso de no proliferación. En 1984, China se incorporó al OIEA; en 1992 se adhirió al Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares y, posteriormente, pasó a formar parte del Comité Zangger y del Grupo de Suministradores Nucleares, así como de otros marcos de control de las exportaciones. China ha suscrito sucesivamente la Convención sobre la Pronta Notificación, la Convención sobre Asistencia, la Convención sobre Seguridad Nuclear, la Convención Conjunta y otros convenios internacionales de seguridad nuclear, así como el Convenio Internacional para la Represión de los Actos de Terrorismo Nuclear, la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares y sus enmiendas y otros convenios internacionales sobre seguridad física nuclear. China cumple rigurosamente sus obligaciones y compromisos internacionales y, consiguientemente, ha perfeccionado su marco jurídico nuclear nacional. En 1997, el Gobierno chino promulgó el *Aviso del Consejo de Estado sobre cuestiones relativas a la aplicación rigurosa de la política de exportaciones nucleares de China*, por el que se establece claramente que las exportaciones nucleares deben ser sometidas a las salvaguardias del OIEA, y posteriormente promulgó el Reglamento sobre el Control de las Exportaciones Nucleares, el Reglamento sobre los Productos Nucleares de Doble Uso y las Tecnologías Conexas y otros reglamentos administrativos; en 2004, los reglamentos pertinentes fueron revisados conforme a los compromisos adquiridos en virtud de la integración en el Grupo de Suministradores Nucleares, y las medidas de control de las exportaciones nucleares y de doble uso de China se ajustaban a las prácticas internacionales.²⁴

2.2.2. Desarrollo de la energía nuclear en China

El eficaz marco jurídico nuclear con que cuenta China le ha permitido lograr grandes avances en el desarrollo de la energía nuclear. Hasta ahora, China no ha

²⁴ Consejo de Estado de la República Popular China 1998, 1997.

experimentado jamás un incidente nuclear de nivel 2 o superior y ha seguido el principio de “mantener los materiales nucleares guardados bajo llave”, lo cual ha creado buenas condiciones para el desarrollo de la energía nuclear. Actualmente, China se ha convertido en el país que crece más rápidamente en el mundo de la energía nucleoelectrónica. A finales de septiembre de 2021, China tenía 51 unidades de energía nucleoelectrónica en explotación, con una capacidad instalada de más de 53,3 GW, y 18 unidades de energía nucleoelectrónica en construcción, con una capacidad instalada de 19 GW.²⁵ En 2020, la capacidad de generación de energía nucleoelectrónica de China era de 366 243 millones de kW-h, con un incremento interanual del 5,02 %, lo que representa aproximadamente el 4,94 % de la generación eléctrica acumulada del país. Comparada con la generación de electricidad a partir del carbón, la generación anual de energía nucleoelectrónica equivale a una reducción de la quema de 104,7 megatoneladas (Mt) de carbón estándar y una reducción de las emisiones de 274,4 Mt de CO₂, 0,89 Mt de dióxido de azufre y 0,78 Mt de óxidos de nitrógeno, lo que equivale a la forestación de 771 400 ha.²⁶ El Gobierno chino tiene previsto para el período de 2021 a 2025 desarrollar vigorosamente energía nueva, desarrollar la energía nuclear de manera proactiva y ordenada priorizando a la vez la seguridad tecnológica y física, y seguir promoviendo la utilización limpia y eficiente del carbón, a fin de reducir el consumo de energía por unidad del PIB y las emisiones de dióxido de carbono en un 13,5 % y un 18 %.²⁷ En el contexto de los picos de carbono y la neutralidad en carbono se acelerará aún más la transformación del sistema energético y eléctrico de China hacia un sistema más limpio y con bajas emisiones de carbono. La energía nuclear, como un tipo de energía limpia con cero emisiones netas, tendrá un margen de desarrollo más amplio. Se estima que, para 2025, la capacidad nucleoelectrónica instalada en funcionamiento en China será de más de 70 GW, y la capacidad instalada en construcción será de alrededor de 50 GW; para 2030, la capacidad nucleoelectrónica instalada en funcionamiento en China sobrepasará los 100 GW, y la capacidad instalada en construcción sobrepasará los 50 GW; la generación de energía nucleoelectrónica representará el 8 % de la generación total de electricidad del país.²⁸ La energía nuclear desempeñará un papel indispensable para respaldar la estrategia de China y lograr el objetivo del pico del carbono y la neutralidad en carbono.

²⁵ Datos tomados de las estadísticas más recientes de la Autoridad de Energía Atómica de China.

²⁶ Tingke *et al.* 2021.

²⁷ Véase el informe relativo a la labor gubernamental presentado por el Primer Ministro Li Keqiang del Consejo de Estado de la República Popular China en la cuarta sesión del Decimotercer Congreso Nacional Popular, el 5 de marzo de 2021, http://www.gov.cn/premier/2021-03/12/content_5592671.htm. Fecha de acceso 2 de noviembre de 2021.

²⁸ Datos tomados de Tingke *et al.* 2021.

En las últimas décadas, las aplicaciones no eléctricas de la industria de la tecnología nuclear de China han crecido sin cesar, creando un sistema industrial relativamente completo en lo que respecta a modificación de materiales, ensayos no destructivos, reproducción por irradiación, procesamiento de alimentos y productos agrícolas por irradiación, y medicina nuclear. Especialmente en los últimos años, la clave de valor de la producción anual ha registrado un aumento de más del 20 %, por lo que se convierte en un nuevo y prometedor espacio para fomentar el desarrollo de la economía nacional. Desde el brote de COVID-19, China ha explotado plenamente sus ventajas exclusivas en materia de tecnología nuclear, utilizando la esterilización por irradiación en vez de la esterilización química tradicional y acortando el tiempo de esterilización de la vestimenta de protección médica de 7 o 10 días a un solo día, aliviando así en gran medida la necesidad urgente de 100 000 unidades de vestimenta de protección por día en Wuhan y otras regiones. A finales de 2020 había en China 80 414 empresas dedicadas a la producción, venta y utilización de radioisótopos y aparatos de radiación, con un incremento del 22,7 % con respecto a 2015, y 149 452 fuentes radiactivas y 205 280 aparatos de radiación de distinto tipo en uso, con un incremento del 22,1 % y el 49,5 % con respecto a 2015.²⁹ China seguirá ampliando sus aplicaciones no eléctricas de la industria de la tecnología nuclear y cooperando con otros países según los principios de la ventaja complementaria y el beneficio mutuo.

2.3. PERSPECTIVAS

La energía nuclear, como un tipo de energía de carga base limpia, con bajas emisiones de carbono y de alta eficiencia, es una opción importante para lograr los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y responder a los desafíos del cambio climático mundial. El OIEA, la Agencia Internacional de Energía y otras organizaciones han hecho previsiones para muchos años y estiman que la parte de la energía mundial total correspondiente a la energía nuclear mantendrá un ímpetu de crecimiento a largo plazo en el futuro.³⁰ La comunidad internacional debe respetar y defender el concepto de comunidad con un futuro compartido en materia de seguridad nuclear, promover activamente la aplicación universal y la mejora continua del marco jurídico nuclear internacional, y desplegar infatigables esfuerzos en aras del desarrollo próspero y a largo plazo del uso pacífico de la energía nuclear en el mundo.

²⁹ NNSA 2020.

³⁰ AIE 2019.

2.3.1. Promoción de la aplicación universal del marco jurídico nuclear internacional

Los habitantes de todos los países viven en una aldea global y forman una comunidad de destino compartido. Los países deben no solo gozar del derecho al uso pacífico de la energía nuclear, sino también cargar con la responsabilidad y la obligación de impedir la proliferación nuclear y a la par mantener la seguridad nuclear y la seguridad física. En la Cumbre de Seguridad Nuclear de 2014, en La Haya, el Presidente chino Xi Jinping señaló que “sin normas o reglas no es posible realizar nada”.³¹ Todos los países deben cumplir concienzudamente sus obligaciones en virtud del marco jurídico internacional de seguridad nuclear, aplicar plenamente las resoluciones pertinentes del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, consolidar y desarrollar el marco jurídico de seguridad nuclear existente y ofrecer garantías institucionales y directrices de seguimiento universal para la gobernanza de la industria nuclear internacional.

Sin embargo, las actuales piezas angulares del derecho nuclear internacional, como el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares, la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares y sus enmiendas, el acuerdo de salvaguardias amplias del OIEA y sus protocolos adicionales, no han logrado todavía su aplicación universal, lo cual limita la eficacia del marco jurídico nuclear internacional. La comunidad internacional debe promover activamente la aplicación universal del marco jurídico nuclear internacional, velar por que todos los países que en sus actividades hacen un uso pacífico de la energía nuclear cumplan los principios y requisitos básicos establecidos en el marco jurídico nuclear internacional, y reforzar la construcción de sistemas de no proliferación y de seguridad nuclear tecnológica y física. Además de beneficiar a los seres humanos con la energía nuclear, debemos también proteger nuestra casa común en el mundo.

2.3.2. Asistencia a los países en el establecimiento y desarrollo de marcos jurídicos nucleares nacionales

El OIEA ha sido responsable de la formulación de un conjunto de convenios internacionales en la esfera nuclear, así como de directrices de seguridad tecnológica y de seguridad física. Es necesario que todos los países pertinentes traspongan los requisitos de los convenios internacionales a su legislación nacional, para garantizar que las obligaciones internacionales y los requisitos conexos se cumplan realmente. En los primeros momentos del desarrollo de la energía nuclear, los países con energía nuclear incipiente necesitan establecer

³¹ Texto íntegro en http://en.qsttheory.cn/2021-01/11/c_607626.htm.

un marco jurídico nuclear que regule y promueva el desarrollo seguro de la energía nuclear.

El OIEA posee amplia experiencia en la creación de un marco jurídico nuclear y ha llevado a cabo un ingente trabajo de asistencia a los Estados Miembros en el establecimiento de un marco jurídico nuclear nacional. Por ejemplo, el OIEA compiló el *Manual de derecho nuclear* y su segundo volumen, titulado *Manual de derecho nuclear: Legislación de aplicación*, y puso en marcha un programa de asistencia legislativa.³² Con el desarrollo del uso pacífico de la energía nuclear en el mundo, el OIEA debe aumentar aún más la asistencia legislativa en el ámbito nuclear a los Estados Miembros que necesiten de ella, concienciar a los Estados Miembros respecto de los instrumentos jurídicos internacionales en la esfera nuclear, prestar apoyo a los Estados Miembros en el cumplimiento de sus obligaciones y compromisos internacionales y prestar asistencia a los Estados Miembros en la elaboración de su legislación nuclear nacional.

2.3.3. Desarrollo y perfeccionamiento continuos del marco jurídico nuclear internacional

La energía nuclear está promoviendo el marco jurídico nuclear internacional, que seguramente seguirá perfeccionándose conforme al desarrollo de la energía nuclear a escala mundial. Actualmente están aumentando las actividades de I+D relacionadas con sistemas de energía nuclear de cuarta generación, una tras otra van surgiendo tecnologías de reactores modulares pequeños (SMR) y el desarrollo de la tecnología de fusión nuclear avanza a buen ritmo, lo cual plantea muchas nuevas necesidades en cuanto al desarrollo y perfeccionamiento del marco jurídico nuclear internacional. Además, la verificación de las instalaciones nucleoelectricas militares a los fines de las salvaguardias en Estados no poseedores de armas nucleares plantea nuevos desafíos para el marco jurídico nuclear internacional.

Los SMR avanzados adoptan diseños normalizados y modulares, con menos inversión inicial y menos requisitos de selección de emplazamiento, de modo que pueden desplegarse con flexibilidad. Algunos SMR pueden desplegarse en zonas urbanas con una elevada carga eléctrica y gran densidad de población, y otros de ellos pueden desplegarse en el mar, lejos del territorio continental. Abordar las cuestiones de seguridad tecnológica y física en escenarios de aplicación especiales para los SMR y clarificar los requisitos técnicos y reglamentarios pertinentes son asuntos de importancia que la comunidad internacional tiene que resolver lo antes posible.

La energía de fusión nuclear es una de las vías para solucionar definitivamente los problemas humanos energéticos y ambientales. La energía de fusión nuclear no se aleja del ámbito general de la energía nuclear y los riesgos radiológicos no pueden

³² OIEA 2003; OIEA 2010.

eliminarse al cien por cien. El diseño, la construcción, la explotación y la clausura de las instalaciones conexas deben ser incluidos en el ámbito de la supervisión de la seguridad nuclear y regulados con arreglo al marco jurídico y regulador correspondiente. Por otra parte, no se puede descartar la posibilidad de que, en el curso del uso pacífico de la energía de fusión nuclear, materiales y tecnologías conexas sean desviados para la fabricación de armas termonucleares. Es por ello que la comunidad internacional necesita urgentemente intensificar las actividades de investigación para clarificar cuanto antes los requisitos del desarrollo y la utilización de la energía de fusión nuclear en lo que respecta a la seguridad tecnológica, la seguridad física y el uso pacífico, para que pueda así establecerse una base jurídica para la aplicación a gran de escala de la energía de fusión nuclear.

El uso pacífico de la energía nuclear es la aspiración común de todos los países del mundo, y es parte de nuestra responsabilidad común velar por la seguridad tecnológica, la seguridad física y el desarrollo sostenible de la energía nuclear. La comunidad internacional debe centrar la atención en promover la energía nuclear en beneficio de los seres humanos y en propiciar la mejora continua del marco jurídico nuclear internacional de conformidad con los principios de paz, seguridad tecnológica, seguridad física, responsabilidad y cooperación, esforzándose incansablemente para fortalecer la gobernanza nuclear mundial, hacer realidad los “Átomos para la paz y el desarrollo” y crear una comunidad de seres humanos con un futuro compartido.

REFERENCIAS

- Eisenhower D D (1953) Alocución ante la Asamblea General de las Naciones Unidas, 8 de diciembre de 1953, Nueva York.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1968) *Sistema de Salvaguardias del Organismo*, INFCIRC/66/Rev.2.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1972) *Estructura y Contenido de los Acuerdos entre los Estados y el Organismo Requeridos en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares*, INFCIRC/153.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1989) *Estatuto*, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1997) *Modelo de Protocolo Adicional al (a los) Acuerdo(s) entre el (los) Estado(s) y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias*, INFCIRC/540.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2003) *Manual de derecho nuclear*, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2005) *Código de Conducta sobre la Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radioactivas: Directrices sobre la Importación y Exportación de Fuentes Radiactivas*, OIEA, Viena.

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2010) *Manual de derecho nuclear: legislación de aplicación*, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2019) *Comunicación Recibida de la Misión Permanente de la República de Kazajstán ante el Organismo Internacional de Energía Atómica en Nombre de los Gobiernos Participantes en el Grupo de Suministradores Nucleares*, INFCIRC/539/Rev.7.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2020) *Informe Anual del OIEA de 2020*. <https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc65-5.pdf>. Consultado el 2 de noviembre de 2021
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021) *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, Reference Data Series*, IAEA, Vienna.
- International Energy Agency (IEA) (2019) *Nuclear Power in a Clean Energy System*. <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>. Accessed 2 November 2021
- National Nuclear Safety Administration (NNSA) of the People's Republic of China (2020) *2020 Annual Report*. <https://nnsa.mec.gov.cn/ztl/haqnb/202106/P020210629665594621226.pdf>. Accessed 2 November 2021
- State Council of the People's Republic of China (1986) *Regulations on the Safety Supervision and Administration of Civil Nuclear Facilities*. http://www.nea.gov.cn/2017-11/03/c_136725275.htm. Accessed 2 November 2021
- State Council of the People's Republic of China (1987) *Regulations on the Management and Control of Nuclear Materials*. http://www.nea.gov.cn/2017-11/03/c_136725276.htm. Accessed 2 November 2021
- State Council of the People's Republic of China (1993) *Regulations on the Emergency Management of Nuclear Power Plant Accidents*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn150237.pdf>. Accessed 2 November 2021
- State Council of the People's Republic of China (1997) *Regulations on Nuclear Export Control*. <https://www.fmprc.gov.cn/ce/cgvienna/eng/dbtyw/fks/t127622.htm>. Accessed 2 November 2021
- State Council of the People's Republic of China (1998) *Regulations on Export Control of Nuclear Dual-Use Products and Related Technologies*. <https://www.fmprc.gov.cn/ce/cgvienna/eng/dbtyw/fks/t127623.htm>. Accessed 2 November 2021
- State Council of the People's Republic of China (2005) *Regulations on the Safety and Protection of Radioisotopes and Radiation Devices*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn152926.pdf>. Accessed 2 November 2021
- State Council of the People's Republic of China (2007) *Regulations on the Supervision and Administration of Civil Nuclear Safety Equipment*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn149833.pdf>. Accessed 2 November 2021
- State Council of the People's Republic of China (2009) *Regulations on Supervision and Administration of the Transport of Radioactive Materials*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn153827.pdf>. Accessed 2 November 2021
- State Council of the People's Republic of China (2011) *Regulations on the Safety Management of Radioactive Waste*. http://www.gov.cn/zwgk/2011-12/29/content_2033177.htm. Accessed 2 November 2021

The Central People's Government of China (2003) Law on the Prevention and Control of Radioactive Pollution (PRC Presidential Order No. 6 of 2003) https://www.ilo.org/dyn/natlex/natlex4.detail%3Fp_lang%3Den%26p_isn%3D76093. Accessed 2 November 2021

Tingke Z, Minrong L, Qilong P (2021) China Nuclear Energy Development Report, Social Sciences Literature Press, Beijing.

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

3. LA VISIÓN RUSA DE LOS PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS DEL MARCO JURÍDICO INTERNACIONAL EN EL CONTEXTO DE LOS REACTORES MODULARES PEQUEÑOS Y LAS UNIDADES DE ENERGÍA NUCLEOELÉCTRICA TRANSPORTABLES

Andrey Popov

Resumen Los reactores modulares pequeños (SMR) podrían ser la clave para suministrar electricidad limpia y asequible (y con una buena relación costo-eficacia) a las regiones en desarrollo. El despliegue de los SMR requiere un marco jurídico transparente y equilibrado que defina los aspectos específicos y los límites de la responsabilidad compartida entre el país receptor y el país proveedor, especialmente en el caso de los proyectos innovadores de SMR flotantes. Para elaborar los enfoques normativos aplicables a los SMR flotantes puede hacerse uso de la experiencia jurídica en relación con las embarcaciones de propulsión nuclear y las instalaciones nucleares. En el presente capítulo se analizan los convenios internacionales existentes, como el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar de 1974, los acuerdos de salvaguardias del OIEA y los instrumentos de responsabilidad civil, con respecto a su aplicabilidad a los SMR flotantes. Se presentan, además, algunas consideraciones acerca del futuro desarrollo del marco jurídico de los SMR flotantes.

Palabras clave reactores modulares pequeños (SMR) • unidad flotante de potencia • Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) de 1974 • salvaguardias del OIEA • responsabilidad civil • tecnología de los reactores

3.1. INTRODUCCIÓN

Conforme aumenta la conciencia ambiental van cobrando importancia los desafíos de la descarbonización y de la búsqueda de alternativas eficaces para satisfacer la creciente necesidad de energía. Para lograr los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS) establecidos por las Naciones Unidas en la Agenda 2030 para



*Fig. 3.1 La unidad flotante de potencia Akademik Lomonosov en su emplazamiento en Pevek.
Fuente: Rosatom 2019*

el Desarrollo Sostenible¹ es preciso suministrar a las regiones en desarrollo electricidad limpia y asequible (y con una buena relación costo-eficacia).

Según el informe del OIEA titulado “Advances in Small Modular Reactor Technology Developments”², en todo el mundo hay más de 70 proyectos diferentes de SMR en tierra firme, mar adentro y submarinos. Las empresas de diseño rusas elaboraron 17 de esos 70 proyectos. Hoy en día no existe una única definición de SMR, de modo que, a los efectos del presente ensayo, SMR significa una central nuclear con un reactor modular de hasta 300 MW(e).

La mayoría de los proyectos de SMR existentes se basan en tecnología de reactores PWR (reactores de agua a presión) consolidada y ampliamente aceptada. El reactor KLT-40S, que se basa en más de 400 años-reactor de experiencia operacional con este tipo de reactores en rompehielos de propulsión nuclear, no es una excepción. El KLT-40S está instalado en la unidad flotante de potencia

¹ Asamblea General de 2015.

² OIEA 2020a.

Akademik Lomonosov (véase la figura 3.1), cuya explotación comercial se inició con todo éxito en 2020 y exhibe un alto rendimiento en las duras condiciones imperantes al norte de Rusia. Habida cuenta de la experiencia mundial acumulada en la explotación de reactores PWR, así como la experiencia en la explotación de centrales de reactores de rompehielos, desde el punto de vista técnico y de seguridad, podemos afirmar que los SMR rusos están preparados para su comercialización general (figura 3.1).

Estudiar la cuestión de la eficacia en función del costo abrió una “ventana de oportunidad” para la cooperación internacional en proyectos de SMR y, al mismo tiempo, demostró que, además de dominar la tecnología y mostrar su atractivo económico, para una ejecución eficaz se requiere un marco jurídico transparente y equilibrado que defina los aspectos específicos y los límites de la responsabilidad compartida entre el país receptor y el país proveedor, especialmente en el caso de los proyectos innovadores de SMR flotantes. La industria nucleoelectrónica, debido a su sofisticación tecnológica y sus largos ciclos de vida, no debe verse afectada por cambios momentáneos en el ambiente político, y esto solo puede conseguirse a través de una reglamentación jurídica clara y coherente de los proyectos nucleares internacionales.

3.2. ENFOQUES PARA EL CONTROL REGLAMENTARIO DE LOS SMR FLOTANTES

El ciclo de vida de los SMR flotantes a través de las fronteras plantea cuestiones transfronterizas relacionadas con la separación de las responsabilidades entre las partes interesadas de los proyectos.

Los primeros proyectos, en los que una instalación nuclear operada por una entidad explotadora de un Estado es trasladada por vía marítima y puede atravesar las fronteras de otros Estados, se ejecutaron ya en las décadas de 1950 y 1970. El buque de propulsión nuclear N.S. Savannah (Estados Unidos de América) y los buques mercantes de propulsión nuclear Otto Hahn (Alemania) y Mutsu (Japón) eran embarcaciones autopropulsadas alimentadas por pequeñas centrales nucleares. Además, la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) ejecutó varios proyectos de rompehielos de propulsión nuclear, como el Lenin, el Arctic y el Siberia. Sobre la base de la experiencia adquirida en la ejecución de estos singulares proyectos empezó a conformarse a nivel internacional un marco regulador especial. En concreto, se añadió al Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) de 1974 el capítulo VIII,

dedicado a los buques autopropulsados por energía nucleoelectrica,³ y se elaboró un borrador de la Convención sobre la Responsabilidad de los Explotadores de Buques Nucleares de 1962.

La experiencia adquirida en la ejecución de esos proyectos singulares se convirtió en la base de un marco regulador internacional especial.

El desarrollo del marco jurídico y regulador se estancó cuando la tecnología de los buques autopropulsados por energía nucleoelectrica no logró alcanzar los indicadores de rentabilidad necesarios y cesó la demanda del mercado. Concretamente, la Convención sobre la Responsabilidad de los Explotadores de Buques Nucleares de 1962 no ha entrado en vigor porque no ha sido firmada por ningún Estado poseedor de buques nucleares.⁴ En la actualidad, la flota de buques nucleares autopropulsados de uso civil opera exclusivamente en el Ártico ruso, facilitando la experimentación en condiciones de hielo muy difíciles y asumiendo tareas de apoyo para el desarrollo de la ruta marítima septentrional. Los rompehielos de propulsión nuclear y el buque de carga de propulsión nuclear Sevmorput cumplen los requisitos estipulados en el SOLAS, así como los requisitos de la legislación nacional marítima y nuclear de Rusia; la seguridad de su explotación está confirmada mediante las licencias de Rostekhnadzor (el regulador nuclear de Rusia) y los certificados del Registro Marítimo Ruso de Embarcaciones (el regulador marítimo de Rusia) correspondientes.

Para elaborar los enfoques normativos aplicables a los SMR flotantes puede hacerse uso de la experiencia jurídica en relación con las embarcaciones de propulsión nuclear. Por supuesto, los documentos internacionales, como la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982, cobraron forma hace más de medio siglo y no contienen reglas específicas para embarcaciones no autopropulsadas con unidades de energía nucleoelectrica, pero podrían ser adaptados para su aplicación. En particular, el Código de Seguridad para Buques Mercantes Nucleares⁵ de 1981 toma en consideración los principios establecidos y reconocidos de la construcción naval y la tecnología marítima y nuclear existente cuando fue elaborado, y se circunscribe a los tipos de embarcaciones propulsadas con unidades de energía nucleoelectrica. Al mismo tiempo, el Código de Seguridad para Buques Mercantes Nucleares dispone, en su capítulo 1, la necesidad de su revisión al ritmo de los avances tecnológicos.⁶

³ Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, abierto a la firma el 1 de noviembre de 1974, en vigor desde el 25 de mayo de 1980 (SOLAS).

⁴ Convención sobre la Responsabilidad de los Explotadores de Buques Nucleares, abierta a la firma el 25 de mayo de 1962.

⁵ OMI 1981.

⁶ SOLAS, nota 3 anterior.

El SOLAS es uno de los principales instrumentos internacionales que rigen la explotación segura de las embarcaciones. Hoy por hoy es necesario clarificar el SOLAS en lo que atañe a su aplicación a los SMR flotantes. Cumplir los requisitos del SOLAS es necesario para fomentar una mayor protección de la vida humana en el mar. En este sentido, el diseño y la construcción de la unidad flotante de potencia Akademik Lomonosov, así como el diseño de unidades flotantes optimizadas, respeta *de facto* todos los códigos y requisitos existentes para las embarcaciones, tanto nacionales como internacionales. La incipiente certeza respecto de la condición jurídica de los SMR flotantes reducirá la influencia de los factores políticos en la ejecución de los proyectos internacionales y hará que la reglamentación de su ciclo de vida sea más predecible y ordenada a escala mundial.

En la fase siguiente, según se vaya adquiriendo experiencia a nivel nacional en la explotación de los SRM flotantes en los países proveedores, será preciso dar forma a criterios y requisitos internacionales acordados para la seguridad de las embarcaciones no autopropulsadas con unidades de energía nucleoelectrica, que puedan combinarse con un código especial separado similar al Código de Seguridad para Buques Mercantes Nucleares.⁷ Esos criterios permitirán que el promotor y la entidad explotadora puedan producir con antelación la cantidad necesaria de documentación para justificar la operación y que las partes interesadas puedan evaluar objetivamente la seguridad de la operación.

3.3. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LA CONCESIÓN DE LICENCIAS Y ENFOQUES DEL SOLAS

Los aspectos específicos del ciclo de vida de los SMR flotantes impiden la aplicación directa de los procedimientos utilizados en la industria nucleoelectrica convencional.

Por lo general es preciso disponer de una licencia de construcción concedida por el regulador nacional del país receptor, que emite después una licencia de explotación. Los SMR flotantes se diseñan y construyen en el país proveedor y deben cumplir plenamente la reglamentación de este. Una vez terminada la construcción, el regulador del país proveedor emite una licencia de explotación en la cual el transporte al país receptor es una de las fases de la explotación de la unidad. Dado que los SMR flotantes serán también explotados en el país receptor, el enfoque convencional presupone que el regulador del país receptor también deberá evaluar la conformidad del SMR flotante con la reglamentación nacional. Este procedimiento lleva a que el mismo juego de documentación sea examinado

⁷ OMI 1981.

por dos reguladores nacionales. Por otra parte, modificar el diseño sobre la base de las observaciones del regulador del país receptor es absolutamente imposible en el caso de los SMR flotantes, ya que la construcción, la carga del combustible, la primera criticidad del reactor y su puesta en servicio tienen lugar en el país del proveedor conforme a sus normas.

Los procedimientos desarrollados para las embarcaciones nucleares y consagrados en el SOLAS contienen los requisitos previos para un enfoque optimizado de la concesión de licencias de SMR flotantes. De acuerdo con el SOLAS, las normas de diseño, construcción e inspección para la fabricación e instalación de una central de reactor deben cumplir los requisitos del país de abanderamiento de la embarcación nuclear y contar con su aprobación. La entidad explotadora, basándose en el informe de análisis de la seguridad (SAR), prepara y aprueba con el país de abanderamiento un documento de información sobre la seguridad para confirmar que la central esté libre de radiación excesiva u otro peligro nuclear.

La información sobre la seguridad se proporciona con mucha antelación a los gobiernos de los países que atravesará la embarcación nuclear o que la recibirán.

La aplicación de los principios establecidos en el SOLAS a las unidades de energía nucleoelectrónica flotantes con instalaciones nucleares evitará la duplicidad de la concesión de licencias para el cumplimiento de los requisitos de seguridad, algo en lo que el país receptor puede implicarse examinando la información sobre la seguridad de la embarcación a fin de tomar una decisión fundamentada respecto de la posibilidad de que una unidad flotante de potencia pueda ser explotada en el país receptor. La aplicación eficaz de este procedimiento puede detallarse en un acuerdo intergubernamental entre el país proveedor y el país receptor.

3.4. APOYO JURÍDICO PARA EL TRANSPORTE DE SMR FLOTANTES

La fase de transporte, en la que el SMR flotante es trasladado con la central de reactor cargada con combustible y en régimen de parada, es una fase nueva del ciclo de vida de los SMR flotantes y una de las más complejas desde el punto de vista del apoyo jurídico. El SMR flotante puede transportarse ya sea a remolque o bien a bordo de una embarcación anfibia especial. El Akademik Lomonosov fue trasladado a remolque desde San Petersburgo hasta Murmansk, pero este método es bastante complicado para el traslado a larga distancia, ya que requiere la formación de un convoy, tiempo calmo y la consideración de otros factores variables.

El traslado en una embarcación anfibia parece ser una forma más eficaz de transporte a larga distancia, porque una embarcación anfibia autopropulsada es más resistente a los cambios meteorológicos. El uso de embarcaciones anfibias es una práctica común para transportar instalaciones de ingeniería complejas, por ejemplo, plataformas petrolíferas. También existe vasta experiencia en el uso de embarcaciones anfibias para transportar instalaciones nucleares.

La opción del transporte en embarcaciones anfibias se asemeja al transporte de combustible nuclear por vía marítima, pero los requisitos aplicables a los cofres de transporte de combustible nuclear no son directamente aplicables a los SMR flotantes. Como embarcación, un SMR flotante puede clasificarse como un medio de transporte con material nuclear en el que este es una parte integrante de la central nuclear, en contraposición a un buque de transporte de material nuclear, en el que un cofre es una carga en el buque y puede retirarse fácilmente sin alterar la embarcación.

La reglamentación jurídica internacional en vigor no prohíbe el transporte marítimo de un SMR flotante cargado con combustible nuclear a bordo de otra embarcación, pero no existen reglas especiales para ese tipo de transporte. Un SMR flotante puede transportarse como carga en una embarcación anfibia. De acuerdo con Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982,⁸ una embarcación que cargue un SMR flotante tiene el derecho de libre navegación en alta mar y en zonas económicas exclusivas, así como el derecho de paso inocente a través del mar territorial de terceros países.

No obstante, incluso con respecto al transporte de material nuclear amparado por un minucioso marco jurídico, en la práctica internacional ha habido precedentes de la expresión por algunos países de su descontento por el tránsito de mercancías peligrosas a través de su zona económica exclusiva.

Esta práctica demuestra la dependencia de las decisiones relativas a la energía nuclear respecto de los factores políticos y la opinión pública, y pone de relieve la importancia de las actividades de concienciación del OIEA sobre el transporte seguro de los materiales nucleares. Dado que los conocimientos y la experiencia sobre la operación libre de accidentes van acumulándose, esa dependencia puede reducirse en el futuro.

Por ahora, el marco regulador es completamente suficiente para poder ejecutar proyectos piloto. Paralelamente, en el marco de acuerdos especiales pueden especificarse procedimientos individuales.

⁸ Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, abierta a la firma el 10 de diciembre de 1982, en vigor desde el 16 de noviembre de 1994 (UNCLOS).

3.5. SALVAGUARDIAS DEL OIEA

Una de las principales características de los SMR flotantes es su transporte entre distintos Estados a lo largo de su ciclo de vida. Los materiales nucleares están sujetos a un acuerdo de salvaguardias concertado entre el Estado proveedor y el OIEA hasta la transferencia de la responsabilidad y, a más tardar, hasta la llegada del SMR al país receptor. A partir de entonces, los materiales nucleares están sujetos al acuerdo concertado entre el país receptor y el OIEA y, por tanto, la responsabilidad de contabilizar, supervisar y notificar los materiales nucleares, así como de permitir a los inspectores del OIEA el acceso a ellos, incumbe al país receptor.

Cabe señalar que, en rigor, los requisitos de salvaguardias son distintos en los Estados no poseedores de armas nucleares con acuerdos de salvaguardias amplias⁹ y en los Estados poseedores de armas nucleares con acuerdos de ofrecimiento voluntario para la aplicación de salvaguardias.¹⁰ A diferencia de los Estados no poseedores de armas nucleares, los Estados poseedores de armas nucleares no están obligados a proporcionar al OIEA información sobre el diseño de la instalación ni a permitir el acceso de los inspectores del OIEA al combustible del SMR para su verificación con anterioridad a la expedición.

Así pues, la aplicación de las salvaguardias del OIEA exigirá nuevas soluciones jurídicas y técnicas. En el marco de un programa de apoyo de los Estados Miembros en materia de salvaguardias, el OIEA y la Federación de Rusia cooperan en la elaboración de enfoques para aplicar las salvaguardias del OIEA a las unidades de energía nucleoelectrica flotantes diseñadas en la Federación de Rusia teniendo en cuenta el concepto de incorporación de las salvaguardias en el diseño.

3.6. LOS SMR FLOTANTES Y LA RESPONSABILIDAD CIVIL POR DAÑOS NUCLEARES

La Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares (la Convención de Viena) de 1963,¹¹ el Convenio acerca de la Responsabilidad

⁹ OIEA 1972.

¹⁰ A modo de ejemplo, véase IAEA 1985.

¹¹ Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares, abierta a la firma el 21 de mayo de 1963, en vigor desde el 12 de noviembre de 1977 (Convención de Viena).

Civil en Materia de Energía Nuclear (el Convenio de París) de 1960¹² y la Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares (la Convención sobre Indemnización Suplementaria) de 1997¹³ contienen reglas por las que se establece la exención de los reactores nucleares de embarcaciones, tanto si el reactor se utiliza para propulsar la embarcación como si se utiliza con cualquier otra finalidad. De acuerdo con las conclusiones del Grupo Internacional de Expertos sobre Responsabilidad por Daños Nucleares (INLEX) del OIEA, un órgano consultivo del Director General del OIEA, la exención no debe aplicarse a los SMR flotantes. En los comentarios actualizados sobre la Convención de Viena en su texto en vigor desde 1997 y sobre la Convención sobre Indemnización Suplementaria publicados por el OIEA en 2020¹⁴ se señala que una central nuclear transportada en una posición fija (concretamente, en el caso de una central de reactor flotante, esto significa anclada o amarrada a la costa y conectada a esta mediante cables eléctricos) se consideraría una “instalación nuclear” y, por ende, estaría sujeta a responsabilidad civil por daños nucleares. En este caso, el Estado (incluidas las aguas territoriales) en el cual sea explotado el reactor será el “Estado responsable de la central”.

De acuerdo con el punto de vista del INLEX sobre la responsabilidad por daños nucleares compartida durante el traslado de SMR flotantes, debe tenerse en cuenta que, con arreglo a la Convención de Viena, el transporte de esa instalación se consideraría transporte de material nuclear.

Por consiguiente, actualmente la Convención de Viena proporciona el escenario de mayor transparencia en lo que atañe a la ejecución de proyectos de SMR flotantes. Sin perjuicio de las disposiciones de la Convención de Viena con respecto a sus miembros, las cuestiones relativas a la responsabilidad civil por daños nucleares pueden puntualizarse en un acuerdo intergubernamental entre el país proveedor y el país receptor y, si fuese preciso, en acuerdos con los países de tránsito.

La mayoría de los países miembros atienden al punto de vista del INLEX. El consenso de los expertos a escala internacional es alentadoramente positivo en cuanto a las perspectivas de ejecución de proyectos piloto de SMR flotantes e indica un interés a nivel internacional en tales proyectos. El empleo de enfoques similares con respecto al Convenio de París podría consolidar el enfoque establecido y facilitar el desarrollo de proyectos de SMR flotantes.

¹² Convenio acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear, abierto a la firma el 29 de julio de 1960, en vigor desde el 1 de abril de 1968 (Convenio de París).

¹³ Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares, abierta a la firma el 29 de septiembre de 1997, en vigor desde el 15 de abril de 2015 (Convención sobre Indemnización Suplementaria).

¹⁴ IAEA 2020b.

3.7. INICIATIVAS DEL OIEA PARA EL ESTUDIO DEL APOYO JURÍDICO CON RESPECTO A LOS SMR FLOTANTES

El OIEA, comprendiendo la urgencia de la tarea de conformar enfoques comunes para el marco jurídico y regulador de los SMR flotantes, propuso a la comunidad de expertos discutir la problemática de la reglamentación del ciclo de vida de los SMR flotantes en el marco de diversos proyectos, además de hacerlo en la plataforma INLEX. Entre otras cosas, y bajo la coordinación del Departamento de Energía Nuclear, el OIEA está ejecutando un proyecto de SMR a nivel de todo el Organismo para abordar exhaustivamente las cuestiones derivadas del uso de esta tecnología. Además, existe también un grupo permanente dedicado a estudiar la problemática de los SMR.

En particular, en el marco del Proyecto Internacional sobre Ciclos del Combustible y Reactores Nucleares Innovadores (INPRO), desde 2011 han venido analizándose los aspectos jurídicos e institucionales de la ejecución de proyectos de SMR transportables en tierra firme, mar adentro y submarinos. Sobre la base de los resultados de la primera fase, en 2013 se publicó el informe titulado *Legal and Institutional Issues of Transportable Nuclear Power Plants: A Preliminary Study*, en el que se presenta un análisis multidimensional de nivel superior acerca de la ejecución de proyectos de SMR transportables. En la actualidad está culminándose la segunda fase de esos trabajos, en la que participan expertos de los Estados Unidos de América, Francia, el Canadá, la Federación de Rusia, Finlandia, Armenia, Rumania e Indonesia. Para 2022 se prevé publicar un estudio monográfico sobre el despliegue de un SMR con combustible de fábrica. La importancia de la segunda fase del proyecto radica en que las cuestiones que plantea la implantación del ciclo de vida se abordan de modo sistemático, no por separado, en relación con su influencia mutua.

A falta de experiencia práctica en la ejecución de proyectos basados en SMR de carácter transfronterizo, la labor para comprender las cuestiones que deberán resolver los países que participen en el proyecto se antoja relevante. Al mismo tiempo, puede que el proyecto real difiera considerablemente del proyecto teórico, y la experiencia adquirida durante la ejecución de proyectos piloto será la base sobre la cual seguir elaborando el marco jurídico para los proyectos de SMR. Las mejores prácticas de los proyectos ejecutados y de la puesta en servicio de distintos diseños de SMR servirá como base para establecer el marco jurídico y regulador de los SMR, incluidas las unidades de energía nucleoelectrónica flotantes.

Durante 2021, en diversos emplazamientos del OIEA se han examinado enfoques conceptuales de los requisitos de seguridad nuclear y radiológica para el transporte de diferentes diseños de SMR. Se está creando un grupo de trabajo *ad hoc* en el Comité sobre Normas de Seguridad en el Transporte del OIEA. Dicho grupo de trabajo examinará la relación entre los documentos del

OIEA, especialmente el Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos,¹⁵ y los documentos de derecho marítimo existentes, con la participación de la Organización Marítima Internacional. Los expertos implicados en esta labor deberán recurrir a enfoques intersectoriales para integrar el derecho marítimo y el derecho nuclear a fin de acordar la base de una cooperación eficaz.

3.8. CONCLUSIÓN

Históricamente, los marcos jurídicos van desfasados en relación con las tecnologías innovadoras y, en ocasiones, ese desfase cronológico puede durar decenas de años. Para posibilitar el despliegue de los SMR debe reducirse el desfase cronológico entre la conformación del marco jurídico y el desarrollo y despliegue de la tecnología. El ritmo y la intensidad de la labor relativa al marco jurídico y regulador internacional deben intensificarse.

La situación provocada por la COVID-19 ha demostrado la importancia del suministro constante de electricidad para la prevención de las enfermedades, desde proporcionar electricidad y agua limpia a las instalaciones médicas para garantizar la higiene necesaria, hasta prestar servicios de comunicaciones y tecnología de la información. Nunca como en este caso hubiese sido más pertinente desarrollar reactores SMR.

Actualmente, el marco jurídico internacional no prohíbe los proyectos de SMR innovadores. Al mismo tiempo, la falta de experiencia internacional en la ejecución de proyectos de SMR transportables imposibilita la creación de un marco jurídico y regulador internacional minucioso, como el que ya existe para las centrales nucleares convencionales de alta potencia. En este sentido, los proyectos piloto requerirán acuerdos básicos y modificaciones de los convenios fundamentales que hagan extensivos a los SMR flotantes esos requisitos, reglas y procedimientos ya instituidos para garantizar la seguridad. La descripción minuciosa puede hacerse en el marco de acuerdos intergubernamentales, que habrán de tener en cuenta los aspectos específicos de proyectos piloto únicos. Las mejores prácticas constituirán la base del marco jurídico y reglamentario de los SMR en las próximas fases de desarrollo de proyectos.

La iniciativa del OIEA de convocar la primera conferencia de derecho nuclear es sumamente oportuna. La conferencia del OIEA puede servir de plataforma para intercambiar experiencias y opiniones a fin de determinar los problemas coyunturales del desarrollo de fuentes de energía innovadoras. Es importante que los resultados de la conferencia sean reflejados en un plan de acción práctica en las esferas de cooperación internacional necesarias.

¹⁵ 2018.

ROSATOM, con toda su experiencia en materia de energía nucleoelectrónica, está preparada para seguir trabajando en la puesta al día de los códigos internacionales para garantizar la estabilidad de la ejecución de los proyectos de SMR.

REFERENCIAS

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1972) *Estructura y Contenido de los Acuerdos entre los Estados y el Organismo Requeridos en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares*, INFCIRC/153. <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1972/infcirc153.pdf>. Consultado el 6 de septiembre de 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1985) *Texto del Acuerdo de 21 de Febrero de 1985 entre la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas y el Organismo para la Aplicación de Salvaguardias en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas*, INFCIRC/327. <https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc327.pdf>. Consultado el 6 de septiembre de 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2018) *Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSR-6 (Rev. 1)*, OIEA, Viena.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020a) *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments. A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition*. https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf. Accessed 6 September 2021
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020b) *The 1997 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage and the 1997 Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage—Explanatory Texts*, International Law Series No. 3 (Rev.2), IAEA, Vienna.
- Organización Marítima Internacional (OMI) (1981) *Código de Seguridad para Buques Mercantes Nucleares, Res. A.491(XII)*. [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.491\(12\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.491(12).pdf). Consultado el 6 de septiembre de 2021
- Asamblea General de las Naciones Unidas (2015) *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, A/RES/70/1. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=Eh. Consultado el 6 de septiembre de 2021

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

4. HITOS DEL DERECHO NUCLEAR: UN VIAJE POR LA REGLAMENTACIÓN NUCLEAR

Stephen Burns

Resumen La elaboración del marco jurídico nuclear ha sido un viaje interesante que muestra un compromiso por abordar los aspectos clave de los usos pacíficos de la energía nuclear con una variedad de enfoques, recurriendo tanto a tratados y convenciones vinculantes como a códigos y orientaciones no vinculantes. Este complejo marco de instrumentos de derecho imperativo e indicativo se ha elaborado en respuesta a sucesos que exigían medidas. El desarrollo futuro del ordenamiento jurídico se verá favorecido por una mayor armonización y el compromiso de garantizar que las instituciones internacionales y nacionales sean transparentes y estén dispuestas a entablar una interacción constructiva con las partes interesadas. Los asesores jurídicos seguirán desempeñando un cometido importante a la hora de ayudar a los encargados de formular políticas y a los expertos técnicos a adoptar enfoques integrales y eficaces para seguir desarrollando el marco de la energía nuclear y su reglamentación. En esas deliberaciones habría que destacar una serie de elementos clave. Este capítulo señala como esos elementos la confianza de las partes interesadas, una sólida capacidad institucional y la integración de los instrumentos y las normas internacionales en los ordenamientos nacionales.

Palabras clave Asesores jurídicos • Códigos y orientaciones no vinculantes • Derecho imperativo • Derecho indicativo • Principio de autorización • Reglamentación nuclear • Seguridad tecnológica y física • Tratados y convenciones vinculantes • Usos pacíficos de la energía nuclear

4.1. INTRODUCCIÓN

La convocatoria en Viena de la Primera Conferencia Internacional sobre Derecho Nuclear — Debate Mundial, por parte del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), ofrece la oportunidad de reflexionar sobre cómo ha evolucionado el derecho nuclear desde que, en diciembre de 1953, el Presidente Eisenhower pronunciara el discurso “Átomos para la paz” ante la Asamblea General de las Naciones Unidas. El discurso de Eisenhower planteó la idea de dedicar la tecnología nuclear a fines pacíficos y puede considerarse el inspirador de la creación del OIEA en 1957. Desde entonces, el derecho nuclear ha evolucionado en torno a conceptos amplios de seguridad tecnológica, seguridad

física y salvaguardias, y podemos decir que, en los últimos años, se ha adoptado un enfoque más reflexivo en la integración de estos conceptos entre sí. Como indica el *Manual de derecho nuclear*,¹ el derecho nuclear, tal y como se ha formulado y aplicado a través de los ordenamientos nacionales e internacionales, puede verse marcado por una serie de principios.²

Mi propio viaje por la reglamentación nuclear comenzó al terminar la carrera de Derecho en 1978, poco antes del accidente de Three Mile Island, cuando empecé a trabajar como jurista en la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos (NRC). A lo largo de los años, participé en el amplio espectro de cuestiones de seguridad tecnológica y física que se presentaron ante la Comisión. Mi cometido como jurista consistía en asesorar y representar al personal técnico de la NRC en asuntos relacionados con el establecimiento de normas, la concesión de licencias y la inspección y supervisión de las instalaciones de energía nucleoelectrónica y de los materiales radiactivos. En gran medida, ha sido en los últimos 20 años cuando me he dedicado primordialmente a los aspectos internacionales del derecho y la reglamentación nucleares, como asesor principal de la NRC, más tarde como jefe de la Oficina de Asuntos Jurídicos de la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (AEN de la OCDE) y luego como Comisionado y Presidente de la NRC. En este capítulo pretendo abordar una serie de características del derecho nuclear, sobre todo en la medida en que han configurado el marco de la reglamentación, para examinar después el contexto de la prestación de asesoramiento jurídico y la consecución de una buena reglamentación y, por último, reflexionar sobre los retos que nos esperan.

4.2. REGLAMENTACIÓN NUCLEAR: CARACTERÍSTICAS Y TENSIONES

4.2.1. Las actividades nucleares nacen reguladas

Una característica interesante de las actividades nucleares y de la industria nuclear es que se regularon desde su origen. Aunque el descubrimiento de los rayos X y el radio no dio lugar a reglamentos más sistemáticos hasta mucho después de su uso inicial en aplicaciones médicas y de otra índole, el desarrollo de la energía nuclear y el acceso a los materiales nucleares estuvieron controlados

¹ Stoiber *et al.* 2003.

² Esos principios son: seguridad tecnológica, seguridad física, responsabilidad, autorización, control continuo, compensación, desarrollo sostenible, cumplimiento, independencia, transparencia y cooperación internacional.

por las autoridades gubernamentales desde el principio. Este planteamiento refleja la tensión existente entre el deseo de evitar los usos de estos materiales en la producción de armas y el de promover el desarrollo de los usos pacíficos. El Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) materializa estos principios en sus objetivos de frenar la expansión de los Estados poseedores de armas nucleares y promover el desarme, permitiendo al mismo tiempo el acceso a equipos, materiales e información para los usos pacíficos de la energía nuclear.³

Así, para utilizar materiales fisibles y fuentes radiactivas o para explotar instalaciones nucleares se requiere algún tipo de autorización o licencia de la autoridad nacional responsable. El requerir un permiso para el acceso a materiales e instalaciones radiactivas constituye el *principio de autorización* del derecho nuclear.⁴ Como ya se ha señalado, el sistema actual consta de una compleja red de legislación y orientaciones basadas en los principios básicos de la seguridad tecnológica, la seguridad física y las salvaguardias, cuyos ejes centrales son la protección radiológica, la gestión de desechos radiactivos y la clausura, el transporte, la preparación y respuesta para casos de emergencia, la protección del medio ambiente, la responsabilidad civil y la indemnización, y el comercio internacional.⁵

4.2.2. Un marco construido sobre el derecho imperativo y el derecho indicativo

Como era de esperar, el marco de la reglamentación nuclear consta de instrumentos tanto internacionales como nacionales. Es igualmente característico que la reglamentación se base tanto en tratados y convenios vinculantes como en orientaciones e instrumentos no vinculantes formulados por la comunidad internacional. La diferencia entre los instrumentos vinculantes y los no vinculantes suele describirse como una distinción entre derecho imperativo y derecho indicativo. Por ejemplo, la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN) y su Enmienda de 2005 son ejemplos de instrumentos de derecho imperativo que estipulan ciertas obligaciones con respecto a la seguridad física que las partes contratantes acuerdan aplicar en

³ El Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) se abrió a la firma el 1 de julio de 1968 y entró en vigor el 5 de marzo de 1970.

⁴ Stoiber *et al.* 2003, pág. 7.

⁵ AEN de la OCDE 2021, anexo 1; <https://www.iaea.org/resources/treaties/compendium-of-legal-instruments>. Consultado el 27 de septiembre de 2021.

sus programas nacionales y en su marco jurídico.⁶ En cambio, el Código de Conducta del OIEA sobre la Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas de 2004 es un código no vinculante en el que se insta a los Estados a adoptar el compromiso político de alcanzar un alto nivel de seguridad física para controlar las fuentes radiactivas a fin de evitar su pérdida, acceso no autorizado o transferencia ilegal y mitigar los daños derivados de posibles usos dolosos, entre otros objetivos.⁷ Con todo, aunque se considere que los términos de un tratado o convención establecen requisitos y obligaciones vinculantes, las recomendaciones y las orientaciones que dimanan de los organismos internacionales “al no ser formalmente vinculantes, deben ser tenidas en cuenta por el Estado en cuanto sean pertinentes, para que las normas internas y las medidas que adopte sean compatibles con dichas directrices y recomendaciones (‘con adecuación a ellas’).”⁸

La elaboración de orientaciones y normas puede aportar mayor precisión a los medios para lograr los objetivos de seguridad tecnológica y física en las aplicaciones nucleares. Por ejemplo, en consonancia con su mandato (artículo III.A.6 del Estatuto),⁹ el OIEA está facultado para establecer o adoptar “normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad”. El OIEA ha establecido normas de seguridad, reflejadas en los Principios fundamentales de seguridad, los Requisitos de seguridad generales y específicos y las Guías de seguridad, que “reflejan un consenso internacional sobre lo que constituye un alto grado de seguridad para proteger a la población y el medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación ionizante”.¹⁰ Los Principios fundamentales de seguridad abarcan las Normas básicas de seguridad que se elaboraron inicialmente en 1960 y que ahora patrocinan ocho organizaciones internacionales, entre ellas, el OIEA.¹¹ Las Normas básicas de

⁶ Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, abierta a la firma el 3 de marzo de 1980, que entró en vigor el 8 de febrero de 1987 (CPFMN); Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, que entró en vigor el 8 de mayo de 2016 (Enmienda de la CPFMN).

⁷ OIEA 2004.

⁸ Corte Internacional de Justicia, causa relativa a las plantas de celulosa en el río Uruguay (Argentina contra Uruguay), fallo de 20 de abril de 2010, Informes de la CIJ 2010, pág. 45.

⁹ OIEA 1989.

¹⁰ <https://www.iaea.org/resources/rpop/resources/international-safety-standards/about-iaea-safety-standards>. Consultado el 27 de septiembre de 2021.

¹¹ Comisión Europea, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organismo Internacional de Energía Atómica, Organización Internacional del Trabajo, Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, Organización Panamericana de la Salud, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Organización Mundial de la Salud. Véase OIEA 2014.

seguridad siguen fundamentándose en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica.

También cabe señalar que dichas orientaciones y normas no vinculantes se recogen en varias convenciones o las orientan. Por ejemplo, la CPFMN tiene sus raíces en normas no vinculantes dedicadas a la seguridad física y su Enmienda también se asienta en los Principios fundamentales de seguridad.¹² Pese a que los esfuerzos por establecer convenciones en materia de notificación y asistencia en caso de emergencia no fructificaron hasta después del accidente de 1986 en la central nuclear de Chernóbil, las orientaciones elaboradas tras el accidente de Three Mile Island en 1979 sirvieron de base para la negociación de las dos convenciones adoptadas en 1986.¹³ La Convención sobre Seguridad Nuclear hace referencia en su preámbulo a “un compromiso para la aplicación de principios fundamentales de seguridad a las instalaciones nucleares en lugar de normas detalladas de seguridad, y que existen directrices de seguridad formuladas en el plano internacional, que se actualizan cada cierto tiempo y pueden, por tanto, ofrecer orientación sobre los medios modernos de conseguir un alto grado de seguridad”.¹⁴ Del mismo modo, la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos (Convención Conjunta) invoca las Normas básicas de seguridad y los Principios del OIEA para la gestión de desechos radiactivos en su preámbulo, y también se vale del Código de Práctica sobre movimientos internacionales transfronterizos de desechos radiactivos en sus disposiciones sobre la materia.¹⁵

Tanto si se trata de instrumentos de derecho imperativo como si son de derecho indicativo, las obligaciones o compromisos recogidos en el instrumento de que se trate se adoptan en el marco regulador nacional, de conformidad con la constitución y el ordenamiento jurídico del Estado, y se declaran idóneos en el régimen de concesión de licencias y en las normas reguladoras administradas por la autoridad nacional responsable. La autoridad reguladora puede publicar

¹² Lamm 2017.

¹³ Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares, abierta a la firma el 26 de septiembre de 1986 (Viena) y el 6 de octubre de 1986 (Nueva York), que entró en vigor el 27 de octubre de 1986 (Convención sobre Pronta Notificación); Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica, abierta a la firma el 26 de septiembre de 1986 (Viena) y el 6 de octubre de 1986 (Nueva York), que entró en vigor el 26 de febrero de 1987 (Convención sobre Asistencia); OIEA 1984, 1985.

¹⁴ Párrafo viii del preámbulo de la Convención sobre Seguridad Nuclear, abierta a la firma el 20 de septiembre de 1994, que entró en vigor el 24 de octubre de 1996.

¹⁵ Párrafo xiv del preámbulo y artículo 27 de la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos, abierta a la firma el 29 de septiembre de 1997, que entró en vigor el 18 de junio de 2001 (Convención Conjunta); Wetherall 2005.

orientaciones ulteriores sobre la aplicación de las obligaciones y requisitos reglamentarios relacionados con la licencia, que también pueden tener en cuenta orientaciones consensuadas con el patrocinio industrial. Por ejemplo, los Estados Unidos de América asumieron un compromiso político con el Código de Conducta sobre la Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas. La Ley de Política Energética de 2005 de los Estados Unidos, en su artículo 170h (42 USC 2210h) sobre protección de las fuentes de radiación, adoptó los postulados centrales del Código y ordenó a la NRC, como regulador nacional, que promulgara requisitos conformes aplicables a sus licenciarios y a los licenciarios de los distintos estados en el marco del programa de acuerdos estatales de la NRC. La NRC emitió órdenes a sus licenciarios, a las que finalmente siguió la promulgación de un reglamento (parte 37 del código 10 del Código de Regulaciones Federales) sobre la protección física de las cantidades de categoría 1 y 2 de materiales radiactivos, para reforzar los requisitos vigentes sobre seguridad física y control,¹⁶ y la publicación de orientaciones ulteriores para la aplicación del reglamento.¹⁷

4.2.3. El derecho nuclear suele ser más reactivo que proactivo

En general, puede decirse que el derecho nuclear es más bien reactivo en lo que se refiere a su elaboración, y no tan anticipatorio en el establecimiento de su marco. Puede decirse que esta caracterización se debe a una serie de razones: el alcance de la voluntad política y de la visión de futuro en el establecimiento del marco, el ritmo de los descubrimientos e innovaciones en el ámbito tecnológico que aventaja al de la formulación de las normas jurídicas y el impacto en el marco jurídico de sucesos importantes. Sin duda, los marcos, tanto internacionales como nacionales, han tratado de anticiparse para perfilar los parámetros dentro de los que podrían crecer los usos pacíficos de la energía nuclear.

El Estatuto del OIEA, por ejemplo, establece el marco destinado a evitar la proliferación de las armas nucleares al tiempo que permite el desarrollo de los usos pacíficos de la tecnología nuclear. Con el establecimiento del OIEA, el Estatuto proporciona una estructura organizativa a través de la cual lograr esos objetivos en el futuro. El marco de responsabilidad civil e indemnización por daños nucleares surgió en previsión de la necesidad de garantizar una indemnización adecuada por los daños ocasionados a personas y propiedades como consecuencia de un accidente nuclear, así como del deseo de fomentar el

¹⁶ Comisión Reguladora Nuclear 2013a.

¹⁷ Comisión Reguladora Nuclear 2013b. A principios de 2019 se propuso una segunda revisión del documento de orientación.

desarrollo de la tecnología nuclear por parte de una industria incipiente.¹⁸ La atención prestada al establecimiento de un régimen de responsabilidad a finales de los años 50 y principios de los 60 condujo inicialmente a la adopción en 1960 del Convenio de París acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear bajo los auspicios de la AEN de la OCDE y, posteriormente, en 1963, a la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares bajo los auspicios del OIEA.¹⁹

Ciertamente, a nivel nacional, los Estados debían instituir desde el principio el marco que regulase el establecimiento de instalaciones nucleares y los usos autorizados de materiales radiactivos. Si tomamos las primeras experiencias de los Estados Unidos de América, la Ley N° 83-703, de 1954, de Energía Atómica fue la legislación fundamental que autorizó el desarrollo civil de las instalaciones nucleares. El artículo 161b de la Ley implantaba un proceso de autorización en el que las actividades reguladas podían ser aprobadas de conformidad con las normas y reglamentos apropiados que la entonces Comisión de Energía Atómica considerara “necesarios o aconsejables para fomentar la defensa y la seguridad física comunes o para proteger la salud o reducir al mínimo el peligro para la vida o la propiedad”. En su primer reglamento, esta Comisión permitía aprobar la construcción de una central nuclear aun cuando se requirieran evaluaciones y estudios técnicos adicionales, siempre que las decisiones finales sobre seguridad se tomaran antes de la autorización de explotación de la instalación. El planteamiento suscitó cierta oposición, pero sobrevivió finalmente a su impugnación ante el Tribunal Supremo de los Estados Unidos.²⁰ Las primeras experiencias con la legislación y el reglamento ilustran los escollos que pueden surgir al intentar establecer requisitos a medida que se desarrollan las nuevas tecnologías.

No obstante, si bien algunos aspectos del derecho nuclear han intentado aplicar la previsión en su desarrollo y marco, puede decirse que gran parte de nuestra experiencia procede de la reacción a acontecimientos importantes o a perturbaciones del entorno. Esto ha condicionado tanto el régimen de seguridad física como el de seguridad tecnológica. Los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001 en los Estados Unidos de América hicieron que la atención

¹⁸ Schwartz 2010.

¹⁹ Convenio de París acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear, abierto a la firma el 29 de julio de 1960, que entró en vigor el 1 de abril de 1968 (Convenio de París); Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares, abierta a la firma el 21 de mayo de 1963, que entró en vigor el 12 de noviembre de 1977 (Convención de Viena); desde su adopción inicial han entrado en vigor sendos protocolos adicionales que modifican estos instrumentos.

²⁰ Tribunal Supremo de los Estados Unidos (1961), *Power Reactor Development Corp. contra International Union of Electrical, Radio and Machine Workers* (367 US 396, 407).

se centrare en las amenazas para la seguridad física nuclear, lo que llevó a que, en 2010, se hubiesen aprobado cinco de los siete instrumentos jurídicos relacionados con la seguridad física nuclear que constituyen el marco de la lucha contra el terrorismo.²¹ Entre los nuevos instrumentos, figuran la Enmienda de la CPFMN,²² así como el Convenio Internacional para la Represión de los Actos de Terrorismo Nuclear (ICSANT)²³ y los instrumentos adoptados bajo los auspicios de la Organización Marítima Internacional y la Organización de Aviación Civil Internacional.²⁴ El Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas adoptó, además, las resoluciones 1373 (2001) sobre amenazas a la paz y la seguridad internacionales causadas por actos terroristas y 1540 (2004) sobre no proliferación de las armas de destrucción en masa, que complementan el marco.

La respuesta a los atentados terroristas de septiembre de 2001 también condujo a una reevaluación del Código de Conducta sobre la Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas, un instrumento no vinculante. El propio Código había surgido después de que se incrementase la atención prestada a la seguridad física y tecnológica de las fuentes en la década de 1990, sobre todo en vista de los accidentes acaecidos, causantes de varias muertes, como el de Goiânia (Brasil) en 1987, y ante la sensación de que el régimen de control de las fuentes de varios países era inadecuado. Una conferencia del OIEA sobre el tema, celebrada en Dijon en 1998, contribuyó a la elaboración del Código, que se aprobó finalmente en septiembre de 2000.²⁵ Sin embargo, fueron los sucesos de septiembre de 2001 los que suscitaron la posibilidad de asegurar dicho material contra la desviación o el uso con fines dolosos, como en un dispositivo de dispersión radiactiva. Tras un examen ulterior del Código por parte de expertos técnicos y jurídicos y un debate en una conferencia celebrada en Viena a principios de 2003, el Código revisado se aprobó en septiembre de 2003 con los objetivos de proporcionar un alto grado de seguridad física y tecnológica para “prevenir el acceso no autorizado o el daño a fuentes radiactivas y la pérdida, robo o traslado no autorizado de esas fuentes, a fin de reducir la probabilidad de una exposición accidental nociva a ellas o su utilización con fines dolosos para causar daños a las personas, la sociedad o el medio ambiente” y para “mitigar o reducir al mínimo las consecuencias radiológicas de accidentes o actos dolosos relacionados con una fuente radiactiva”.²⁶

²¹ Wetherall 2016, pág. 42.

²² Enmienda de la CPFMN, nota 6.

²³ Convenio Internacional para la Represión de los Actos de Terrorismo Nuclear, abierto a la firma el 14 de septiembre de 2005, que entró en vigor el 7 de julio de 2007 (ICSANT).

²⁴ *Ibid.*, pág. 18.

²⁵ OIEA 1999.

²⁶ OIEA 2003.

Quizás el ejemplo más dramático de la naturaleza reactiva de la elaboración del derecho nuclear internacional sea la aparición del marco de seguridad tras el accidente de 1986 en la central nuclear de Chernóbil en Ucrania, entonces parte de la Unión Soviética.²⁷ Chernóbil sigue siendo el accidente más importante ocurrido en una instalación nuclear, sobre todo en lo referido a muertes provocadas y efectos transfronterizos. En una época anterior al amplio uso público de Internet y de los medios sociales, el suceso no se conoció ni se comprendió hasta varios días después. Antes del accidente, no existían tratados o convenciones internacionales ampliamente vinculantes que abordaran la notificación y la asistencia en casos de emergencia o la seguridad de las instalaciones nucleares. A los pocos meses del accidente, se negociaron la Convención sobre Pronta Notificación y la Convención sobre Asistencia, que entraron en vigor en octubre de 1986 y febrero de 1987, respectivamente. Como ya se ha señalado, la elaboración previa de documentos de orientación sobre la notificación y la asistencia en los años posteriores al accidente de la central nuclear de Three Mile Island contribuyó a la rápida negociación de las convenciones, y también lo hizo el aplazamiento del debate de mayor dificultad sobre la forma y el alcance que podría adoptar un instrumento que abordara la seguridad de las instalaciones nucleares.

Aunque la labor para lograr una convención sobre seguridad languideció durante varios años, los miembros de la Comunidad Europea propusieron finalmente, en 1990, convocar una conferencia que se celebraría el año siguiente a fin de estudiar la situación de la seguridad nuclear y recomendar medidas futuras.²⁸ La Conferencia General del OIEA de 1990 aprobó la propuesta y la conferencia extraordinaria se celebró a principios de septiembre de 1991. A finales de ese mes, con el informe de las actas en la mano, la Conferencia General inició los pasos que finalmente darían lugar a la elaboración de un proyecto de texto de convención. El Grupo de Expertos sobre una Convención sobre Seguridad Nuclear, de composición abierta, se reunió en siete ocasiones entre mayo de 1992 y febrero de 1994 para dar forma al texto que se presentó ante la conferencia diplomática celebrada en junio de 1994. La Convención se abrió a la firma en septiembre de 1994 y entró en vigor en octubre de 1996. El examen de una convención sobre la gestión segura de los desechos se aplazó, pero, tal como se prometía en el preámbulo (ix) de la Convención sobre Seguridad Nuclear, la labor relacionada con dicha convención se reanudó y, finalmente, llevó a la adopción de la Convención Conjunta en 1997. Tanto la Convención sobre Seguridad Nuclear como la Convención Conjunta se caracterizan por ser convenciones incentivadoras, por las que se anima a los Estados a reforzar la seguridad dentro de sus programas nacionales y a participar en el mecanismo

²⁷ Burns 2018.

²⁸ Jankowitsch 1994.

de examen por homólogos previsto a través de las reuniones periódicas de los Estados parte en la convención. Al evaluar la eficacia de las convenciones, el debate se ha centrado en contraponer la adopción de principios generales de seguridad a las normas específicas, el énfasis en la responsabilidad del Estado a un sistema más internacional y el enfoque de incentivos al de sanciones en virtud de las convenciones.²⁹

También cabe destacar el impacto del accidente de Chernóbil en el régimen de responsabilidad por daños nucleares. Las primeras convenciones en materia de responsabilidad por daños nucleares se adoptaron a principios de la década de 1960 bajo los auspicios de la AEN de la OCDE y el OIEA y, como se ha señalado anteriormente, podrían considerarse proactivas en términos del establecimiento del marco para abordar la responsabilidad por daños. Pese a ello, los instrumentos habían languidecido en algunos aspectos. En el momento del accidente, la Convención de Viena contaba con un número limitado de Partes, y solo dos poseían centrales nucleares en funcionamiento; ningún país del antiguo bloque soviético era Parte en la Convención. Además, las iniciativas anteriores para vincular la Convención de Viena y el Convenio de París se habían estancado. En este contexto, los efectos transfronterizos de Chernóbil impulsaron iniciativas para mejorar las convenciones y lograr una mayor armonización entre los instrumentos existentes. En 1988 se negoció el Protocolo Conjunto que vincula el Convenio de París y la Convención de Viena sobre la responsabilidad civil por daños nucleares.³⁰ Las negociaciones posteriores condujeron en 1997 a propuestas de revisión tanto de la Convención de Viena como de una nueva Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares; las Partes en el Convenio de París y en el Convenio complementario de Bruselas concluyeron las negociaciones para su revisión en 2004.³¹ A pesar del impulso que supuso el accidente de Chernóbil en el análisis y mejora del régimen de responsabilidad civil, los cambios en los regímenes han tardado algún tiempo en materializarse, como demuestra que la Convención sobre Indemnización

²⁹ Pelzer 2010, pág. 88.

³⁰ Protocolo Común relativo a la Aplicación de la Convención de Viena y del Convenio de París, abierto a la firma el 21 de septiembre de 1988, en vigor desde el 27 de abril de 1992 (Protocolo Común).

³¹ Protocolo de Enmienda de la Convención de Viena de 1963 sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares, abierto a la firma el 29 de septiembre de 1997, que entró en vigor el 4 de octubre de 2003 (Protocolo de Viena de 1997); Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares, abierta a la firma el 29 de septiembre de 1997, que entró en vigor el 15 de abril de 2015 (Convención sobre Indemnización Suplementaria); Protocolo que modifica el Convenio de París acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear, abierto a la firma el 12 de febrero de 2004, que entró en vigor el 1 de enero de 2004 (Protocolo de 2004 que modifica el Convenio de París).

Suplementaria y los protocolos de París y Bruselas de 2004 no entrasen en vigor hasta 2015 y 2022, respectivamente.

4.3. PREPARARSE PARA LOS DESAFÍOS EN MATERIA DE REGLAMENTACIÓN

4.3.1. Integración de la asistencia jurídica y técnica

En la primera parte de este capítulo se han estudiado algunas características y tensiones reflejadas en el marco regulador internacional en materia nuclear. Al abordar la dirección futura del derecho nuclear, cabe mencionar la contribución de los asesores jurídicos a la solidez de la formulación y administración de las políticas y las prácticas relacionadas con los usos pacíficos de la energía y los materiales nucleares. Los asesores jurídicos desempeñan un importante cometido tanto en el plano internacional como en el nacional. El OIEA celebró en 2019 una reunión sobre la función de los asesores jurídicos en los órganos reguladores, en la que tuve el placer de participar.³² Aunque se centró específicamente en la tarea del asesor en las organizaciones reguladoras nacionales, los debates tuvieron una relevancia más amplia para los distintos aspectos de la asistencia jurídica.

La reunión contó con la participación de representantes de perfil jurídico y técnico de unos 24 Estados Miembros y personal del OIEA. Los países de origen de los participantes comprendían un conjunto diverso de Estados Miembros en diferentes estadios del espectro de las actividades nucleares, desde países con programas maduros con instalaciones nucleares en funcionamiento, hasta otros centrados únicamente en la protección radiológica y la seguridad física de las fuentes radiactivas, pasando por los que estaban poniendo en marcha programas de energía nuclear. La asistencia jurídica se prestó de distintas formas. Algunos miembros del personal jurídico estaban empleados en la propia organización reguladora, mientras que otros asesores trabajaban en el Ministerio de Justicia y su función era proporcionar asesoramiento o representación jurídica a los organismos gubernamentales especializados en la reglamentación nuclear y actividades conexas.

En términos generales, los asesores jurídicos contribuyen al proceso de adopción y aplicación por parte de un Estado de los instrumentos jurídicos internacionales, así como del marco jurídico y regulador nacional, a la presentación de informes en virtud de obligaciones internacionales y

³² <https://www.iaea.org/newscenter/news/providing-legal-support-to-the-regulatory-body-first-meeting-of-legal-advisers-held-in-vienna>. Consultado el 27 de septiembre de 2021.

a la ejecución de las funciones de autorización, inspección, supervisión y aplicación de las leyes y reglamentos previstos en el ordenamiento nacional.³³ Más concretamente, los asesores jurídicos pueden ayudar a redactar los textos legislativos básicos y las correspondientes políticas gubernamentales. Con respecto al sistema reglamentario, el asesor jurídico puede ayudar a elaborar la normativa y las orientaciones correspondientes para garantizar su conformidad con la legislación vigente y su eficacia como normas coherentes y aplicables. Además, los asesores jurídicos pueden prestar apoyo al proceso de autorización asesorando sobre la coherencia entre las decisiones propuestas y los requisitos reglamentarios aplicables. El asesoramiento jurídico también es fundamental a la hora de evaluar las medidas coercitivas propuestas. Dado que las decisiones tomadas por parte del organismo gubernamental responsable pueden recurrirse en procedimientos judiciales o administrativos, es fundamental contar con una representación jurídica. Los recursos suelen referirse a autorizaciones de actividades nucleares o a cuestiones coercitivas, pero también pueden estar relacionados con procesos relativos a la instauración de normas o a exámenes medioambientales. Los asesores jurídicos también pueden ser de ayuda en la participación de las partes interesadas y la distribución de información al público.

Es especialmente importante comprender que los asesores jurídicos no son los únicos que contribuyen a la legislación y la reglamentación nucleares en los ámbitos internacional o nacional. Los asesores jurídicos deben trabajar en estrecha colaboración con los encargados de formular las políticas y con los expertos técnicos para instaurar un marco eficaz y establecer normas integrales y significativas que aborden los objetivos primordiales de seguridad tecnológica, seguridad física y salvaguardias. La base del marco del derecho nuclear se construye sobre la síntesis de los principios y objetivos técnicos y jurídicos. Los expertos jurídicos y los técnicos deben establecer una comunicación y cooperación eficaces. En consecuencia, como se debatió en el taller de 2019, centrarse en los siguientes objetivos debería mejorar la integración de los aspectos jurídicos y técnicos del derecho nuclear, en particular, en la aplicación del régimen de reglamentación:

- a) Garantizar que los expertos jurídicos y técnicos compartan un lenguaje común (los juristas tienden a centrarse en los procesos mientras que los expertos técnicos se concentran en el contenido científico) y la apreciación y comprensión mutuas de sus funciones respectivas.
- b) Garantizar que los expertos técnicos comprendan los requisitos jurídicos pertinentes para el desempeño de las funciones reguladoras respectivas, y a la inversa.

³³ OIEA 2018, párrs. 4.27 a 4.30, págs. 25 y 26.

- c) Garantizar que se conozca la función de apoyo del asesor jurídico y el proceso para su obtención.
- d) Garantizar que los expertos técnicos comprendan el asesoramiento jurídico y reconozcan su importancia.
- e) Garantizar que los expertos jurídicos comprendan la información técnica para no desproveer al asesoramiento jurídico del sentido técnico.
- f) Garantizar que el asesoramiento jurídico traduzca o articule en un lenguaje general la información técnica de forma adecuada y clara.³⁴

Reconocer la importancia de una colaboración eficaz entre expertos jurídicos y técnicos es fundamental para el éxito de las instituciones encargadas de aplicar el marco de control nacional e internacional (es decir, la reglamentación de los usos pacíficos de la energía nuclear). Como dijo el expresidente de la NRC, Nils J. Diaz, “la reglamentación nuclear es una compleja construcción técnico-jurídica que requiere un examen y una gestión constantes, incluso al margen de las cuestiones sociopolíticas”.³⁵

4.3.2. Elaboración de una reglamentación eficaz

Como se ha señalado anteriormente en este capítulo, el uso de materiales e instalaciones nucleares está sujeto a un amplio sistema de reglamentación administrado por las instituciones responsables, que es reflejo del principio de autorización del derecho nuclear para garantizar la seguridad física, la seguridad tecnológica y la rendición de cuentas. Las fuentes de dichas normas quedan reflejadas en los instrumentos, orientaciones y normas internacionales, en las leyes y reglamentos nacionales e incluso en los códigos y normas industriales adoptados por consenso.

Aunque las instituciones gubernamentales son quienes responden en última instancia ante las leyes y los sistemas políticos de sus respectivos países y los instrumentos internacionales aplicables, siempre deben procurar que la toma de decisiones y la adopción de medidas se cimienten en el sólido criterio científico y técnico con el que se comprometieron en su creación. Además, el regulador debe mostrarse sistemáticamente claro y transparente con sus interlocutores para demostrar que no existen influencias indebidas. Como se indica en las convenciones sobre seguridad, el regulador debe tener, además de competencia técnica, una financiación adecuada y sostenible que pruebe la continuidad de su

³⁴ OIEA 2020, anexo 3, pág. 16.

³⁵ Diaz 2004.

fiabilidad, y lo ideal sería que también mantuviera una interacción continua con sus homólogos de todo el mundo y contara con el apoyo de estos.³⁶

La cultura y la historia pueden influir (e influirán) en la percepción y aceptación públicas de todo régimen de reglamentación, lo que puede suponer un desafío en algunos casos. En última instancia, sin embargo, sea cual sea el país, la cultura, la historia o la situación del desarrollo de la energía nuclear, la confianza pública es un *sine qua non* y recae en el regulador la responsabilidad de cultivar y mantener esa confianza. La infundirá si sus decisiones se toman de forma abierta, explicando sus conclusiones y considerando cuidadosamente muchas opiniones y aportaciones variadas antes de tomarlas, y puede fortalecerla evaluando constantemente la idoneidad de la seguridad tecnológica y física sobre la base de la experiencia y el análisis, y realizando una evaluación informada del riesgo.

Antes de comenzar su labor en el Tribunal Supremo de los Estados Unidos, el magistrado Stephen Breyer escribió un libro sobre el tema del riesgo y la reglamentación.³⁷ El magistrado señalaba que los reguladores suelen tener un trabajo que consta de dos partes: la evaluación del riesgo (es decir, medirlo) y su gestión (esto es, determinar qué vamos a hacer al respecto). En la parte de la ecuación correspondiente a la evaluación del riesgo, las decisiones se basan en la probabilidad y las consecuencias de un suceso. En cuanto a la parte de la gestión, los reguladores utilizarán su amplia discreción para demostrar una toma de decisiones predecible y estable. El libro de Breyer subraya que la población suele evaluar los riesgos de modos radicalmente distintos a como lo hacen los expertos, y escribe: “Cuando tratamos los riesgos pequeños, moderados y grandes de formas demasiado parecidas, empezamos a parecernos a Pedro el del lobo”.³⁸ Por lo tanto, el desafío consiste en buscar la justa vía media entre la infrarregulación y la sobrerregulación.

El arte y la ciencia de una reglamentación efectiva pueden describirse, tomando el título del libro del profesor Malcolm Sparrow sobre el tema, como la “artesanía de la reglamentación”.³⁹ En el ámbito de la seguridad nuclear, por ejemplo, el regulador refuerza la confianza evaluando constantemente cuál es el nivel suficiente de seguridad sobre la base de la experiencia y el análisis, y de una evaluación informada del riesgo. Los reguladores no deben ser ni demasiado laxos ni demasiado estrictos, ni estar tan aislados que acaben tomando decisiones en el vacío. Se puede perseguir una regulación eficaz sin imponer cargas excesivas ni ahogar la innovación. Hay que fijar límites, pero estos deberían permitir, por

³⁶ Convención sobre Seguridad Nuclear, nota 14, artículo 8; Convención Conjunta, nota 15.

³⁷ Breyer 1993.

³⁸ *Ibid.*, pág. 28.

³⁹ Sparrow 2000.

ejemplo, que los explotadores se encarguen de la generación de electricidad de forma eficaz y que innoven dentro del marco de la seguridad tecnológica y física. Hay que tener en cuenta la vida real y la experiencia operativa práctica, así como las aportaciones de la población y de las partes interesadas.

Aunque es poco probable que todo el mundo esté convencido de que los reguladores siempre proceden diligentemente con la buena artesanía de la regulación y que son transparentes en sus procesos, se trata de un objetivo que siempre merece la pena perseguir. De hecho, la propia búsqueda es la parte más importante del viaje. Cada régimen de reglamentación, ya sea nuevo o consolidado, debe encontrar su propio camino hacia ese ideal común. Los reguladores nucleares muestran a sus respectivos países y al mundo entero que sus actividades de supervisión y gestión merecen su confianza cuando los más consolidados ayudan a los que menos experiencia tienen, cuando todos comparten y aprenden de la experiencia de los demás, y cuando todos participan en los exámenes por homólogos y en otras oportunidades que brinda el sistema internacional. Este buen oficio conduce a una buena reglamentación y es importante cuando pensamos en los retos que se erigen ante nosotros o que pueden surgir en el futuro.

4.4. PERSPECTIVAS DE FUTURO

Al tratar de anticipar el futuro del sector nuclear, podemos intentar determinar las tendencias y los avances y evaluar su impacto en el derecho nuclear y su reglamentación. A un alto nivel, los retos que se plantean siguen siendo los mismos en cuanto a la consecución de los objetivos generales de seguridad tecnológica, salvaguardias y seguridad física. En el caso de los usos civiles de la energía nuclear, esto significa que hay que seguir prestando atención a la explotación segura de las instalaciones nucleares existentes, en especial, de las que pasan a un régimen de explotación a largo plazo más allá de la validez inicial de sus licencias, así como a la construcción de nuevas plantas y la evaluación de las tecnologías emergentes. La gestión de desechos radiactivos y su disposición final sigue siendo una esfera prioritaria. El control adecuado de las fuentes radiactivas para garantizar la seguridad radiológica y evitar su uso indebido seguirá siendo un desafío. Aunque no se trata en absoluto de una lista exhaustiva de los retos a los que pueden enfrentarse quienes se dedican a la legislación y la reglamentación nucleares, sí que invita a estudiar el contexto en el que nos movemos y los medios con los que avanzamos. En mi opinión, no es probable que veamos nuevos tratados o convenios vinculantes si no es que se produce algún suceso significativo o cuasi accidente. No obstante, en este contexto, el sistema puede seguir mejorando, incluso sobre la base del derecho

indicativo, si se presta la debida atención a la cooperación y la colaboración en la comunidad internacional, a una mayor armonización de las normas y a la transparencia y la participación de las partes interesadas.

4.4.1. El derecho indicativo como plataforma primaria

La probabilidad de que se negocien nuevos instrumentos jurídicos internacionales vinculantes en el ámbito nuclear parece remota en un futuro próximo. Aunque se pueden esgrimir argumentos de peso, por ejemplo, para elevar a convenio vinculante el Código de Conducta sobre la Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas,⁴⁰ o para mejorar el marco de la seguridad física nuclear,⁴¹ la confluencia en torno a esos objetivos no ha llegado todavía. Tras el accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi, surgieron propuestas para enmendar tanto la Convención sobre Pronta Notificación como la Convención sobre Seguridad Nuclear, pero ninguna de esas propuestas obtuvo finalmente el apoyo necesario para aprobar sus enmiendas.

En el caso de la Convención sobre Pronta Notificación, la labor encaminada a mejorar las orientaciones relativas a la respuesta en casos de emergencia y a la presentación de informes contribuyó probablemente a la ausencia de un apoyo suficiente para llevar la propuesta de la Federación de Rusia a una conferencia diplomática.⁴² En cuanto a la Convención sobre Seguridad Nuclear, se presentaron varias propuestas de enmienda, pero solo una, la planteada por Suiza, llegó a presentarse en una conferencia diplomática, en 2015. En lugar de adoptar la enmienda propuesta, las Partes Contratantes en la Convención sobre Seguridad Nuclear acordaron una declaración no vinculante, la Declaración de Viena sobre la Seguridad Nuclear, que se compromete a centrarse en la prevención y mitigación de accidentes en los diseños de las centrales nucleares nuevas, el examen periódico de la seguridad de las instalaciones existentes y la aplicación de mejoras de seguridad “razonablemente factibles”, así como el compromiso con las normas de seguridad del OIEA y las buenas prácticas señaladas durante las reuniones de examen de la Convención sobre Seguridad Nuclear.⁴³

Los expertos del ámbito nuclear y otros campos han explicado las dificultades para conseguir instrumentos internacionales vinculantes, así como las ventajas que pueden aportar los instrumentos de derecho indicativo en un

⁴⁰ González 2014.

⁴¹ Wetherall 2016, págs. 22 a 37.

⁴² Johnson 2014, págs. 18 y 19.

⁴³ Declaración de Viena sobre la Seguridad Nuclear, adoptada el 9 de febrero de 2015 (Declaración de Viena).

contexto concreto.⁴⁴ Entre otras cosas, estas normas pueden detallar los medios para alcanzar los objetivos que se acometen, establecer la “buena conducta” que se espera de los Estados, proporcionar una base para la legislación y la reglamentación nacionales, y plantar las semillas del progreso hacia obligaciones más formales.

4.4.2. Cooperación y colaboración internacionales

Es fundamental seguir prestando atención a la cooperación y la colaboración entre los Estados para mantener y mejorar la capacidad institucional y el marco jurídico de la reglamentación nuclear. Esta atención es fundamental no solo para los Estados con una dilatada experiencia en el ámbito de la energía nuclear, sino también para la creación de la capacidad de los Estados que inician sus trayectos en la elaboración y puesta en marcha de programas de energía nuclear. Como se ha señalado anteriormente, la Convención sobre Seguridad Nuclear y la Convención Conjunta prevén, como parte de su carácter incentivador, la celebración de reuniones periódicas de examen de las partes contratantes a fin de estudiar los informes relativos a las medidas que adoptan para cumplir las obligaciones contraídas en virtud de las convenciones.

Aparte de las obligaciones derivadas de estas convenciones, existen otras oportunidades para evaluar y mejorar la capacidad institucional. Tanto el OIEA como la AEN de la OCDE han elaborado orientaciones sobre los enfoques para la institución de organizaciones eficaces.⁴⁵ Las conferencias periódicas del OIEA sobre temas relacionados con diversos aspectos de la seguridad tecnológica y física ofrecen oportunidades de intercambio entre los Estados. Además, el OIEA ha creado una serie de servicios de examen por homólogos; en 2020 se celebró una reunión técnica virtual sobre el examen por homólogos y los servicios de asesoramiento relacionados con la seguridad nuclear tecnológica y física.⁴⁶ Estos servicios pueden ayudar a los Estados a alcanzar la excelencia en sus enfoques de supervisión para las actividades nucleares y en la conformidad con las normas internacionales, y los resultados pueden ser un buen barómetro para una organización eficaz y en proceso de mejora, o pueden señalar las lagunas o los puntos débiles. La participación en estos medios de autoevaluación y examen por homólogos debería promoverse. y no deberíamos descartar la contribución

⁴⁴ Wetherall 2005; Dupuy 1991.

⁴⁵ OIEA 2016; <https://www.oecd.org/publications/the-characteristics-of-an-effective-nuclear-regulator-9789264218741-en.htm>. Consultado el 27 de septiembre de 2021.

⁴⁶ https://gnssn.iaea.org/main/Pages/PRASC-Technical-Meeting_2020.aspx. Consultado el 27 de septiembre de 2021; <https://www.iaea.org/es/servicios/misiones-de-examen-y-servicios-de-asesoramiento>. Consultado el 27 de septiembre de 2021.

potencial de los compromisos bilaterales o de la cooperación regional, como la emprendida en la Unión Europea en el marco de sus correspondientes directivas en el ámbito nuclear. Como ejemplo de cooperación bilateral, la NRC acogió a personal de la Autoridad Reguladora Nuclear (ARN) del Japón para proporcionarle un mayor conocimiento del enfoque de inspección de la NRC y contribuir con ello a que la ARN actualizase su propio régimen de inspección. La cooperación es esencial para la eficacia de la legislación y la reglamentación nucleares en los próximos años.

4.4.3. Mayor armonización

Priorizar una mayor armonización de las normas aplicadas en el sector nuclear es un objetivo importante para el futuro, sobre todo teniendo en cuenta las perspectivas de desarrollo e instalación de reactores modulares pequeños (SMR) que utilizan o bien la tecnología de agua ligera ya consolidada o bien tecnologías avanzadas. Cada Estado es responsable de instaurar sus propios requisitos reglamentarios, por lo que los regímenes son esencialmente específicos de cada país, aunque se basan en las orientaciones y normas internacionales previstas en la Convención sobre Seguridad Nuclear. A un alto nivel, los pasos hacia la armonización han evolucionado gradualmente a lo largo de los años, impulsados, por ejemplo, por la amplia aceptación de las normas de seguridad del OIEA. No obstante, una mayor armonización de los criterios de reglamentación y la estandarización de los diseños puede evitar la necesidad de reconfigurar o personalizar un diseño para cada país que desee desplegar una instalación, y puede ayudar a los países en fase de incorporación a establecer un programa de energía nuclear. En el caso de los SMR, que pueden valerse del ensamblaje modular en fábricas, una mayor armonización puede ser clave para su despliegue internacional.

En las últimas décadas, varias iniciativas han tomado como objetivo lograr mayor armonización. El Foro Internacional de la Generación IV se creó en 2001 para estudiar los diseños avanzados, y el Programa Multinacional de Evaluación del Diseño (MDEP)⁴⁷ se constituyó en 2006 como foro de cooperación entre los reguladores que se encargan de la concesión de licencias para nuevos reactores, en particular, los diseños de la generación III+.⁴⁸ Dentro de la industria nuclear, el Grupo de Trabajo sobre Cooperación en la Evaluación del Diseño y la Concesión de Licencias de Reactores (CORDEL) de la Asociación Nuclear Mundial

⁴⁷ <https://www.oecd-nea.org/mdep/>. Consultado el 27 de septiembre de 2021.

⁴⁸ <https://www.gen-4.org/gif/>. Consultado el 27 de septiembre de 2021.

(WNA) se formó en 2007 para promover la armonización y la convergencia internacionales de las normas de seguridad para los diseños de reactores.⁴⁹

En el marco del creciente interés por los SMR, el OIEA y la AEN de la OCDE han proporcionado oportunidades para explorar formas de garantizar la seguridad en un contexto que permita la innovación tecnológica. En este sentido, es apreciable el potencial que se abre para incrementar la armonización de los requisitos reglamentarios y la cooperación entre los reguladores.⁵⁰ Por ejemplo, las autoridades reguladoras nucleares de los Estados Unidos y el Canadá pactaron un memorando de cooperación conjunto en agosto de 2019 para mejorar su dilatada interacción en materia reguladora, con especial hincapié en la evaluación de nuevas tecnologías de reactores. La iniciativa incluye la puesta en común de los conocimientos sobre reglamentación que puedan adquirirse con los exámenes de los diseños de los SMR y prevé la elaboración conjunta de orientaciones comunes para el examen final de las solicitudes de licencia que utilicen los diseños. En resumen, parece que estamos preparados para una mayor cooperación y armonización a la hora de establecer los criterios de aceptación de la reglamentación, un objetivo meritorio para los próximos años.

4.4.4. Transparencia y participación de las partes interesadas

Por último, es importante que se siga prestando atención al aumento de la transparencia y a la participación de las partes interesadas para mantener y reforzar un marco jurídico y reglamentario eficaz para las actividades nucleares. Estos principios han sido reconocidos más específicamente en las convenciones medioambientales que también se entrelazan con el derecho nuclear.⁵¹ Aunque la transparencia se considera un principio básico del derecho nuclear,⁵² a lo largo de los años, esta se ha ido afianzando en esta esfera. En sus inicios, con unos orígenes arraigados en el ámbito militar y con el deseo de frenar la proliferación

⁴⁹ WNA 2019.

⁵⁰ <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors/smr-regulators-forum>. Consultado el 27 de septiembre de 2021; www.oecd-nea.org/jcms/pl_46728/multi-sector-workshop-on-innovative-regulation-challenges-and-benefits-of-harmonising-the-licensing-process-for-emerging-technologies. Consultado el 27 de septiembre de 2021.

⁵¹ Convenio sobre la Evaluación del Impacto Ambiental en un Contexto Transfronterizo, abierto a la firma el 25 de febrero de 1991, que entró en vigor el 10 de septiembre de 1997 (Convenio de Espoo); Convención sobre el Acceso a la Información, la Participación del Público en la Toma de Decisiones y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales, abierto a la firma el 25 de junio de 1998, que entró en vigor el 30 de octubre de 2001 (Convención de Aarhus); Protocolo de Evaluación Ambiental Estratégica al Convenio de Espoo, abierto a la firma el 21 de mayo de 2003, que entró en vigor el 11 de julio de 2010 (Protocolo de Kiev).

⁵² Stoiber *et al.* 2003, pág. 10.

de armas nucleares, el sector era más hermético. Sin duda, sigue habiendo aspectos importantes de la reglamentación de las instalaciones y los materiales nucleares que requieren confidencialidad a fin de salvaguardar la información o el material que de otro modo puede utilizarse con fines ilícitos o dolosos, para mantener la seguridad física o incluso para proteger intereses sobre la propiedad intelectual. No obstante, la credibilidad y la confianza en las instituciones responsables exige el compromiso de que la información sea de dominio público, incluso si revela deficiencias y necesidades de mejora. Un ejemplo de que el sistema internacional ha avanzado hacia una mayor transparencia es la evolución de la difusión pública de los informes del proceso de examen de la Convención sobre Seguridad Nuclear. Tras la Séptima Reunión de Examen de la Convención sobre Seguridad Nuclear, celebrada en 2017, se pusieron a disposición del público todos los informes nacionales por primera vez.

Junto con el principio de transparencia, existe un compromiso con la participación significativa de las partes interesadas. Las partes interesadas constituyen un conjunto amplio y diverso de personas y organizaciones: proveedores y explotadores; personas que viven cerca de las instalaciones nucleares o trabajan en ellas; organismos gubernamentales y representantes locales o nacionales; homólogos y organizaciones del ámbito internacional; personas que podrían verse afectadas negativamente por las operaciones reguladas; medios de comunicación, y organizaciones no gubernamentales. Las partes interesadas no son solo las que pueden apoyar a la organización reguladora y sus objetivos, sino también las que son profundamente escépticas, e incluso las que son en gran medida indiferentes, excepto cuando el regulador o lo regulado atraen la atención de los medios de comunicación. El compromiso con las partes interesadas debe ser significativo y aprovechar al máximo las oportunidades para crear confianza, mejorar la participación y obtener comentarios. Tanto el OIEA como la AEN de la OCDE han examinado la cuestión en relación con el sector nuclear,⁵³ y es necesario seguir prestándole atención para garantizar que la legislación y la reglamentación nucleares evolucionan convenientemente y mantienen la debida eficacia.

4.5. CONCLUSIÓN

El derecho no es un fin sino un medio para la reglamentación nuclear. La elaboración de un marco jurídico nuclear ha constituido un viaje interesante que muestra el compromiso por abordar los aspectos clave de los usos pacíficos de la energía nuclear con una variedad de enfoques recurriendo tanto a tratados y

⁵³ OIEA 2017; AEN de la OCDE 2015.

convenios vinculantes como a códigos y orientaciones no vinculantes. El estado de este complejo conjunto de instrumentos conexos puede hacer que a veces uno sienta cierto pesimismo al contemplar lo que costó llegar al punto en el que estamos hoy y las lagunas que aún puedan existir. Sin embargo, también se puede adoptar una perspectiva optimista y pensar que seguiremos avanzando, aunque para ello haya que centrarse en pasos pragmáticos que puedan ser más graduales que revolucionarios.

Nuestro progreso requiere un enfoque reflexivo y un compromiso con la cooperación internacional, así como la voluntad de compartir experiencias y mantenernos abiertos a la mejora continua. El progreso futuro del régimen jurídico se verá favorecido por la búsqueda de una mayor armonización en todo el sistema. y requiere un empeño por garantizar que las instituciones internacionales y nacionales sean transparentes y estén dispuestas a entablar una interacción constructiva con las partes interesadas. Los asesores jurídicos seguirán desempeñando una función importante a la hora de ayudar a los encargados de formular políticas y a los expertos técnicos a elaborar enfoques integrales y eficaces para seguir desarrollando el marco de la energía nuclear y su reglamentación. En esas deliberaciones, podemos seguir planteándonos una serie de preguntas. ¿Estamos abordando de forma creíble las cuestiones importantes de una manera que merezca la confianza de nuestras partes interesadas? ¿Hemos asegurado una fuerte capacidad institucional en los planos tanto internacional como nacional? ¿Hemos velado por que los instrumentos y normas internacionales aplicables se hayan integrado en los regímenes nacionales? ¿El marco aborda los objetivos primordiales de seguridad física y tecnológica de forma integral, y en qué aspectos deberíamos centrarnos para introducir posibles mejoras?

El viaje prosigue.

REFERENCIAS

- Breyer S (1993) *Breaking the Vicious Circle: Toward Effective Risk Regulation*, Harvard University, Cambridge, MA.
- Burns S (2018) *The Impact of the Major Nuclear Power Plant Accidents on the International Legal Framework for Nuclear Power*, *Nuclear Law Bull* 101:14.
- Diaz N (2004) *Leadership Toward a Progressive, Integrated Nuclear Community: Going Forward Together*. www.nrc.gov/docs/ML0432/ML043270636.pdf. Accessed 27 September 2021
- Dupuy P (1991) *Soft Law and the International Law of the Environment*, *Michigan Journal of International Law* 12:420-435.

- González A J (2014) Towards a Convention on Radiation Safety and Security. In: Mariano Manóvil R (ed) *Nuclear Law in Progress*, Legis S.A. Argentina, Buenos Aires, pp 423–436.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1984) *Directrices relativas a Arreglos de Ayuda Mutua de Urgencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica*, INFCIRC/310, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1985) *Directrices sobre Sucesos Notificables, Planificación Integrada e Intercambio de Información respecto de Descargas Transfronterizas de Materiales Radiactivos*, INFCIRC/321, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1989) *Estatuto*, OIEA, Viena.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1999) *Safety of Radiation Sources and Security of Radioactive Materials*, IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2003) *Security of Radioactive Sources*, IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2004) *Código de Conducta sobre Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas*, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2014) *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad*, patrocinada conjuntamente por: Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, Comisión Europea, Organismo Internacional de Energía Atómica, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización Internacional del Trabajo, Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° GSR Part 3, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2016) *Marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad*, *Colección Normas de Seguridad del OIEA* N° GSR Part 1 (Rev. 1), OIEA, Viena.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2017) *Communication and Consultation with Interested Parties by the Regulatory Body*, IAEA Safety Standards Series No. GSG-6, IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018) *Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety*, IAEA Safety Standards Series No. GSG-12, IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020) *Report of the Meeting on the Role of the Legal Adviser in a Regulatory Body*, 30 July–2 August 2019.
- Jankowitsch O (1994) *The Convention on Nuclear Safety*, *Nuclear Law Bulletin* 54:9-22.
- Johnson P L (2014) *Opening Address: Developments in Nuclear Law*. In: Mariano Manóvil R (ed) *Nuclear Law in Progress*, Legis S.A. Argentina, Buenos Aires, pp 13–28.
- Lamm V (2017) *Reflections on the Development of Nuclear Law*, *Nuclear Law Bulletin* 99:41–42.
- Nuclear Regulatory Commission (2013a) *Physical Protection of Byproduct Material; Rule 78 Fed. Reg. 17007*. <https://www.federalregister.gov/documents/2013/03/19/2013-05895/physical-protection-of-byproduct-material>. Accessed 27 September 2021

- Nuclear Regulatory Commission (2013b) Implementation Guidance for 10 CFR Part 37, Physical Protection of Category 1 and Category 2 Quantities of Radioactive Material, NRC Doc. NUREG-2155 and Rev. 1 (2015). <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr2155/index.html>. Accessed 27 September 2021
- OECD Nuclear Energy Agency (2015) Stakeholder Involvement in Decision Making: A Short Guide to Issues, Approaches and Resources, OECD Publishing, Paris.
- OECD Nuclear Energy Agency (2021 forthcoming) Principles and Practices of International Nuclear Law, OECD Publishing, Paris.
- Pelzer N (2010) Learning the Hard Way: Did the Lessons Taught by the Chernobyl Accident Contribute to Improving Nuclear Law? In: OECD/NEA (ed) International Nuclear Law: History Evolution and Outlook, OECD, Paris, pp 73–118.
- Schwartz J (2010) Liability and Compensation for Third Party Damage Resulting from a Nuclear Incident. In: OECD/NEA (ed) International Nuclear Law: History Evolution and Outlook, OECD, Paris, pp 307–354.
- Sparrow M (2000) The Regulatory Craft: Controlling Risks, Solving Problems, and Managing Compliance, Brookings Institution Press, Washington, DC.
- Stoiber C, Baer A, Pelzer N, Tornhauser W (2003) *Manual de derecho nuclear*, OIEA, Viena.
- Wetherall A (2005) Normative Rulemaking at the IAEA: Codes of Conduct, Nuclear Law Bulletin 75:77.
- Wetherall A (2016) Strengthening the International Framework for Nuclear Security: Better Sooner than Later, Nuclear Law Bulletin 98:42.
- World Nuclear Association (WNA) (2019) CORDEL Strategic Plan 2019-2023. <https://www.world-nuclear.org/getattachment/c3d5b873-95aa-4c88-aa71-80a274b0453b/CORDEL-Strategic-Plan-2019.pdf.aspx>. Accessed 27 September 2021

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

5. EL FORTALECIMIENTO DEL RÉGIMEN MUNDIAL DE SEGURIDAD NUCLEAR

Richard Meserve

Resumen La energía nucleoelectrica constituye un elemento sustancial de la respuesta mundial al cambio climático. Proporciona electricidad continua y puede resolver la intermitencia de las fuentes de energía renovable que dependen del viento y el sol. Garantizar la seguridad nuclear es una tarea crucial para seguir expandiendo la energía nucleoelectrica como parte de la respuesta mundial al cambio climático. Por este motivo, el compromiso con la seguridad debe ser una prioridad universal, puesto que las posibilidades de emplear la energía nucleoelectrica en todo el mundo se verían perjudicadas por las protestas generalizadas que se desencadenarían en el caso de que en algún lugar se produjera un suceso nuclear grave. La importancia del régimen mundial de seguridad nuclear se puso de manifiesto con el accidente acaecido en la central nuclear de Fukushima Daiichi. Este accidente afianzó la convicción de que, además de contar con un sistema nacional competente en materia de seguridad nuclear, en última instancia es importante disponer de un sistema internacional con el que se logre que las instituciones nacionales pertinentes desempeñen sus funciones con diligencia y eficacia. En este capítulo se analiza el actual sistema mundial de seguridad nuclear y se proponen mejoras, entre ellas, la inspección de la seguridad y las medidas encaminadas a alcanzar una mayor transparencia y una mayor armonización de las normas.

Palabras clave Armonización de normas • Energía nucleoelectrica • Inspecciones de seguridad • Integración de la seguridad tecnológica y la seguridad física • Principios fundamentales de seguridad del OIEA • Reactores avanzados • Régimen mundial de seguridad nuclear • Regulador (órgano regulador) • Seguridad nuclear

Si se desea poner solución a los devastadores efectos de las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, el planeta debe afrontar con urgencia la necesidad de pasar a emplear fuentes de energía libres de carbono. La energía nucleoelectrica debería constituir un elemento importante de esa respuesta. Actualmente, la energía nucleoelectrica proporciona en torno al 10 % de la generación de electricidad mundial y casi un tercio de la generación

de energía libre de carbono,¹ pero podría desempeñar un papel mucho mayor. Aunque es seguro que las renovables experimentarán una implantación mucho más amplia que la actual, disponer de energía libre de carbono con la que solventar la intermitencia de las renovables será una necesidad permanente y las centrales nucleares pueden satisfacer esa necesidad y unirse a las renovables para responder al desafío existencial que entraña el cambio climático.

Para allanar el camino a la expansión de la energía nucleoelectrónica, garantizar la seguridad nuclear constituye una tarea crucial. El compromiso con la seguridad debe ser una prioridad universal, puesto que las posibilidades de emplear la energía nucleoelectrónica en todo el mundo se verían perjudicadas por las protestas generalizadas que se desencadenarían en el caso de que en algún lugar se produjera un suceso nuclear grave. Por lo tanto, resulta de especial pertinencia analizar el actual sistema de seguridad nuclear y evaluar si se le deben efectuar mejoras.

Tal y como se resalta en los Principios fundamentales de seguridad del OIEA, el operador debe asumir la responsabilidad primordial de la seguridad.² El operador controla la planta y se encuentra en la mejor posición para garantizar la continuidad de la seguridad. Para ello, el operador debe contar con la capacidad en materia de ingeniería, económica y de gestión necesaria para que la seguridad del funcionamiento de la central sea la máxima prioridad. El regulador nacional, a su vez, se encarga de reforzar la obligación del operador de garantizar la seguridad para lo cual determina las responsabilidades del operador y vigila sus acciones, a fin de velar por el cumplimiento de aquellas.³ El órgano regulador, además de ser independiente y capaz, debe contar con el personal y la financiación suficientes para desempeñar sus funciones. Todo regulador debería ser exigente y concienzudo (a la par que justo) al actuar para que los operadores cumplan con sus responsabilidades.

Aunque el operador y el regulador desempeñan funciones cruciales, cuentan con un valioso respaldo: el régimen mundial de seguridad nuclear.⁴ Este régimen es una red colectiva internacional de partes interesadas y relaciones que determina el nivel de rendimiento que se espera de todos los operadores y reguladores, y que pretende crear competencias y capacidades entre ellos. El régimen mundial de seguridad nuclear consta de varios elementos:

¹ <https://www.iaea.org/newscenter/news/nuclear-power-proves-its-vital-role-as-an-adaptable-reliable-supplier-of-electricity-during-covid-19>. Fuente consultada el 11 de julio de 2021.

² OIEA 2006.

³ *Ibid.*, pág. 7.

⁴ La naturaleza y la importancia del régimen mundial nuclear fueron descritas por el Grupo Internacional de Seguridad Nuclear (INSAG). Este artículo se basa en la publicación INSAG-21. Véase INSAG 2006.

- Las organizaciones intergubernamentales. Los principales participantes son el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Agencia para la Energía Nuclear (AEN). El OIEA establece las normas de seguridad y, a petición de un Estado Miembro, lleva a cabo inspecciones en diversas esferas y asesora sobre las actividades nucleares. La AEN, por su parte, se dedica a la cooperación internacional en materia de investigación sobre seguridad y al estudio de cuestiones relacionadas con la seguridad y la reglamentación.
- Las redes multinacionales de reguladores. Por ejemplo, la Asociación Internacional de Reguladores Nucleares y el Grupo de Reguladores Europeos de Seguridad Nuclear. Gracias a estas redes, los reguladores pueden intercambiar puntos de vista e información y coordinar actividades.
- Las redes multinacionales de operadores. De estas redes de carácter internacional, la más importante es la Asociación Mundial de Operadores Nucleares (WANO). Entre otras labores de esta entidad, en lo relativo a las actividades de los operadores, la WANO ofrece exámenes por homólogos y actúa como punto de intercambio de información. Los grupos de propietarios, integrados por operadores que comparten un diseño en particular, desempeñan una función similar en lo que se refiere al intercambio de información. El Instituto Mundial de Seguridad Física Nuclear (WINS) desempeña la misma función en los asuntos relacionados con la seguridad física.
- La industria nuclear internacional. Entre sus miembros están los vendedores que diseñan y venden las centrales nucleares, los proveedores internacionales de equipo y las organizaciones dedicadas al mantenimiento, así como las empresas y los contratistas de servicios de arquitectura/ingeniería que construyen centrales por todo el mundo. Estas empresas transfieren conocimientos relativos a las centrales nucleares y tienen grandes incentivos para promover la seguridad de su funcionamiento.
- Las redes multinacionales de científicos e ingenieros. Las sociedades científicas y técnicas alientan y posibilitan la comunicación entre expertos de muchos países.
- Los organismos de normalización. Cabe mencionar la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), la Sociedad Nuclear Estadounidense (ANS) y sus homólogos en otras partes del mundo. De los estrictos requisitos en materia de garantía de calidad que se exigen en las instalaciones nucleares, el cumplimiento de las normas detalladas constituye un elemento de gran relevancia.
- Otras partes interesadas. No es de extrañar que las actividades nucleares llamen la atención. Por ello, las organizaciones no gubernamentales y la

prensa desempeñan una función destacada en las actividades de vigilancia y, además, pueden suponer un gran estímulo para garantizar la seguridad de las operaciones nucleares.

En la figura 5.1 se pueden observar los distintos elementos que conforman el régimen mundial de seguridad nuclear y el entramado de acuerdos que los vinculan entre sí.

La importancia del régimen mundial de seguridad nuclear se puso de manifiesto con el accidente acaecido en la central nuclear de Fukushima Daiichi. A pesar de que el Japón contaba con un operador avanzado y un regulador experimentado, el accidente no se pudo evitar. Dado que en el país se creía que la central era lo suficientemente segura, se pasaron por alto deficiencias del diseño de la central, las disposiciones institucionales nacionales y la preparación para emergencias (tanto en el ámbito del operador como en el de las autoridades

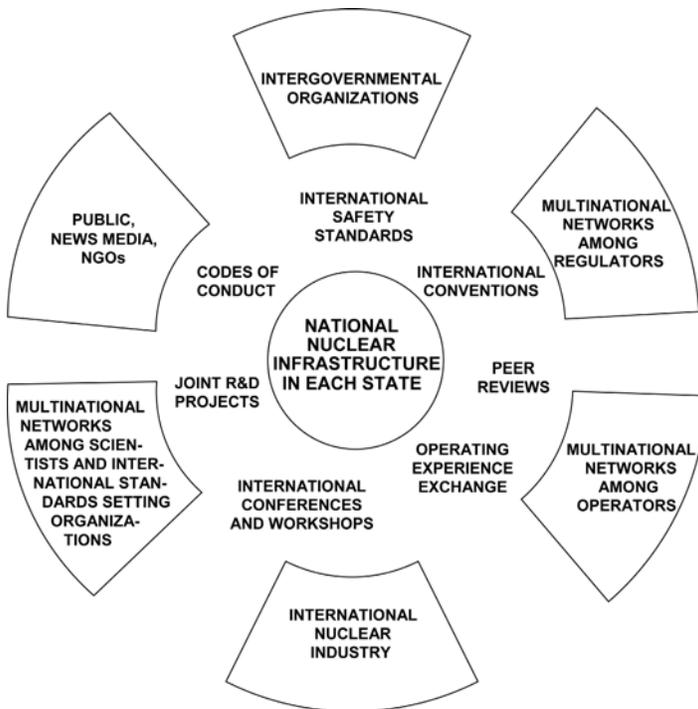


Fig. 5.1 Los distintos componentes del régimen mundial de seguridad nuclear. Fuente: Grupo Internacional de Seguridad Nuclear 2006

estatales).⁵ La enseñanza primordial que se extrajo del accidente fue que, además de la necesidad de tener un sistema *nacional* competente de seguridad nuclear, en última instancia es fundamental disponer de un sistema *internacional* que asegure que las instituciones nacionales pertinentes desempeñen sus funciones con diligencia y eficacia.⁶

Además de la necesidad de garantizar un cumplimiento ejemplar en materia de seguridad gracias al cual la energía nucleoelectrica pueda contribuir sustancialmente a la respuesta al cambio climático, existen otras consideraciones que refuerzan la importancia de reexaminar y fortalecer el régimen mundial de seguridad nuclear. Según diversos informes, 30 países que actualmente no cuentan con energía nucleoelectrica se están planteando, están planificando o están iniciando la puesta en marcha de programas nucleares y otros 20 Estados han expresado su interés al respecto.⁷ Muchos de estos países se encuentran en el mundo en desarrollo y su interés por explotar fuentes de energía eléctrica libres de carbono es un avance positivo desde la perspectiva del cambio climático. Ahora bien, ese empeño por emplear centrales nucleares para satisfacer sus necesidades energéticas es todo un reto, puesto que muchos no tienen experiencia en materia nuclear y deben crear una capacidad actualmente inexistente.⁸ Así pues, el régimen mundial de seguridad nuclear debería desempeñar un papel importante ayudando a que estos programas nucleares cumplan satisfactoriamente con las obligaciones sobre seguridad tecnológica y seguridad física.

Al mismo tiempo, los sistemas que garantizan la seguridad se enfrentan ahora a un nuevo desafío. Aunque no cabe duda de que durante los próximos años se va a seguir dependiendo de los reactores de agua ligera (LWR) —tanto de los modelos actuales como de los nuevos—, recientemente se ha reavivado el interés por los reactores avanzados. En muchos reactores avanzados se emplean distintos refrigerantes (gas, metales líquidos o sales fundidas) y distintos moderadores. Los vendedores tienen esperanzas de que los nuevos diseños proporcionen electricidad a un coste menor por kWh, lo cual haría que la energía nucleoelectrica fuese más competitiva con respecto a fuentes de energía alternativas. Además, los nuevos diseños prometen una mejora considerable de la seguridad gracias a, por ejemplo, el uso de medios simplificados, pasivos u otras fórmulas que permiten realizar funciones esenciales en materia de seguridad. Muchos vendedores están

⁵ OIEA 2015, pág. 67.

⁶ El INSAG ha reflexionado sobre la importancia de contar con una bien trabada red de relaciones abiertas entre operadores, reguladores y partes interesadas, de manera que el sistema en su conjunto sirva para ofrecer «fortaleza en profundidad». Véase INSAG 2017.

⁷ <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/emerging-nuclear-energy-countries.aspx>. Fuente consultada el 11 de julio de 2021.

⁸ INSAG 2012, págs. 1 a 4.

contemplando diseños de centrales nucleares cuya producción sea muy inferior a la de mayoría de los actuales reactores de agua ligera, por lo que el costo de capital unitario podría resultar más manejable para algunos propietarios. Además, su menor tamaño podría resultar particularmente atractivo para los países con redes eléctricas pequeñas,⁹ entre los cuales probablemente se encontrarán muchos países en fase de incorporación al ámbito nuclear. Al contrario de lo que sucede con muchos de los actuales reactores de agua ligera, para los cuales los elementos relacionados con la seguridad física y la no proliferación constituían en gran medida un añadido a las plantas ya existentes, la seguridad física y las salvaguardias se pueden mejorar en ciertas centrales mediante su inclusión en el diseño básico.

Si bien los reactores avanzados resultan muy prometedores, presentan desafíos particulares en lo que a la seguridad se refiere y, para determinar si sus innovadores sistemas de seguridad son eficaces en las diversas circunstancias en las que se depende de ellos, habrá que efectuar análisis meticulosos. Será una labor importante para mantener una protección en profundidad suficiente y alcanzar el equilibrio entre la prevención de accidentes y su mitigación. Al mismo tiempo, en el caso de los reactores rápidos refrigerados por sodio, por ejemplo, se deberán tener en cuenta las reacciones sodio-agua y sodio-aire, mientras que, con los reactores de sales fundidas, será preciso examinar detenidamente los problemas de corrosión y la congelación de las sales fundidas en las redes de tuberías. En resumen, los participantes del sistema de seguridad tendrán que enfrentarse a grandes desafíos para determinar y analizar la justificación de la seguridad de los reactores avanzados y para adaptar los requisitos normativos, que actualmente se centran en las cuestiones que se plantean en los reactores de agua ligera, a tecnologías muy diferentes.¹⁰ El régimen mundial de seguridad nuclear puede promover la cooperación entre los países que están implantando reactores avanzados y facilitar una toma de decisiones bien fundamentada.

Además, muchas de las centrales nucleares que se encuentran en funcionamiento se construyeron hace muchos años y están a punto de alcanzar o ya han sobrepasado la previsión inicial de 40 años de vida útil. A lo largo de los años, estas centrales se han beneficiado de un minucioso proceso de vigilancia, mantenimiento y sustitución de sus componentes y muchas funcionan de manera fiable. Debido a ello, los operadores de varios países se están planteando prorrogar

⁹ Por norma general, ninguna central nucleoelectrónica debería representar más de un 10 % de la capacidad de la red, de manera que se pueda parar para su reabastecimiento de combustible o por motivos de seguridad sin que se altere gravemente la disponibilidad de energía.

¹⁰ En la Carta de R. A. Meserve a R. M. Grossi se analizan los numerosos desafíos que se deben superar para poder implantar reactores avanzados innovadores. Véase INSAG 2021.

su funcionamiento mucho más allá de los 40 años. De hecho, en los Estados Unidos de América, las licencias de algunas centrales nucleares se han prorrogado hasta los 80 años.¹¹ Ahora bien, el envejecimiento de las plantas entraña singulares desafíos en materia de seguridad: los sistemas, las estructuras y los componentes pueden deteriorarse con el paso del tiempo debido a mecanismos que tal vez no se entiendan por completo; puede resultar difícil hallar repuestos y las centrales antiguas tal vez no dispongan de ciertas características de seguridad de las plantas modernas. Por lo tanto, mantener centrales más antiguas en funcionamiento exige prestar atención a los mecanismos de envejecimiento y, a medida que pase el tiempo, centrarse aún más en las labores de vigilancia y mantenimiento y en la sustitución y mejora de sus sistemas, estructuras y componentes. Así pues, el sistema mundial debería proporcionar asesoramiento a los países que tengan que hacer frente al envejecimiento de las centrales, a fin de garantizar el mantenimiento de los márgenes de seguridad.

Estas reflexiones son suficientes para justificar el minucioso análisis del régimen mundial de seguridad nuclear. Ahora bien, ¿qué debería cambiar?

Como se ha señalado con anterioridad, el régimen de seguridad vigente se fundamenta en la obligación de los operadores de garantizar la seguridad, sometidos a una rigurosa supervisión por parte del regulador nacional. Podría concebirse un régimen distinto en el que un regulador internacional con amplias facultades transnacionales garantizara el correcto rendimiento en materia de seguridad de cada operador. Ese planteamiento podría verse como un mecanismo que velara por que todas las actividades nucleares, con independencia de su ubicación, cumplieran con estrictas normas de seguridad. De ese modo se podría ayudar a aprovechar las capacidades de seguridad de todo el planeta de una forma eficiente y eficaz en beneficio de todos.

Ahora bien, es poco probable que se pueda implantar ese régimen en una modalidad en la que un regulador internacional desplace a los reguladores nacionales. Sin lugar a dudas, las poblaciones vecinas de la instalación nuclear exigirán que sea un organismo políticamente receptivo el que se ocupe de su seguridad, en lugar de un regulador internacional que actúe a distancia. Además, es dudoso que cualquier nación renuncie voluntariamente a su soberanía con respecto a una infraestructura energética de vital importancia. Puesto que el sistema de seguridad debe funcionar conforme a la cultura jurídica, económica y social de cada país, es probable que en todo caso sea preciso adaptar el sistema normativo a las condiciones locales.¹²

¹¹ <https://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/renewal/subsequent-license-renewal.html>. Fuente consultada el 11 de julio de 2021.

¹² Véase Meserve 2009, págs. 105 y 106.

Por este motivo, no parece probable que pueda lograrse un régimen mundial de seguridad nuclear basado en un único regulador internacional vigoroso; tal vez tampoco sea lo deseable. Sea como fuere, hay varias cuestiones que se deberían contemplar con miras a potenciar el régimen mundial de seguridad nuclear actual y fortalecer la capacidad de los operadores y de los reguladores nacionales para cumplir con las funciones cruciales de seguridad que les corresponden.

- Las inspecciones de seguridad. El OIEA tiene a disposición de los Estados Miembros una amplia gama de servicios de inspecciones.¹³ Sin embargo, el OIEA no tiene potestad para llevar a cabo inspecciones de seguridad sin previa invitación del Estado Miembro y son muchos los Estados que no solicitan inspecciones. Además, el Organismo tampoco tiene potestad ejecutora para subsanar las deficiencias que sus inspecciones saquen a la luz. Dada la importancia de la seguridad nuclear, se debería facultarle para que pudiera llevar a cabo inspecciones en los lugares y momentos en los que lo considerase oportuno. Además, debería tener la capacidad de exigir la resolución de las deficiencias que se hallasen. Por tanto, se deberían otorgar al OIEA facultades en materia de seguridad análogas a las que en relación con las salvaguardias posee en virtud del Protocolo Adicional. El mecanismo lógico para establecer estas facultades sería una enmienda a la Convención sobre Seguridad Nuclear.¹⁴
- La transparencia. Los resultados de las inspecciones del OIEA únicamente se hacen públicos si el Estado Miembro lo autoriza. Pues bien, si se mantiene oculto el informe, las deficiencias graves podrían quedarse sin corregir. Deberían, pues, hacerse públicos los resultados de las inspecciones del OIEA —aunque tal vez después de los que Estados Miembros en cuestión los revisaran a fin de subsanar los posibles errores—, puesto que ello permitiría a otros elementos del régimen de seguridad sacar lecciones de esas deficiencias y apremiar para que se corrigiesen. El Grupo Internacional de Seguridad Nuclear (INSAG) ha hecho hincapié en la ”fortaleza en profundidad” que puede surgir de una interacción abierta en torno a las cuestiones de seguridad entre los operadores, los reguladores y las partes interesadas afectadas.¹⁵

¹³ <https://www.iaea.org/services/review-missions>. Fuente consultada el 11 de julio de 2021.

¹⁴ Probablemente, establecer esa facultad reforzada de inspección y ejecución llevaría años de complejas negociaciones, seguidas de un proceso muy lento hasta que la enmienda de la Convención entrara en vigor. Entretanto, se deberían estudiar las demás modificaciones que se esbozan a continuación.

¹⁵ INSAG 2017.

- La armonización de las normas. Muchos de los vendedores de reactores avanzados son optimistas con respecto a las ventas internacionales. En vista de las eficiencias previstas que podrían derivarse de la producción de fabricación en serie, es posible que las ventas al extranjero constituyan una parte fundamental de sus planes de negocios. Como la concesión de licencias es (y seguirá siendo) responsabilidad de cada regulador nacional, existe el riesgo de que se tengan que realizar adaptaciones o modificaciones para obtener licencias en cada uno de los países en los que se venda la central. Evidentemente, con toda probabilidad, este hecho aumentaría los costes y reduciría las posibilidades de implantación internacional. Dada la necesidad de generalizar el uso de las centrales nucleares para hacer frente al cambio climático, se deberían intensificar los esfuerzos para armonizar los requisitos normativos y así evitar modificaciones inadecuadas o innecesarias. Sin duda, esta armonización sería muy provechosa, puesto que ayudaría a que los reguladores sacasen partido del conocimiento de los demás y se eliminarían así las innecesarias diferencias normativas existentes en sus enfoques y procedimientos.

En estos momentos se está trabajando para alentar la armonización. El proceso de establecimiento de normas del OIEA, que implica el alcance de un consenso internacional, fomenta la adopción de las posturas comunes. El Organismo también se encuentra trabajando en el establecimiento de un marco de neutralidad tecnológica relativo a la seguridad tecnológica, la seguridad física y las salvaguardias; este marco debería facilitar, de forma similar, el desarrollo de entendimientos armonizados en el ámbito de la seguridad. El Programa Multinacional de Evaluación del Diseño de la AEN se ocupa fundamentalmente de armonizar el proceso de concesión de licencias para los nuevos reactores; gracias a ello, los reguladores pueden aprovechar los recursos y conocimientos de las autoridades reguladoras nacionales encargadas de revisar el nuevo diseño de un reactor nuclear y, al mismo tiempo, los reguladores nacionales pueden conservar su soberanía con respecto a todas las decisiones en materia de concesión de licencias y reglamentación. Este programa alienta la convergencia y la armonización de los códigos, las normas y los planteamientos normativos.¹⁶

Existe un aspecto concreto de la labor actual que podría promover un cambio para mejor. En la actualidad, cada regulador nacional adopta sus propias decisiones en relación con la aplicación de las normas del OIEA. El sistema podría beneficiarse si el cumplimiento pleno de las normas del OIEA fuese lo habitual (sujeto a las inspecciones del Organismo) y, a su vez, se respetara la autoridad del regulador

¹⁶ <https://www.oecd-nea.org/mdep/index.html#2>. Fuente consultada el 11 de julio de 2021.

nacional. En este sentido, el sector de la aviación podría ofrecer un modelo: la Organización de Aviación Civil Internacional establece unas normas mínimas internacionales de carácter vinculante por medio de las cuales facilita el tráfico aéreo internacional mediante la estandarización del diseño de las aeronaves. Cada país estipula sus propios códigos de aeronavegabilidad, pero las diferencias entre un Estado y otro no han resultado ser considerables. Tal vez se podría reforzar la función de las normas del OIEA de manera que el Organismo desempeñara un papel similar al de la OACI, respaldando la armonización de los requisitos nucleares y, a su vez, permitiendo que cada nación conservara su soberanía.¹⁷

- Integrar la seguridad tecnológica y la seguridad física. Existe una clara vinculación entre la seguridad tecnológica y la seguridad física y las medidas destinadas a mejorar un tipo de seguridad pueden beneficiar al otro. Por ejemplo, las gigantescas estructuras de hormigón armado y acero de las centrales nucleares sirven tanto para los objetivos de la seguridad tecnológica como de la física. Sin embargo, en ocasiones, las características de algunas centrales y algunas prácticas operativas que sirven para un propósito pueden estar reñidas con otros fines. Por ejemplo, los controles de acceso que se imponen por motivos de seguridad física podrían restringir la respuesta de seguridad en situaciones de emergencia u obstaculizar las entradas y salidas en caso de incendio o explosión. En resumidas cuentas, entre la seguridad tecnológica y la seguridad física, pueden darse tanto sinergias como incompatibilidades, de lo que se desprende que las responsabilidades en materia de seguridad tecnológica y seguridad física con respecto al emplazamiento de una central nuclear se deberían asignar a un único organismo, para que así pudieran equilibrarse debidamente los objetivos.¹⁸ Además, resulta pertinente la labor permanente que se lleva a cabo en el seno del OIEA para integrar las orientaciones que formula sobre seguridad tecnológica y sobre seguridad física.¹⁹
- La experiencia operativa. A lo largo del tiempo, la comunicación de la experiencia operativa ha servido para mejorar el comportamiento de las centrales nucleares. Gracias a la comunicación sobre accidentes y cuasi accidentes, sobre deficiencias de diseño o de equipo y sobre otras experiencias operativas, los operadores y los reguladores pueden aprender los unos de los otros e impulsar los resultados en materia de seguridad. Además de los sistemas nacionales de intercambio de información, los operadores y reguladores también comunican información

¹⁷ Véase Asociación Nuclear Mundial 2013 y 2020.

¹⁸ INSAG 2010.

¹⁹ En un informe que se publicará próximamente y que han elaborado conjuntamente el INSAG y el Grupo Asesor sobre Seguridad Nuclear (AdSec) se hará hincapié en la importancia de coordinar la seguridad tecnológica con la seguridad física.

relacionada con la seguridad a través de sistemas mundiales ya implantados. El OIEA y la AEN gestionan conjuntamente un sistema de información de incidentes (IRS)²⁰ al que pueden acceder los países participantes; por su parte, la WANO permite acceder a información operativa —de forma privada y confidencial— a las empresas adscritas a ella. A pesar de esto, no se notifican todos los incidentes relevantes —en particular al IRS— y no todos los que pueden acceder a estos repositorios de información aprovechan estos datos de forma plena y eficaz. Tal vez se deba a que no existen mecanismos adecuados para ordenar y analizar la información, para extraer y priorizar las enseñanzas que deben aprenderse y para divulgar la información de forma práctica para el usuario. Con miras a promover el interés común de evitar accidentes, este sistema debe perfeccionarse, a fin de facilitar el intercambio de conocimientos acumulados sobre la experiencia operativa. El acceso a esa información es de especial importancia para los países que se incorporan al ámbito nuclear, para que así no tengan que revivir las situaciones de las que sus predecesores en el ámbito nuclear extrajeron duras lecciones.

- La investigación y el desarrollo en el ámbito internacional. En la actualidad existe un marco de cooperación en investigación y desarrollo sobre cuestiones nucleares. Por ejemplo, la AEN facilita la cooperación internacional en la investigación de materias nucleares y todos se benefician de ello. Sin embargo, esta labor podría ampliarse. Como ya se ha señalado, muchas centrales nucleares siguen funcionando una vez superada la vida útil de su diseño y, con un mayor conocimiento común sobre el fenómeno del envejecimiento, se podría ayudar a preservar la seguridad a lo largo del tiempo. Tanto en las centrales antiguas como en las nuevas se está empleando instrumentación y control digitales modernos, lo que plantea problemas de seguridad diferentes de los de los sistemas analógicos que se están sustituyendo. Estas cuestiones cobran aún mayor importancia a propósito del creciente desafío que supone garantizar la ciberseguridad. Además, los reactores avanzados presentan numerosos problemas nuevos en materia de seguridad y será preciso conocerlos en profundidad para hacer realidad las mejoras de seguridad prometidas.²¹ Los programas de investigación coordinados destinados a incrementar los conocimientos sobre los diseños avanzados ayudarán a que se tengan los datos necesarios para facilitar las decisiones sobre la concesión de licencias.

.....

²⁰ <https://www.iaea.org/resources/databases/irsni>. Fuente consultada el 11 de julio de 2021.

²¹ En la carta de R. A. Meserve a R. M. Grossi se analizan plenamente estas cuestiones. Véase INSAG 2021.

El régimen mundial de seguridad nuclear es un valioso instrumento para garantizar la seguridad de las centrales nucleares, tanto actuales como futuras. Por ello, se debería tratar de aprovechar las oportunidades de mejorarlo y poder así explotar la tecnología nuclear de forma segura por el bien de toda la humanidad.

REFERENCIAS

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2006) *Principios fundamentales de seguridad*, con el patrocinio conjunto de: Comunidad Europea de la Energía Atómica, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Organismo Internacional de Energía Atómica, Organización Internacional del Trabajo, Organización Marítima Internacional, Agencia para la Energía Nuclear (OCDE), Organización Panamericana de la Salud, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Organización Mundial de la Salud, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° SF-1, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2015) *El accidente de Fukushima Daiichi*, OIEA, Viena.
- International Nuclear Safety Group (INSAG) (2006) *Strengthening the Global Nuclear Safety Regime (INSAG-21)*, IAEA, Vienna.
- International Nuclear Safety Group (INSAG) (2010) *The Interface Between Safety and Security at Nuclear Plants (INSAG-24)*, IAEA, Vienna.
- International Nuclear Safety Group (INSAG) (2012) *Licensing the First Nuclear Power Plant (INSAG-26)*, IAEA, Vienna.
- International Nuclear Safety Group (INSAG) (2017) *Ensuring Robust National Nuclear Safety Systems—Institutional Strength in Depth (INSAG-27)*, IAEA, Vienna.
- International Nuclear Safety Group (INSAG) (2021) *INSAG Annual Letter*. <https://www.iaea.org/topics/nuclear-safety-and-security/committees/insag/annual-letter-of-assessment>. Accessed 11 July 2021
- Meserve R (2009) *The Global Nuclear Safety Regime*, *Daedalus* 138(4):100–111. <https://doi.org/10.1162/daed.2009.138.4.100>
- World Nuclear Association (2013) *Aviation Licensing and Lifetime Management—What Can Nuclear Learn?* https://world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/CORDELAviationReport.pdf. Accessed 11 July 2021
- World Nuclear Association (2020) *Harmonization of Reactor Design Evaluation and Licensing: Lessons Learned from Transport*. [https://world-nuclear.org/getmedia/cb928ee3-dea9-41ed-a324-552c499f4375/Harmonization-of-Reactor-Design-\(Transport\)-Final.pdf.aspx](https://world-nuclear.org/getmedia/cb928ee3-dea9-41ed-a324-552c499f4375/Harmonization-of-Reactor-Design-(Transport)-Final.pdf.aspx). Accessed 11 July 2021

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

6. EL DESAFÍO DEL CAMBIO CLIMÁTICO. TRANSFORMACIÓN COMPLETA DE LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS: SIN ENERGÍA NUCLEAR NO HABRÁ CERO EMISIONES NETAS

Timothy Stone

Resumen Para lograr cero emisiones netas, el gas natural, la gasolina, el diésel y el fueloil deben sustituirse por otra fuente. Sin embargo, la mayoría de las actuales fuentes de energía bajas en carbono también deberán reemplazarse ya que a casi ninguna de ellas le queda más de unos 25 años de vida útil. El ritmo y la escala del cambio necesario no tienen precedentes: hay que sustituir casi todo el suministro de energía primaria del mundo. El desarrollo o reestructuración de todo el sistema energético constituye intrínsecamente un riesgo soberano y solo puede ser el Estado quien fije la política energética nacional. No cabe duda de que los mercados seguirán contribuyendo a los sistemas energéticos futuros, pero, al máximo nivel, debido al ritmo y la escala del cambio necesario para lograr cero emisiones netas, sencillamente todo va demasiado deprisa como para que los mercados se adapten debidamente. El presente capítulo es un llamamiento a la acción dirigido a los encargados de formular políticas nacionales y plantea este desafío como una oportunidad para crear puestos de trabajo de mayor calidad y posibilidades de inversión que pueden ser sumamente atractivas y a largo plazo. También se señala aquí la posibilidad de que ciertos riesgos, en particular la indecisión política y la inestabilidad normativa, impidan aprovechar al máximo esta oportunidad y lograr el objetivo de cero emisiones netas.

Palabras clave Cambio climático • Cero emisiones netas • Combustibles fósiles • Consumo de energía primaria • Energía eólica • Energía hidroeléctrica • Energía limpia • Energía nuclear • Energía solar • Fuentes de energía bajas en carbono • Mercado de la energía • Reactores modulares • Transición energética

6.1. EL DESAFÍO DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA PRIMARIA

Para lograr cero emisiones netas, a cualquier escala temporal, hay que sustituir casi todo el suministro de energía primaria del mundo. Prácticamente en su totalidad. Está claro que hay que sustituir todos los combustibles fósiles.

Se trata de una afirmación sencilla y evidente, y no solo hay que reemplazar el gas natural, la gasolina, el diésel y el fueloil por otra fuente o vector de energía primaria, sino que también habrá que sustituir a la mayoría de las actuales fuentes de energía bajas en carbono. El ritmo y la escala de lo que hay que hacer revisten una envergadura sin precedentes, siendo incluso los esfuerzos en tiempos de guerra lo más parecido que el mundo haya visto antes. Dicho esto, también representa la mayor oportunidad de crear puestos de trabajo de mayor calidad, así como oportunidades de inversión potencialmente muy atractivas y a largo plazo, pero en las que los mayores riesgos pueden provenir precisamente de la indecisión política y la inestabilidad normativa. En otras palabras, dependerá de la confianza en los gobiernos, o la falta de ella.

A esto se suma el hecho de que este ritmo y escala de cambio no pueden lograrse solamente a través de los mercados. En la sección 6.11 se examinan más detenidamente los principios básicos de los mercados de energía, pero la conclusión fundamental es simple. En su conjunto, la energía es uno de los principales ejemplos de infraestructura de importancia nacional. El desarrollo o la reestructuración de todo el sistema energético constituye intrínsecamente un riesgo soberano. Es decir, el Estado “se hace cargo del fracaso” de la infraestructura de importancia nacional. Solo los Estados pueden establecer políticas energéticas nacionales. Durante los últimos 40 años los mercados se han adaptado a los avances de la ingeniería con gran eficacia, si bien con relativa lentitud respecto al desafío actual, y no cabe duda de que seguirán contribuyendo a los sistemas energéticos futuros. Sin embargo, al máximo nivel, debido al ritmo y la escala del cambio necesario para lograr cero emisiones netas, sencillamente no es posible que los mercados se adapten debidamente.

La otra limitación al más alto nivel es, evidentemente, la de la factibilidad física. No se trata simplemente de lo que se tarda en construir grandes fuentes de energía primaria como la energía hidroeléctrica y reactores nucleares capaces de producir gigavatios (GW). Se trata de cómo establecer y ampliar cadenas de suministro enteras para apoyar la instalación (y no solo la construcción) a nivel nacional de muchos GW de capacidad al año. y respecto a las cadenas de suministro, no se trata solo de bombas, válvulas, cajas de engranajes y otros componentes. La cadena de suministro relativa a las personas será igual de importante.

6.2. ENERGÍA PRIMARIA

Mientras tanto, en un mundo con bajas emisiones de carbono, solo hay cuatro fuentes de energía primaria. Hay que distinguir las fuentes de energía primaria de los vectores energéticos o formas de transportar la energía desde su

fuente hasta el usuario. Sin seguir ningún orden específico, dichas fuentes de energía primaria son las siguientes:

- la energía eólica y solar;
- la energía nuclear, obtenida actualmente solo a través de la fisión pero a la larga también de la fusión;
- la energía hidroeléctrica, incluida la energía de las mareas y de las olas, y
- la energía procedente de fuentes fósiles, con captura y secuestro eficaces del carbono.

Los gases como el hidrógeno y el amoníaco no son en sí mismos fuentes de energía primaria, sino simplemente formas de transportar la energía, es decir, vectores energéticos.

A raíz de la reconstrucción completa de los sistemas energéticos nacionales, está cambiando un aspecto fundamental de las economías mundiales. El siglo XXI depende cada vez más de la energía para la vida diaria y el costo de esa energía se está convirtiendo en un factor cada vez más determinante para la competitividad económica. Los nuevos sistemas energéticos tendrán una gran repercusión en la competitividad económica de los países y el bienestar de muchas generaciones futuras, incluidos nuestros nietos y las generaciones posteriores. Mientras tanto, es fundamental reconocer que los sistemas energéticos actuales se concibieron para una época distinta. A modo de ejemplo, el sistema energético del Reino Unido se creó en gran medida tras la Segunda Guerra Mundial, con el propósito inicial de trasladar energía desde los yacimientos de carbón a los centros de producción, así como para uso doméstico. Ninguna de esas importantes finalidades es aplicable hoy día. La energía proviene actualmente de centrales eléctricas alimentadas con gas, de grandes centrales nucleares situadas en la costa y, cada vez con mayor frecuencia, de fuentes renovables, con un número creciente de instalaciones ubicadas en aguas profundas de alta mar. La distribución de la población ha cambiado de modo considerable desde la década de 1950 hasta ahora, los centros de producción son más pequeños y suelen situarse en distintos lugares, y la infraestructura de transmisión de energía se ha regulado sobre la base de la reducción del costo para los consumidores cada cinco años.

El mayor desafío que se plantea es la necesidad de adoptar un enfoque de sistemas adecuado, dado que, sencillamente, no es posible imaginar que los modelos de mercado darwinianos reaccionen con la suficiente rapidez. En la última década se han promovido enérgicamente nuevas tecnologías para impulsar su adopción, pero ese impulso ha girado en torno a la reducción de costos y no se ha fundamentado en cuál podría ser un resultado razonable o de algún otro tipo. No se ha analizado a fondo cómo podría ser un nuevo sistema ni cómo adoptarlo.

La evolución darwiniana que subyace al buen funcionamiento de un mercado tiene que ver con un mecanismo de generación, prueba, selección y fracaso, y el enfoque de las empresas emergentes de alta tecnología de “fracasar rápido” no funciona en el ámbito de la energía primaria. La evolución de los sistemas de generación de energía primaria y de las diversas soluciones para la infraestructura que los sustenta es simplemente demasiado lenta. En un contexto británico, para cuando se celebre la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2021 (CP 26), el Reino Unido habrá perdido casi el 7,5 % del tiempo con respecto al anuncio original de la Primera Ministra, Theresa May, relativo al requisito jurídicamente vinculante de que dicho país haya alcanzado cero emisiones netas en 2050, sin poder mostrar prácticamente ningún avance al respecto.

Ya no hay tiempo que perder, suponiendo que siga quedando tiempo suficiente para lograr cero emisiones netas de aquí a 2050.

6.3. CONSUMO DE ENERGÍA ACTUAL

En la figura 6.1 se muestra el consumo de energía mundial, basado en el “método de sustitución”¹. La magnitud del desafío que plantea la descarbonización se aprecia con mayor claridad a través de este método de sustitución. La comparación de la escala de las cuatro fuentes de energía tradicionales, a saber, la biomasa, el carbón, el petróleo y el gas, con el resto de las fuentes de energía primaria más bajas en carbono muestra la estremecedora magnitud del desafío.

En el presente capítulo se incluyen gráficos parecidos para los Estados Unidos de América, el Japón, China, el Reino Unido, Alemania y Suecia. Resulta asimismo instructivo consultar los mapas de la intensidad carbónica elaborados periódicamente por Grant Chalmers² (véanse las figuras 6.2 y 6.3).

En los gráficos de las figuras 6.2 y 6.3 puede verse claramente que a países como Suecia, que goza de abundantes recursos naturales hidroeléctricos, o a aquellos que a lo largo del tiempo hayan construido también una capacidad nuclear considerable les resultará mucho más fácil que a otros lograr cero

¹ El “método de sustitución” (en comparación con el “método directo”) trata de tener en cuenta las ineficiencias (energía perdida en forma de calor durante la combustión) en la conversión de combustibles fósiles y biomasa. Para ello, ajusta las tecnologías nucleares y renovables modernas a sus “insumos primarios equivalentes” si la misma cantidad de energía se produjera a partir de combustibles fósiles.

² Consúltese @GrantChalmers en Twitter. Se publican de forma periódica gráficos como los de las figuras 6.2 y 6.3. Estas imágenes, junto con otras incluidas en el presente documento del mismo autor y debidamente identificadas, han sido facilitadas por Grant Chalmers, para con quien el autor muestra su gratitud.

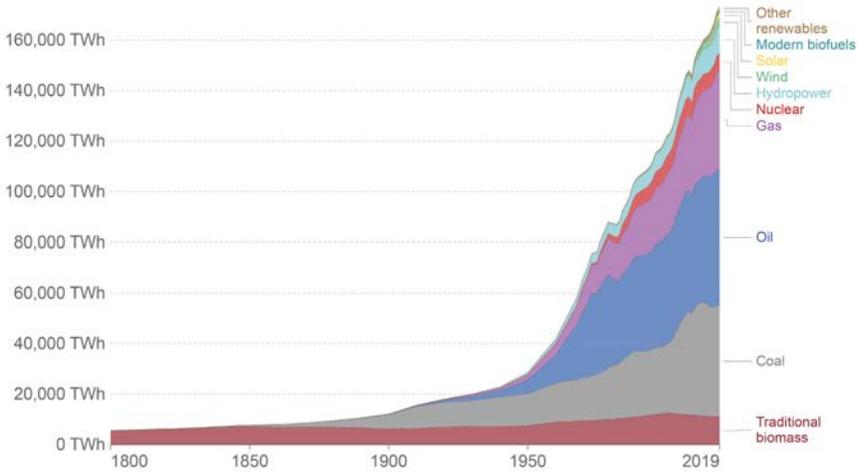


Fig. 6.1 Consumo mundial de energía primaria por fuente. Nota: La energía primaria se calcula mediante el “método de sustitución”, que tiene en cuenta las ineficiencias en la producción de los combustibles fósiles convirtiendo la energía no fósil en los insumos de energía necesarios si estos tuvieran las mismas pérdidas de conversión que los combustibles fósiles. Fuente: <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption> (Consultado el 14 de julio de 2021)

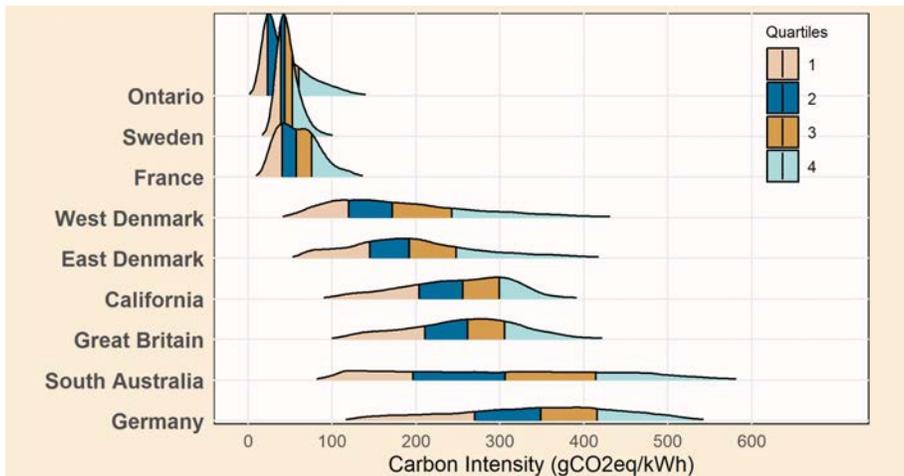


Fig. 6.2 Intensidad carbónica en el consumo de electricidad de 2017 a 2021. Fuente: @GrantChalmers

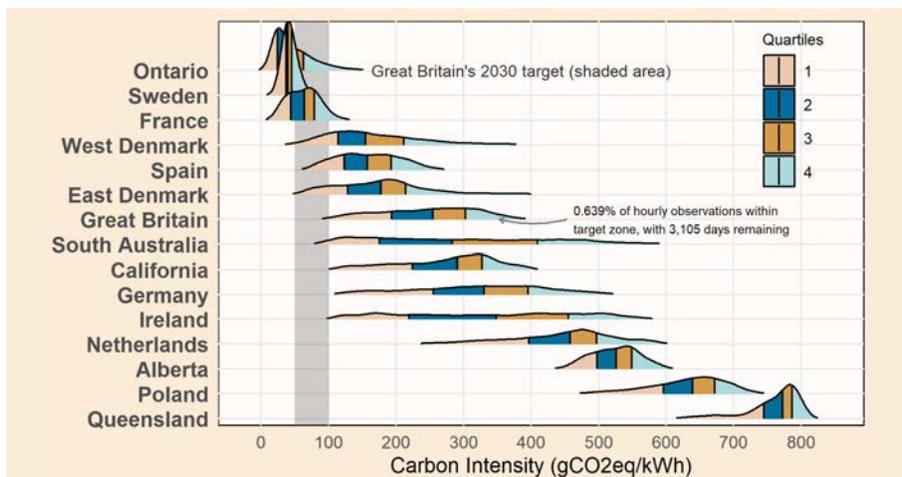


Fig. 6.3 Intensidad carbónica en el consumo de electricidad en 2020 y 2021. Fuente: @GrantChalmers

emisiones netas. Francia, la provincia de Ontario e Islandia³ también se incluyen en esa categoría. Resulta igualmente evidente que, a pesar de la fuerte apuesta por las energías renovables en países como Alemania, se sigue dependiendo de la energía fósil, e incluso en países como Dinamarca se depende inevitablemente de la energía importada de otros países, por ejemplo a través de la red de los países nórdicos, o procedente de la energía fósil. Queensland se sitúa en el extremo de mayor dependencia de los combustibles fósiles y volverá a aparecer (figura 6.19) como ejemplo de mercado de energía con un rendimiento deficiente (o, como mínimo, *extraño*).

Resulta interesante observar que, en lo que atañe a las emisiones de CO₂, en el Reino Unido, el ahorro global de carbono desde la apertura de Calder Hall en 1957 es de 2300 millones de toneladas de CO₂ eq (lo que equivale a *todas* las emisiones del Reino Unido desde 2015 hasta 2020).

El tema que aparece de forma continua en los gráficos de las figuras 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 y 6.9 es la enorme cantidad de energía primaria procedente de los combustibles fósiles que hay que reemplazar por completo.

En gran medida, el Reino Unido está eliminando el carbón como fuente de energía primaria, además de realizar una serie de inversiones de gran envergadura

³ Las emisiones de carbono de Islandia, que cuenta con importantes recursos geotérmicos, suelen ser de unos 50 gCO₂ eq/kWh. A modo de ejemplo, véase <https://twitter.com/GrantChalmers/status/1404713459091066880?s=20>. Consultado el 14 de julio de 2021.

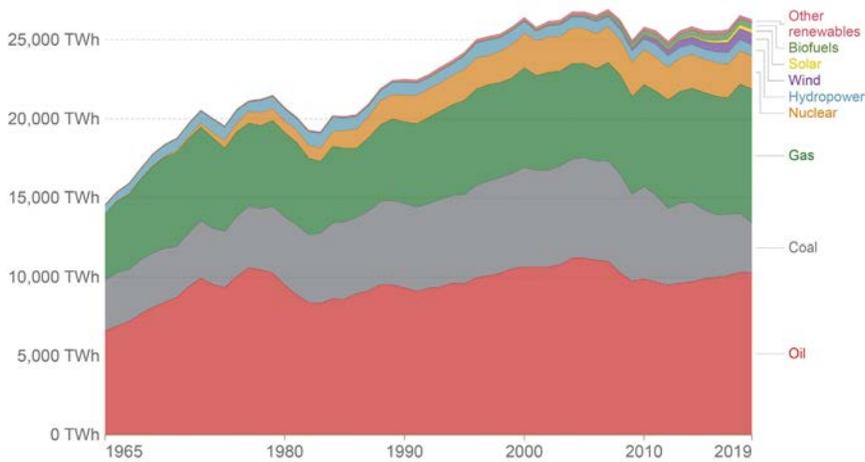


Fig. 6.4 Consumo de energía por fuente: Estados Unidos de América. La clase “Otras energías renovables” incluye la energía geotérmica, la biomasa y la energía procedente de desechos. Nota: El consumo de energía primaria se mide en teravatios-hora (TWh). Se aplica un factor de ineficiencia (método de “sustitución”) a los combustibles fósiles, de modo que la distribución por fuente de energía refleja con mayor fidelidad el consumo final de energía. Fuente: <https://our.worldindata.org/energy-mix?country=> (Consultado el 14 de julio de 2021)

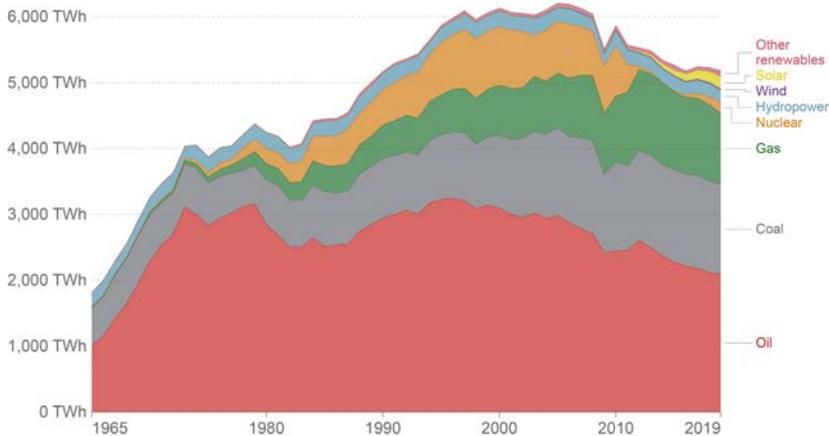


Fig. 6.5 Consumo de energía por fuente: Japón. La clase “Otras energías renovables” incluye la energía geotérmica, la biomasa y la energía procedente de desechos. Nota: El consumo de energía primaria se mide en teravatios-hora (TWh). Se aplica un factor de ineficiencia (método de “sustitución”) a los combustibles fósiles, de modo que la distribución por fuente de energía refleja con mayor fidelidad el consumo final de energía. Fuente: <https://our.worldindata.org/energy-mix?country=> (Consultado el 14 de julio de 2021)

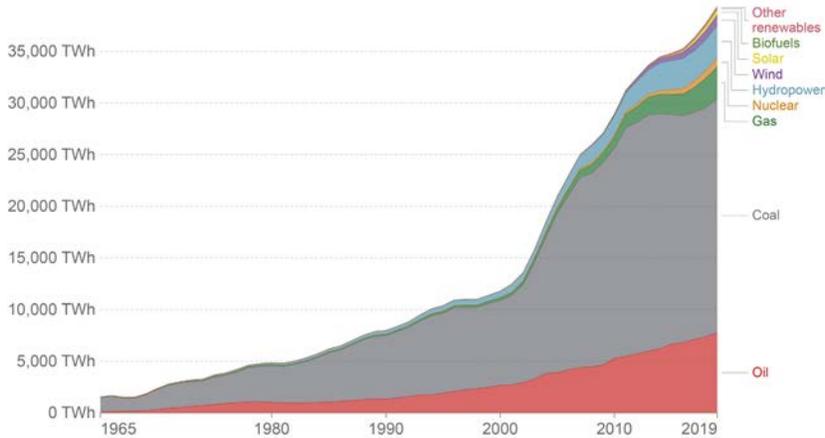


Fig. 6.6 Consumo de energía por fuente: China. La clase “Otras energías renovables” incluye la energía geotérmica, la biomasa y la energía procedente de desechos. Nota: El consumo de energía primaria se mide en teravatios-hora (TWh). Se aplica un factor de ineficiencia (método de “sustitución”) a los combustibles fósiles, de modo que la distribución por fuente de energía refleja con mayor fidelidad el consumo final de energía. Fuente: <https://ourworldindata.org/energy-mix?country=> (Consultado el 14 de julio de 2021)

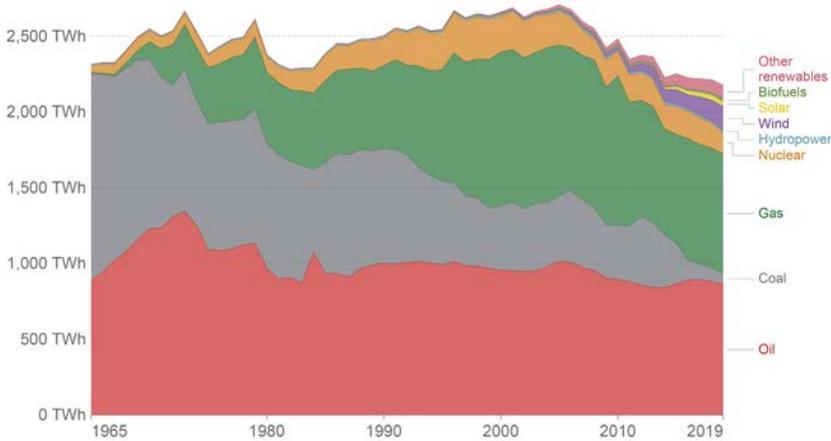


Fig. 6.7 Consumo de energía por fuente: Reino Unido. La clase “Otras energías renovables” incluye la energía geotérmica, la biomasa y la energía procedente de desechos. Nota: El consumo de energía primaria se mide en teravatios-hora (TWh). Se aplica un factor de ineficiencia (método de “sustitución”) a los combustibles fósiles, de modo que la distribución por fuente de energía refleja con mayor fidelidad el consumo final de energía. Fuente: <https://ourworldindata.org/energy-mix?country=> (Consultado el 14 de julio de 2021)

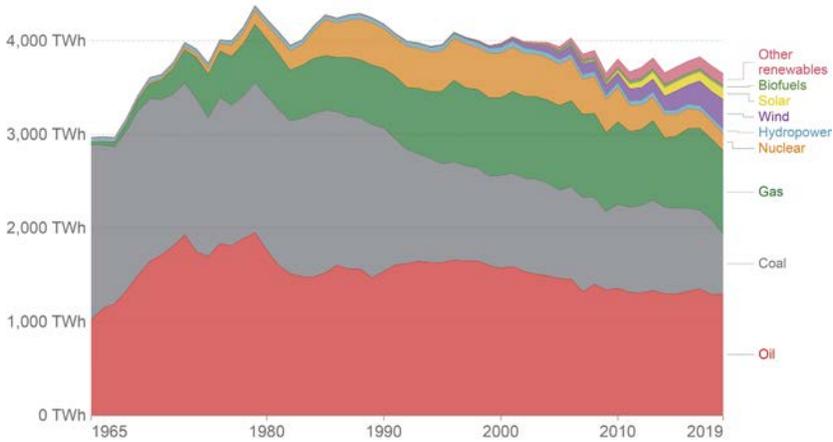


Fig. 6.8 Consumo de energía por fuente: Alemania. La clase “Otras energías renovables” incluye la energía geotérmica, la biomasa y la energía procedente de desechos. Nota: El consumo de energía primaria se mide en teravatios-hora (TWh). Se aplica un factor de ineficiencia (método de “sustitución”) a los combustibles fósiles, de modo que la distribución por fuente de energía refleja con mayor fidelidad el consumo final de energía. Fuente: <https://ourworldindata.org/energy-mix?country=> (Consultado el 14 de julio de 2021)

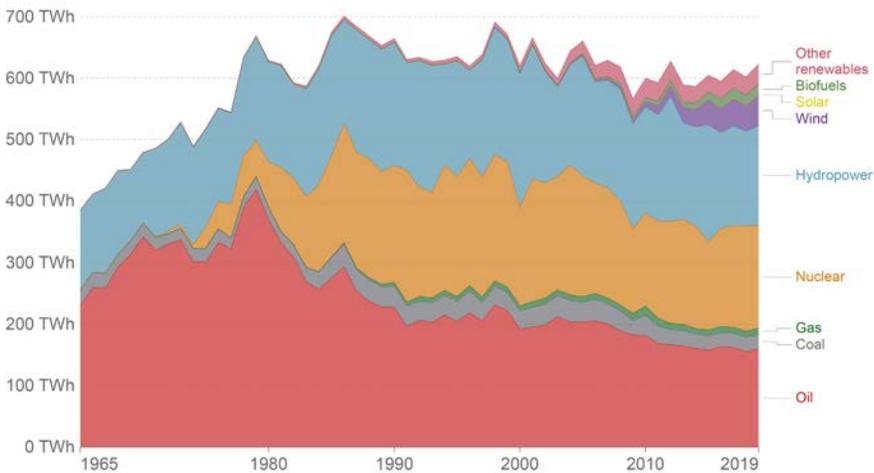


Fig. 6.9 Consumo de energía por fuente: Suecia. La clase “Otras energías renovables” incluye la energía geotérmica, la biomasa y la energía procedente de desechos. Nota: El consumo de energía primaria se mide en teravatios-hora (TWh). Se aplica un factor de ineficiencia (método de “sustitución”) a los combustibles fósiles, de modo que la distribución por fuente de energía refleja con mayor fidelidad el consumo final de energía. Fuente: <https://ourworldindata.org/energy-mix?country=> (Consultado el 14 de julio de 2021)

en energía eólica y solar respaldadas por la reforma muy favorable del mercado eléctrico de principios de la década de 2010, que “socializó” los costos y las consecuencias de la intermitencia y tuvo como resultado el pago de la energía renovable, fuera o no necesario. Durante el mismo período solo se aprobó una nueva central nuclear, a pesar de que la legislación que sentaba las bases de la energía baja en carbono en el Reino Unido señalaba claramente la intención de crear parques con más de un diseño de centrales nucleares a escala de gigavatios. Esa intención se debilitó con el Gobierno de coalición de 2010, en el que los Demócratas Liberales, que históricamente habían sido un partido político antinuclear, recibieron el control ministerial del Departamento de Energía y Cambio Climático. El poder relativo de los equipos de técnicos ministeriales encargados de las energías renovables aumentó considerablemente durante ese período, mientras que la Oficina para el Desarrollo Nuclear perdía influencia a partir de 2014. El Reino Unido ha pasado de liderar el “renacimiento nuclear” durante el período comprendido entre 2008 y 2014 a, en el mejor de los casos, tratar de ponerse al día. Mientras que en 2020 el Primer Ministro presentó un plan visionario de 10 puntos en pro de una revolución industrial verde⁴, el Libro Blanco posterior era poco ambicioso a nivel práctico en materia nuclear.

Es ampliamente conocida la política de Alemania, que se vio influida especialmente por el protagonismo de las políticas antinucleares de los Verdes en las elecciones del estado de Baden-Wurtemberg celebradas inmediatamente después de la tragedia de la central nuclear de Fukushima Daiichi. La posterior política de transición energética (“Energiewende”) no ha logrado reducir de manera considerable las emisiones de CO₂. Según un estudio, si Alemania hubiera retrasado la eliminación de la energía nuclear y hubiera eliminado primero el uso del carbón, podría haber salvado 1100 vidas y haber ahorrado 12 000 millones de dólares de los EE.UU. en costos sociales al año. Un artículo de Environmental Progress⁵ afirma que Alemania podría haber eliminado ya los combustibles fósiles si hubiera optado por invertir en la energía nuclear en lugar de la energía renovable.⁶ Se ha señalado que la profunda aversión hacia la energía nucleoelectrica en Alemania se remonta a las primeras inversiones en ese tipo de

⁴ Gobierno del Reino Unido, 2020. (La energía nucleoelectrica constituye la tercera sección, tras la energía eólica marina y el hidrógeno con bajas emisiones de carbono).

⁵ <https://grist.org/energy/the-cost-of-germany-going-off-nuclear-power-thousands-of-lives>. Consultado el 14 de julio de 2021; <https://www.nber.org/papers/w26598>. Consultado el 14 de julio de 2021; <https://www.welt.de/wirtschaft/plus204786230/Atomausstieg-Was-die-Energiewende-wirklich-kostet.html>. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁶ <https://environmentalprogress.org/big-news/2018/9/11/california-and-germany-decarbonization-with-alternative-energy-investments>. Consultado el 14 de julio de 2021.

energía realizadas en el país en la década de 1970.⁷ Según Marx⁸, gran parte del apoyo original a la energía nucleoelectrica en Alemania provino de la industria, en particular de BASF y Hoechst, y no se debió de manera primordial a las políticas del Gobierno Federal o los gobiernos estatales. En la década de 1960 la sociedad apoyaba mayoritariamente la energía nucleoelectrica, pero ni el Gobierno Federal ni los gobiernos estatales realizaron grandes esfuerzos por promover esa política entre la población del país. La legitimidad social de la energía nucleoelectrica en Alemania disminuyó progresivamente a medida que las empresas de mayor envergadura promovían dicha energía, dedicándole una mayor atención a raíz de la crisis del petróleo de 1973. Al final, una parte importante de la expansión de las empresas eléctricas del país se basó en la energía nuclear, pero las empresas industriales que en un principio defendieron dicha energía acabaron apoyando a las industrias del carbón, de la licuefacción del carbón y del lignito.

Los gráficos dicen mucho sobre la magnitud del desafío en materia de construcción. Desde que se impulsó la instalación de sistemas de generación de energía eólica y solar, está claro que la vida útil de cada una de ellas es considerablemente menor que la de otras fuentes convencionales de energía primaria.⁹ Solamente ese dato debería mover a la acción a los encargados de formular políticas energéticas y a los gobiernos. La energía renovable ha experimentado un enorme desarrollo en la última década y media, pero, como suele ocurrir con la infraestructura de importancia nacional, en general se hace caso omiso de los ciclos de vida útil y de inversión hasta que se produce una crisis en el sector. El Reino Unido tal vez haya experimentado una crisis “propriadamente dicha” en septiembre de 2021, en el momento de redactar el presente artículo. La reducción de la generación de energías renovables a proporciones muy bajas (2,78 % en este momento) como consecuencia de las condiciones meteorológicas, junto con los elevadísimos precios del gas, han obligado a reiniciar la única central de carbón operativa y han disparado los precios de la energía, lo que ha provocado la quiebra de un gran número de empresas minoristas. La conclusión fundamental que de ello se desprende es que prácticamente ninguna de las fuentes renovables de energía primaria que actualmente está en funcionamiento seguirá estándolo en 2050. Aparte de los planes para sistemas de descarbonización a gran escala que aún hay que formular, debe haber un plan de reemplazo y repotenciación permanente para que la producción de energía renovable se mantenga operativa y sea duradera.

Conviene tener en cuenta que en la reconstrucción del sistema energético de un país es poco probable que aparezca una solución milagrosa. Un sistema

⁷ <https://www.dw.com/en/nuclear-power-in-germany-a-chronology/a-2306337> (Breve historia de la energía nucleoelectrica en Alemania). Consultado el 14 de julio de 2021.

⁸ Marx, 2014.

⁹ A modo de ejemplo, véase Fuchs *et al.*, 2021.

energético moderno y resiliente y con un sólido nivel de seguridad energética contará con un equilibrio de fuentes de generación de energía y capacidad suficiente en las partes que lo integran para hacer frente incluso a escenarios con un nivel muy bajo de probabilidad. La solución óptima debe tener en cuenta los ritmos de construcción posibles y una serie de probables limitaciones ineludibles (es decir, muy restrictivas desde el punto de vista de la optimización) de carácter físico (¿cuánta superficie terrestre/marina se necesita?, ¿puede crearse una fuerza de trabajo lo bastante grande?, ¿de dónde vendrá el acero?, reducción del carbono incorporado, etc.) para minimizar el costo del sistema para la economía nacional.

6.4. ATRIBUTOS/EXCEPCIONALIDAD DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Antes de profundizar en algunas de las cuestiones prácticas, merece la pena repasar los motivos por los que la energía nucleoelectrica puede, y en muchos casos debe, ser un poderoso componente de importancia fundamental para un sistema energético del siglo XXI.

6.4.1. Máxima “densidad energética”: la mayoría de las ventajas se derivan de este punto

Los datos de densidad energética son bastante reveladores:

- el uranio enriquecido al 3,5 % utilizado en un reactor de agua ligera tiene unos 3900 GJ/kg;
- el uranio utilizado como combustible en un reactor de neutrones rápidos tiene unos 28 000 GJ/kg;
- el carbón bituminoso duro tiene de 24 a 25 MJ/kg (obsérvese que se trata de valores en MJ y no en GJ);
- el hidrógeno tiene de 120 a 142 MJ/kg, y
- el gas natural tiene de 42 a 55 MJ/kg.

Por lo tanto, el uranio tiene unas 156 000 veces la energía del carbón en un reactor de agua ligera convencional, pero si se quema en un reactor de neutrones rápidos (véase la sección 6.9.2) esa cifra aumenta a unos 1,12 millones de veces la energía del carbón.

Gracias a la densidad energética excepcionalmente elevada del combustible nuclear, la energía nucleoelectrica es la que necesita menos terreno. En el cuadro 6.1 se muestra un análisis reciente del uso del suelo durante el ciclo de vida.¹⁰

¹⁰ Chivers *et al.*, 2017.

En cuanto a la superficie terrestre utilizada para la generación propiamente dicha, las cifras difieren un poco y podrían constituir un criterio de selección muy distinto (aunque la energía nuclear siempre es, de lejos, la que aprovecha de manera más eficaz la masa terrestre, sea cual sea el análisis que se realice).

Por dar un ejemplo sencillo tomado del Reino Unido, veamos el caso de Torness, una central eléctrica de 1988 con 1,36 GW de potencia de salida que generaría cuatro veces más energía que East Anglia One, el mayor parque eólico del país, que se está construyendo actualmente, alberga 102 turbinas y necesita 300 km². Torness ocupa, en total, unas 130 hectáreas (alrededor de 1,3 km²), mientras que la isla nuclear propiamente dicha ocupa mucho menos.

Para sustituir Torness se necesitarían 400 turbinas eólicas, que ocuparían unos 1200 km².

Todo el parque nuclear *mundial* podría caber fácilmente varias veces en ese espacio.

CUADRO 6.1 REQUISITOS ESPACIALES DURANTE EL CICLO DE VIDA DE DIVERSAS FUENTES DE ENERGÍA

Sistema energético	Huella espacial-km ² /TWh		
	Gagnon y otros ^a	EWG ^b	Cheng y Hammond ^c
Carbón	4	3,63	–
Gas natural (sin dispositivo de atenuación)		0,09	
Nuclear	0,50	0,48	0,30
Eólica	72	2,33 a 116,66	1,15 a 44,17
Fotovoltaica	45	13,50 a 27,00	16,17 a 20,47
Biomasa	533 a 2200	1320 a 2200	470

^a Gagnon *et al.*, 2002.

^b EWG: <https://www.ewg.org/research/green-energy-guide>. Consultado el 14 de julio de 2021.

^c Cheng y Hammond, 2017.

6.4.2. Crea los puestos de trabajo más cualificados

La figura 6.10 muestra el mapa de ingresos del Reino Unido con el ejemplo de la circunscripción de Copeland, que incluye la central de Sellafield y emplazamientos industriales nucleares conexos.

En general, la industria nuclear ofrece puestos de trabajo mejor remunerados que la mayoría de otros sectores con gran número de puestos de servicios profesionales. Salvo el área de Copeland (donde predomina la industria nuclear), las áreas rojas del mapa están en Londres y sus alrededores. En el cuadro 6.2 se muestran las cifras correspondientes a todas las áreas rojas en el mapa.

Cabe añadir también otras estadísticas valiosas al respecto. En la central de Hartlepool, el salario medio supera las 50 000 libras esterlinas, lo que representa más del doble de la media de la ciudad. En el Reino Unido, el 90 % de los empleos del sector nuclear se encuentran fuera de Londres y la región sureste. La industria nuclear aporta unos 12 400 millones de libras a la economía nacional (si se tienen en cuenta los multiplicadores). En total, el erario público del Reino Unido recauda 2800 millones de libras gracias a los empleos y actividades de la industria nuclear.

Y ayuda a mantener las luces encendidas de forma fiable.

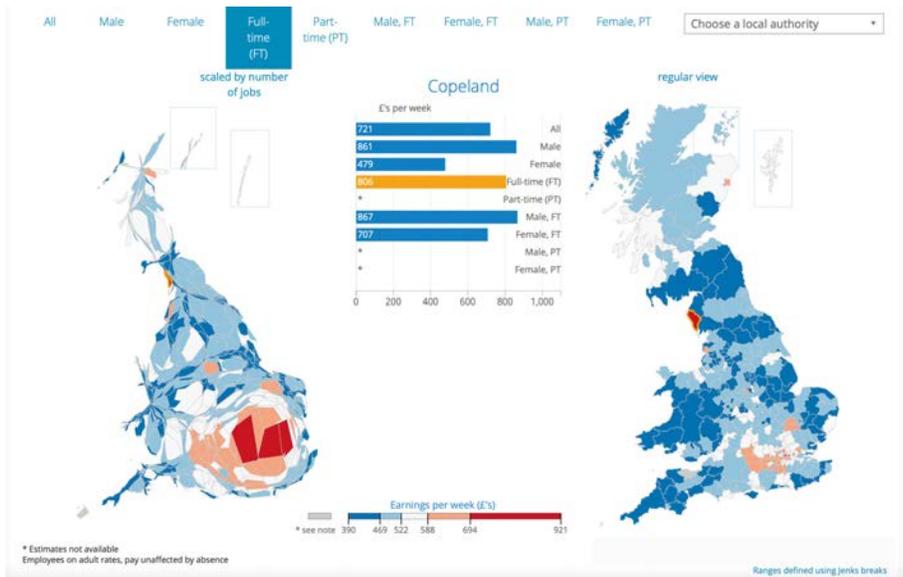


Fig. 6.10 Mapa de ingresos medios para el Reino Unido. Fuente: <https://www.ons.gov.uk/visualisations/nesscontent/dvc126>. (Consultado el 14 de julio de 2021)

CUADRO 6.2 INGRESOS MEDIOS SEMANALES CORRESPONDIENTES A LAS ÁREAS ROJAS

Área	Promedio de ingresos semanales (libras esterlinas)
Westminster	635
Copeland	721
Tower Hamlets	768
Ciudad de Londres	870

6.4.3. Única tecnología que puede producir calor limpio y energía limpia

La energía nuclear proviene de la producción de calor bajo en carbono. Junto con las energías eólica, solar e hidroeléctrica, es una de las pocas fuentes de energía primaria. Las energías eólica y solar convierten la energía del clima en energía eléctrica, y la energía hidroeléctrica convierte las precipitaciones resultantes del clima y la gravedad en energía eléctrica. La energía nucleoelectrica es fruto de un proceso físico fundamental que libera la energía contenida en cualquier elemento de la tabla periódica con un número atómico mayor que el del hierro.¹¹ La energía liberada por una reacción nuclear, ya sea de fisión o fusión, es captada en forma de calor y todo el uso energético posterior se deriva de ese calor bajo en carbono. El calor suele utilizarse para hervir agua, cuyo vapor se aprovecha para hacer girar turbinas y generadores. Sin embargo, el calor está cobrando cada vez mayor importancia para la industria y otros métodos de generación de electricidad, como la electrólisis a alta temperatura (véase la sección 6.6.1.1), pero también para la producción de hidrógeno (que probablemente será en el futuro una pieza fundamental de los sistemas energéticos de muchos países) mediante sistemas (catalíticos) termoquímicos.

La energía nucleoelectrica convencional es también una energía de base flexible, con reactores a gran escala que producen electricidad y permiten hacer un seguimiento de carga para equilibrarla con fuentes de energía renovable intermitentes y mucho menos flexibles. La figura 6.11, extraída del documento de la Agencia para la Energía Nuclear (AEN) de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) titulado “Technical and economic aspects of

¹¹ A modo de ejemplo, véase Ling *et al.*, 2016.

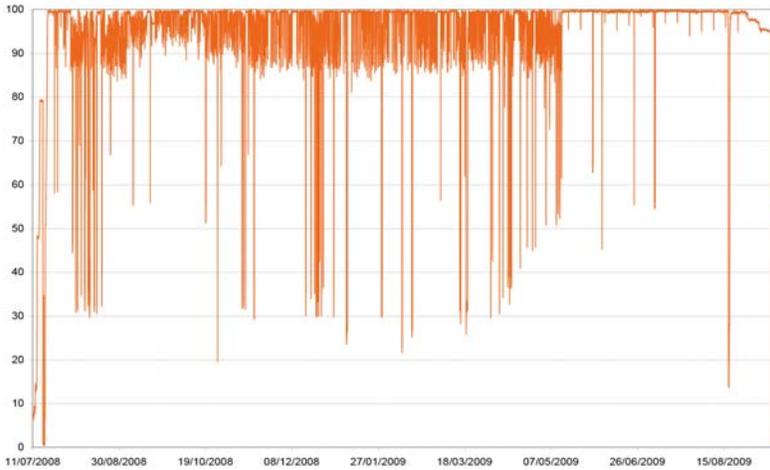


Fig. 6.11 Ejemplo de seguimiento de carga de una central nuclear. Fuente: AEN/OCDE, 2011. Imagen utilizada con permiso de Électricité de France.

load following with nuclear power plants” [Aspectos técnicos y económicos del seguimiento de carga con centrales nucleares],¹² muestra un ejemplo del funcionamiento del seguimiento de carga en el parque francés de EDF, cuya electricidad era en cerca de tres cuartas partes de origen nuclear.

Los aspectos económicos del seguimiento de carga en un reactor nuclear son interesantes y complejos: mientras que el costo de combustible ahorrado es pequeño, los costos marginales (como el uso adicional de resinas de intercambio iónico en los reactores de agua a presión [PWR]) pueden superar con creces ese ahorro. Pero el seguimiento de carga por parte de las centrales nucleares puede practicarse, y de hecho se practica, de forma habitual.

6.5. PRODUCCIÓN EN CADENA: REACTORES MODULARES

Tradicionalmente, la mayoría de las centrales nucleares se construyen en su totalidad en el emplazamiento, por lo que hay una escasa prefabricación o fabricación a gran escala fuera de este. Ello no es así en algunos de los primeros usos habituales de la energía nucleoelectrónica en submarinos, pero, hasta la segunda década del siglo XXI, el método habitual era el conocido como “stick build” (sin preensamblaje). En los primeros años del siglo en curso empezó a aumentar el interés por la posibilidad de sustituir dicho método por un proceso

¹² AEN/OCDE, 2011.

en que la fabricación en paralelo podría reducir el tiempo necesario para llevar a cabo todo el proyecto (parte del motivo por el que los precios de la electricidad nuclear son tan sensibles al costo medio ponderado del capital [WACC, por sus siglas en inglés], como se explica en la sección 6.10.1). Un proceso de fabricación en condiciones de fábrica también debería dar lugar a una calidad mayor y más uniforme de todos los elementos del proceso de construcción y a la eliminación de la reelaboración en una obra.

6.5.1. Estilo AP1000 y seguridad pasiva

En la historia de la energía nucleoelectrica ha prevalecido la ingeniería, que siempre trata de realizar ajustes y cambios, sin ningún intento real de contar con un diseño para la fabricación, sin centrarse realmente en la entrega de nuevos proyectos en lo que respecta a GW/año y prestando escasa atención a la fiabilidad fundamental del costo y el calendario de construcción.

La industria nuclear ha tenido el gran inconveniente de que no había un producto claro. La industria ha estado vendiendo componentes a empresas de servicios públicos que tradicionalmente los integraban en un proceso hecho bastante a medida, a excepción de la República de Corea y China, donde históricamente se ha aplicado un proceso más industrial. No ha habido ningún diseño para la fabricación, no se ha prestado atención a los GW/año y se ha prestado insuficiente atención a la fiabilidad del costo y el calendario. La segunda generación de reactores en el Reino Unido, a saber, reactores avanzados refrigerados por gas (AGR), son distintos entre sí a pesar de la intención de que constituyeran un parque con un diseño común. Hubo un claro intento de impulsar la construcción de parques en el Libro Blanco del Reino Unido de 2008 y, en aquel momento, se creó la evaluación genérica del diseño como parte de las “medidas de facilitación” destinadas a hacer todo lo posible por conseguir un nuevo parque de reactores por adelantado, de una sola vez, y dificultar los cambios durante el proceso si no eran aplicables a todo el parque. A pesar de la visión y la ambición de aquella época, en el momento de escribir el presente artículo, el Reino Unido solo había aprobado un nuevo proyecto de energía nucleoelectrica, y el periódico *Sunday Times* afirmó recientemente que la política nuclear del Reino Unido después de 2010 se había “anquilosado”.¹³

En el Reino Unido, tras el programa de construcción de reactores Magnox, el programa posterior para construir reactores AGR se concibió en un principio para la construcción de un parque de centrales, con el consiguiente aprendizaje y ganancias en eficiencia. En la práctica, los AGR son diferentes

¹³ <https://www.thetimes.co.uk/article/were-pivoting-to-nuclear-but-are-ministers-too-late-vjrmhltb2>. Consultado el 17 de octubre de 2021.

entre sí, con distintos grupos de construcción y con escasa atención puesta en la uniformidad, y ya se ha diseñado un primer modelo de forma detallada y completa. De modo parecido, en los Estados Unidos existía un diseño común de reactores PWR, el diseño SNUPPS (*Standardized Nuclear Unit Power Plant System*) producido por Westinghouse en la década de 1970. El diseño se desarrolló para cuatro empresas de servicios públicos de los Estados Unidos y se construyeron centrales en Callaway y Wolf Creek. La central británica de Sizewell B también se basó en el diseño SNUPPS, pero, como suele ocurrir, fue objeto de importantes modificaciones.

En la década de 1990, varios proveedores de reactores decidieron producir nuevos diseños como parte de los esfuerzos por lograr niveles de seguridad cada vez mayores. Westinghouse produjo primero el diseño AP600, que recibió la certificación de la Comisión Reguladora Nuclear (NRC) en 1999, como primer intento de diseñar un reactor moderno más sencillo y seguro, con una frecuencia de daño al núcleo unas 1000 veces mejor que la exigida por la normativa. Aquel diseño, perfeccionado hasta dar lugar al AP1000, se construyó por primera vez en Sanmen (China) y posteriormente en Vogtle para la empresa estadounidense Southern Company.

Una sola unidad del AP1000 tiene 149 módulos estructurales de cinco tipos y 198 módulos mecánicos de cuatro tipos: equipos, tuberías y válvulas, productos básicos y módulos de servicio estándar. Estos constituyen un tercio de toda la construcción y pueden ser fabricados fuera del emplazamiento de forma paralela a la construcción *in situ*. Es interesante comparar el AP1000 con la anterior unidad de Westinghouse construida en el Reino Unido en Sizewell B, como se muestra en el cuadro 6.3.

En la historia de estas centrales de construcción innovadora se entremezclan problemas y retrasos. En diciembre de 2016, el *Wall Street Journal*¹⁴ informó de

CUADRO 6.3 COMPARACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN ENTRE SIZEWELL B y AP1000

Unidad	Hormigón	Barra de refuerzo
Sizewell B	520 000 m ³ (438 m ³ /MWe)	65 000 t (55 t/MWe)
AP1000	<100 000 m ³ (90 m ³ /MWe)	<12 000 t (11 t/MWe)

¹⁴ <https://www.wsj.com/articles/troubled-chinese-nuclear-project-illustrates-toshibas-challenges-1483051382>. Consultado el 14 de julio de 2021.

que “la construcción en Sanmen avanzaba más rápido que el trabajo de ingeniería de la empresa, decisión que Westinghouse reconoce ahora como errónea. En varias ocasiones, Westinghouse tuvo que extraer equipos ya instalados y empezar de nuevo o emprender largas revisiones de los trabajos de ingeniería”. La construcción de Vogtle se recondujo finalmente cuando la empresa contrató a Bechtel para que se hiciera cargo de la gestión del proyecto, que, como ocurriera en Sanmen, se desviaba del plan previsto, y lo terminara. El proyecto de Sanmen entró en funcionamiento el 28 de junio de 2018 y, en julio de 2021, la construcción de la unidad 3 de Vogtle estaba terminada en aproximadamente un 98 %, mientras que el proyecto total de ampliación de Vogtle 3 y 4 estaba terminado en aproximadamente un 92 %.¹⁵ Se prevé que las enseñanzas extraídas tras la finalización de los AP1000 en Vogtle sirvan de base para una construcción mucho más rápida y previsible de futuros reactores AP1000 a costos que deberían ser económicamente atractivos en comparación con la electricidad renovable. En el momento de redactar el presente artículo, Bechtel, Westinghouse y Southern Company (propietarios de las centrales de Vogtle) están estudiando la construcción de reactores AP1000 en el emplazamiento de Wylfa, en el que Hitachi había estado desarrollando su propio proyecto Horizon hasta que finalmente se suspendió el 31 de marzo de 2021. Se prevé que la propuesta de Bechtel/Westinghouse/Southern Company, en caso de que el Gobierno del Reino Unido decida llevarla adelante, esté disponible mucho antes de que concluya el Sexto Presupuesto de Carbono para el Reino Unido, que incluye medidas muy exigentes, publicado por el Comité de Cambio Climático en diciembre de 2020.¹⁶

De forma paralela, Hitachi y Toshiba, en el Japón, habían diseñado reactores de agua en ebullición (conocidos como ABWR) con un diseño muy modular y métodos novedosos de construcción *in situ*. Según la información disponible,¹⁷ las cuatro primeras unidades de este tipo se han construido en un período de entre 39 y 43 meses en un solo turno, lo que puede reflejar en parte el enfoque sumamente disciplinado de la construcción en el Japón como disciplina profesional, respaldada por un importante refuerzo cultural.

6.5.2. El producto nuclear: una central modular

En vista de los desafíos que plantean los proyectos de reactores capaces de generar gigavatios (la cuantía de los costos de capital sitúa claramente los proyectos en el ámbito del “riesgo soberano”) y de lo problemática que resulta

¹⁵ <https://www.southerncompany.com/innovation/vogtle-3-and-4.html>. Consultado el 14 de julio de 2021.

¹⁶ Comité de Cambio Climático del Reino Unido, 2020.

¹⁷ Asociación Nuclear Mundial, 2021a.

en muchos países la entrega de proyectos de gran envergadura conforme a los plazos y costos previstos (independientemente de la tecnología, la energía o el transporte, por ejemplo), la conclusión lógica del enfoque de construcción modular de reactores a escala de GW era estudiar la posibilidad de realizar diseños más pequeños y de gran modularidad.

Varios de ellos progresan a buen ritmo, siendo el proyecto de NuScale para la compañía eléctrica Utah Associated Municipal Power Systems (UAMPS) el más avanzado en el momento de redactar el presente artículo. El proyecto se basa en un diseño de hasta 12 módulos energéticos NuScale, cada uno de los cuales está diseñado para ser construido en fábrica en su totalidad y poder ser enviado al emplazamiento por río o por carretera. Otros sistemas de componentes se tratarán igualmente de forma modular. Los turbogeneradores, los procesos de control químico y otros sistemas modulares se ensamblarán fuera del emplazamiento, se montarán sobre plataformas y se enviarán al emplazamiento de la central. El costo actual estimado de 6100 millones de dólares incluye los costos inmediatos de capital de NuScale, los costos de los propietarios, el factor de incremento, gastos imprevistos, honorarios, la garantía y los intereses capitalizados, con una potencia de salida prevista de 77 MW por módulo, lo que arroja un posible total de 924 MW.

Según la previsión actual, el proyecto estará listo para que el primer módulo entre en funcionamiento en 2029, y en su artículo de 2019, en el que se examinaba la estructura de costos del módulo energético de NuScale, Black y otros¹⁸ indicaban que, en general, “es probable que los gastos en concepto de costos de capital directos e indirectos, sustancialmente menores según las estimaciones, den lugar a un cálculo del costo normalizado de la electricidad considerablemente más bajo que el de las centrales nucleares convencionales y más acorde con otras tecnologías energéticas”.

A raíz de los avances evidenciados por NuScale, se presta cada vez más atención a los diseños de reactores modulares pequeños, lo cual ha atraído inversiones de capital en los diseños y suscitado un interés considerable entre países de todo el mundo: los Estados Unidos, el Canadá y muchos países europeos expresan actualmente un claro interés en estas tecnologías. Según *World Nuclear News*, los diseños que aparecen a continuación en el cuadro 6.4 están muy avanzados y listos para su implantación a corto plazo.¹⁹

¹⁸ Black *et al.*, 2019.

¹⁹ Asociación Nuclear Mundial, 2021b.

CUADRO 6.4 ALGUNOS DISEÑOS DE REACTORES MODULARES PEQUEÑOS (SMR)

Nombre	Capacidad	Tipo	Promotor
VBER-300	300 MWe	PWR	OKBM, Federación de Rusia
NuScale	77 Mwe	PWR integrado	NuScale Power + Fluor, Estados Unidos
SMR-160	160 Mwe	PWR	Holtec, Estados Unidos + SNC-Lavalin, Canadá
SMART	100 Mwe	PWR integrado	KAERI, República de Corea
BWRX-300	300 Mwe	BWR	GE Hitachi, Estados Unidos
PRISM	311 Mwe	FNR refrigerado por sodio	GE Hitachi, Estados Unidos
Natrium	345 Mwe	FNR refrigerado por sodio	TerraPower + GE Hitachi, Estados Unidos
ARC-100	100 Mwe	FNR refrigerado por sodio	ARC con GE Hitachi, Estados Unidos
Integral MSR	192 Mwe	MSR	Terrestrial Energy, Canadá
CMSR de Seaborg	100 Mwe	MSR	Seaborg, Dinamarca
Prototipo Hermes	<50 MWt	MSR-Triso	Kairos, Estados Unidos
RITM-200M	50 Mwe	PWR integrado	OKBM, Federación de Rusia
BANDI-60S	60 Mwe	PWR	Kepeco, República de Corea
Xe-100	80 Mwe	HTR	X-energy, Estados Unidos
ACPR50S	60 Mwe	PWR	CGN, China
SSR-W de Moltex	300 Mwe	MSR	Moltex, Reino Unido

6.5.2.1. *¿Cuál es la forma más rápida de construir?*

Si el Japón y la República de Corea pueden lograr plazos de construcción aparentemente tan cortos (como se explica en la sección 6.12.2), cabe preguntarse qué es lo que podría hacerse con una construcción a gran escala en paralelo de toda la central. ¿Con qué rapidez podría montarse, por ejemplo, una unidad de 300 MW en el emplazamiento a partir del momento en que se ha instalado una base estándar, como la que Arup ha propuesto para UKSMR? ¿Por qué no cabría reducir el montaje de unidades de construcción modular a menos de dos años con interfaces inteligentes entre módulos?

Este es el desafío al que se enfrenta la industria nuclear en 2021.

6.5.2.2. *El enfoque de UKSMR*

El consorcio UKSMR, fundado por la empresa aeroespacial y de defensa Rolls-Royce, basándose en su amplia experiencia en la construcción de todos los reactores de los submarinos nucleares del Reino Unido, ha avanzado en su diseño de reactores SMR hasta el punto de que se prevé someterlo a la evaluación genérica del diseño del Reino Unido en otoño de 2021. En los últimos años, el concepto de construcción modular en la fabricación de reactores que Rolls-Royce llevaba varios años desarrollando se ha reorientado hacia una visión más amplia de central modular.²⁰ Esto, por supuesto, refleja el hecho de que ningún explotador o inversor estará interesado en un reactor por sí mismo: es toda una central la que en la práctica genera energía e ingresos, y todo lo que pueda hacerse para racionalizar los procesos y reducir el riesgo y los costos de las centrales puede contribuir de manera valiosa a promover los SMR. Ante el reto que supone actualmente el intento de lograr cero emisiones netas, la cuestión fundamental para las nuevas construcciones son los GW/año en el marco de los topes/restricciones del precio de la electricidad. Cuanto más puedan crearse como productos de entrega rápida, más atractivos resultarán los SMR, además de tener un costo de capital mucho más bajo, por lo que solo necesitarán apoyo gubernamental a muy corto plazo. Por supuesto, el desafío seguirá siendo garantizar que los diseños de los SMR se apliquen realmente a la construcción de parques y que, aprendiendo de la experiencia, no se repitan los errores cometidos con los AGR.

Rolls-Royce considera que el actual modelo anticuado de construcción de nuevas centrales nucleares, entendido como proyecto de infraestructura único de gran envergadura, no es el más adecuado para un mundo que necesita que se

²⁰ Comunicación personal.

entreguen nuevas centrales nucleares de forma rápida y asequible en una gran variedad de lugares del mundo.

La empresa afirma que su enfoque permite que aproximadamente el 90 % de la central se produzca en fábrica y se haga llegar por carretera o ferrocarril en forma de módulos, junto con los demás componentes, al emplazamiento previsto, donde el equipo de SMR de Rolls-Royce ensamblará y pondrá en servicio la central mediante un contrato llave en mano de ingeniería, fabricación y montaje.

También tiene claro que ofrecer una central nuclear como producto de fábrica debería aportar las reducciones de costos y riesgos y las mejoras de calidad asociadas a la producción en fábrica, eliminando al mismo tiempo los gastos, plazos y riesgos asociados al desarrollo de una nueva cadena de suministro sin experiencia y a la creación de un equipo de contratistas de ingeniería, suministros y construcción (EPC) para cada nueva central que se construya.

Según el equipo del proyecto, el SMR de Rolls-Royce se ha diseñado desde el principio sobre la base de los requisitos de los usuarios finales y con la atención puesta en los siguientes puntos:

- a) Menor costo de capital por MW instalado según el diseño para:
 - maximizar la potencia con un tamaño físico reducido;
 - utilizar un conjunto de productos disponibles en el mercado, a saber, equipos simplificados y estandarizados que se utilizan en otras aplicaciones, evitando componentes “únicos”;
 - evitar el uso de piezas altas y pesadas producidas por solo unos pocos fabricantes en el mundo;
 - reducir drásticamente las actividades de construcción: construcción modular de toda la central y no solo de la isla nuclear;
 - centrar la construcción modular en la estandarización, la mercantilización, la repetibilidad en fábrica y una lógica de cadena de producción;
 - evitar módulos únicos muy grandes que haya que desmontar para su transporte o que precisen instalaciones costosas para su construcción, y
 - evitar el rediseño de cada emplazamiento con un soporte asísmico para no tener que rediseñarlo cada vez.
- b) Reducción del tiempo de construcción mediante:
 - la producción en fábrica de los módulos y la realización de pruebas funcionales fuera del emplazamiento;
 - módulos transportables por carretera, eliminando la necesidad de nuevas infraestructuras de transporte (p. ej., puertos);
 - el rápido montaje de los módulos *in situ* utilizando la fábrica del emplazamiento;

- la elevación y el montaje simultáneos de los módulos en la fábrica del emplazamiento, y
 - la utilización de la transferencia de conocimientos integrada entre todas las unidades mediante un producto de fábrica repetible.
- c) Menor riesgo/mayor certidumbre:
- bajo riesgo en la concesión de licencias: tecnología PWR de eficacia probada y combustible de uranio estándar;
 - menor impacto ambiental: reducción de la huella del emplazamiento, menor perturbación del emplazamiento y diseño sin boro;
 - la cubierta del emplazamiento proporciona un entorno controlado para el montaje, y
 - el soporte sísmico elimina la necesidad de adaptar el diseño a cada emplazamiento y facilita la concesión de nuevas licencias.

El equipo de Rolls-Royce considera que su enfoque ofrecerá las siguientes ventajas:

- un capital valorado en 1800 millones de libras respaldado por el precio de los equipos existentes y una amplia experiencia como fabricante;
- un costo repetible gracias a un 90 % de producto de fábrica;
- electricidad limpia a escala a un precio competitivo con el de las energías renovables intermitentes;
- una implantación rápida: cuatro años de construcción por unidad de parque;
- sin la necesidad de complejas interfaces contractuales de EPC: modelo de entrega de entidad única de menor riesgo mediante un contrato llave en mano de ingeniería, fabricación y montaje;
- minimización de las perturbaciones del emplazamiento durante la construcción (una media de 500 personas en el emplazamiento evita la necesidad de disponer de una amplia infraestructura para los trabajadores);
- gran escalabilidad gracias a una innovadora metodología de producción;
- puede adaptarse a la infraestructura existente (red eléctrica, transporte);
- su huella compacta aumenta la flexibilidad del emplazamiento y maximiza las posibles ubicaciones de la central (incluida la sustitución de centrales existentes alimentadas con carbón o gas);
- la opción de refrigeración indirecta aumenta la flexibilidad de selección del emplazamiento;
- la creación de empleo a largo plazo y de manera sostenible en las fábricas y en la cadena de suministro, evitando el ciclo de expansión y contracción asociado a los grandes proyectos de infraestructuras únicas;
- una producción de electricidad o calor para múltiples usos adaptable a aplicaciones dentro y fuera de la red;

- un menor capital, riesgo y tiempo de construcción permiten a las entidades comerciales invertir sobre una base estándar de deuda y patrimonio;
- un producto de fábrica repetible de bajo coste, en lugar de un gran proyecto de infraestructura único, y
- escaso riesgo de terminación, dada la fabricación estandarizada del producto y la entrega repetible de centrales mediante un contrato llave en mano de ingeniería, fabricación y montaje.

En el momento de redactar el presente artículo, se rumorea que Rolls-Royce ha recaudado más de 200 millones de libras de capital privado para igualar los fondos del Gobierno del Reino Unido anunciados en noviembre de 2020.²¹ Se prevé un anuncio al respecto en fechas próximas a la CP 26.

6.5.2.3. Enfoque BWRX-300 de GE

Por su parte, GE, sobre la base de su diseño del reactor económico simplificado de agua en ebullición (ESBWR), que obtuvo la licencia de la NRC en 2014 (aunque nunca se construyó), ha desarrollado un reactor de agua en ebullición de 300 MW (BWRX-300). GE ha desarrollado este diseño en colaboración con Dominion Power²² y otras partes. GE colabora actualmente con Ontario Power Generation²³ para promover la posible implantación de reactores modulares pequeños en Ontario. Existe una hoja de ruta relativa a los SMR para el Canadá que goza de amplio apoyo en el país,²⁴ del que podría decirse que es el que muestra actualmente mayor entusiasmo por los reactores de este tipo. Altos cargos gubernamentales, en especial el Ministro de Recursos Naturales, Seamus O'Regan, consideran que los SMR son herramientas indispensables para cumplir las metas de emisiones de gases de efecto invernadero del Canadá, sustituyendo las centrales alimentadas con carbón y electrificando las instalaciones de extracción de minerales y de petróleo y gas.

Al igual que el diseño de UKSMR, el BWRX-300 adopta un enfoque modular para toda la central, lo que constituye una ventaja para GE porque dispone de sus propios diseños de turbinas. Debido al linaje de los SMR de GE y a que ya se han concedido licencias para muchos de sus componentes, cabe

²¹ <https://www.ukri.org/news/uk-government-invests-215-million-into-small-nuclear-reactors>. Consultado el 14 de julio de 2021.

²² <https://nuclear.gewater.com/build-a-plant/products/nuclear-power-plants-overview/bwrx-300>. Consultado el 14 de julio de 2021.

²³ <https://www.ge.com/news/press-releases/ge-hitachi-working-ontario-power-generation-smr-technology-options-ontario>. Consultado el 14 de julio de 2021.

²⁴ <https://smrroadmap.ca>. Consultado el 14 de julio de 2021.

argüir que, al tratarse de un tipo de diseño conocido con la fecha de licencia del ESBWR, el proceso de concesión de licencias para los SMR de GE podría ser relativamente rápido. Será interesante ver qué pasa en la práctica.

El BWRX-300 se basa en los éxitos logrados y las enseñanzas extraídas a lo largo de más de 60 años de funcionamiento de los BWR. A continuación se presentan sus características más destacadas:

- un reactor de agua en ebullición de décima generación;
- un diseño desarrollado a partir del ESBWR, que cuenta con la licencia de la NRC de los Estados Unidos;
- un enfoque de diseño centrado en los costos;
- una reducción considerable de los costos de capital por MW;
- una seguridad tecnológica de primera clase;
- capacidad de seguimiento de carga;
- idoneidad para la generación de electricidad y aplicaciones industriales, incluida la producción de hidrógeno;
- constructibilidad integrada en el diseño;
- menos personal y seguridad física en el emplazamiento;
- inicio del proceso de concesión de licencias en los Estados Unidos y el Canadá, y
- operativo en 2028.

El BWRX-300 optimiza la innovación mediante la preparación tecnológica. Se basa en técnicas de eficacia probada en cuanto a combustible, materiales y fabricación, al tiempo que incorpora innovadores conceptos de diseño pasivos y sencillos. El resultado es un diseño rentable de reactor avanzado con una seguridad tecnológica y un rendimiento económico de primer orden que puede recibir la licencia correspondiente y construirse a corto plazo. También presenta un nivel de riesgo bajo con respecto a los grandes proyectos históricos de reactores de agua ligera (LWR) en los Estados Unidos y promete ser muy competitivo en el mercado energético mundial.

Las simplificaciones clave del BWRX-300 son el uso de válvulas de aislamiento de la vasija de presión del reactor (VPR), que mitigan las consecuencias de los accidentes con pérdida de refrigerante, y condensadores de aislamiento de gran capacidad que proporcionan protección contra la sobrepresión sin necesidad de válvulas de alivio de seguridad. En la figura 6.12 se muestra un esquema en sección del diseño (reproducido con autorización y derechos de autor de GE Hitachi Nuclear Energy).

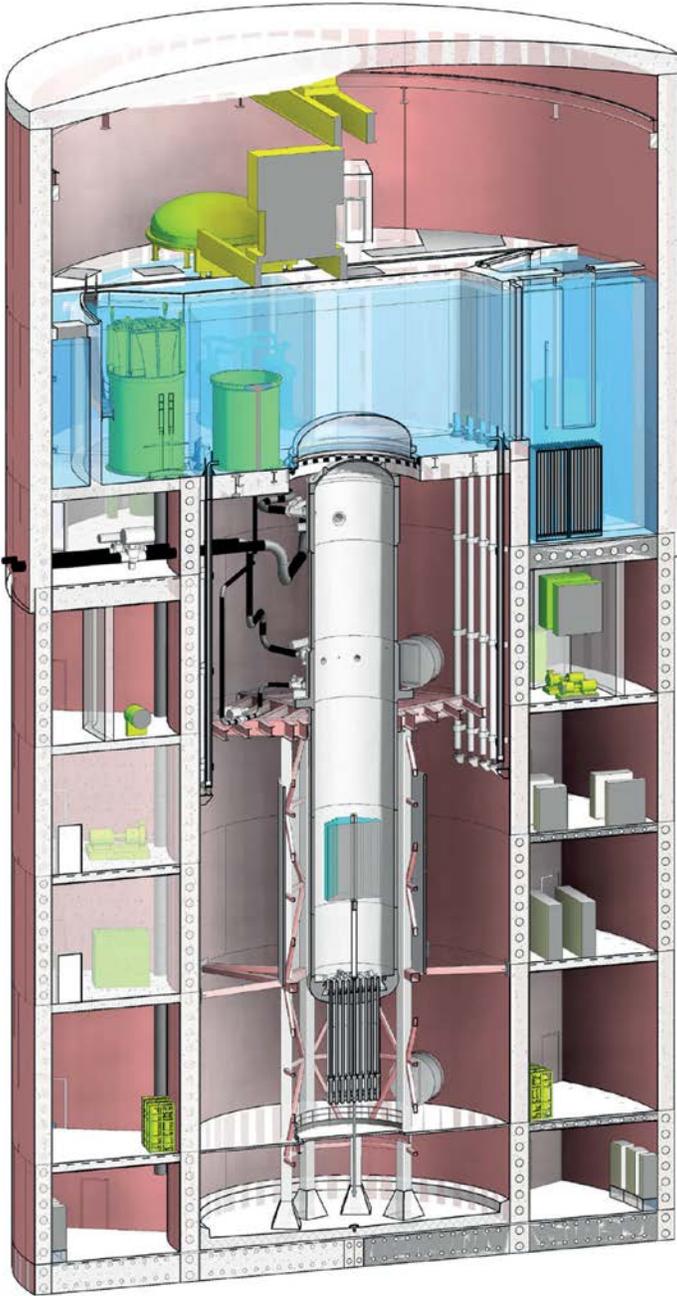


Fig. 6.12 Sección del reactor BWRX-300 de GE y de la contención. Fuente: GE Hitachi Nuclear Energy Americas LLC.

6.5.3. ¿O construir en astilleros?

Mientras tanto, hay una corriente de pensamiento que aboga por llevar aún más lejos el diseño de los reactores modulares pequeños utilizando técnicas modernas de fabricación en astilleros para conseguir nuevos avances en la velocidad y la calidad de la fabricación de los SMR. La experiencia adquirida en materia de construcción modular, por ejemplo en el caso del buque de investigación Sir David Attenborough y los nuevos portaviones del Reino Unido, ha puesto de relieve lo que se puede lograr.²⁵ Cada vez hay más proyectos de construcción naval en el ámbito de la defensa, como la reciente propuesta del Grupo Babcock de nuevos buques de guerra para la Marina griega, que utiliza un sistema de construcción modular basado en la exitosa fragata Tipo 31 del Reino Unido.

En el mundo de la navegación de propulsión nuclear, si bien los submarinos nucleares fueron los primeros, con la puesta en marcha del prototipo de reactor Mark 1 en Idaho en 1953, el USS Nautilus fue botado en 1954 tras la colocación de la quilla en junio de 1952. En fechas más recientes, la construcción de rompehielos rusos no ha sido ni mucho menos tan rápida: el Arktika comenzó a construirse en noviembre de 2013 y quedó listo para las pruebas de mar con propulsión nuclear en junio de 2020, con lo que se incumplió la fecha de finalización original de diciembre de 2017. Sin duda, la crisis en Ucrania ha tenido un papel importante en el retraso.

Otro avance interesante fue la construcción y puesta en funcionamiento de la central nuclear flotante Akademik Lomonosov. La quilla se colocó en abril de 2007 y la fecha prevista de finalización era mayo de 2010. Sin embargo, tras una segunda puesta de quilla en otro astillero, el buque fue botado a finales de junio de 2010 —los reactores se instalaron en octubre de 2013 y la carga de combustible nuclear se realizó en abril de 2018— y comenzó a funcionar en diciembre de 2019 suministrando tanto electricidad como calor a Pevek, ciudad rusa situada en el círculo polar ártico.

Se han desplegado muchos esfuerzos para ver cómo podría utilizarse la construcción naval moderna en países como la República de Corea y Singapur para construir no solo centrales flotantes, sino también buques de propulsión nuclear y fábricas flotantes de hidrógeno. Una de las organizaciones que trabaja en ello es CorePower,²⁶ dirigida por profesionales con experiencia del sector del transporte marítimo, que ha generado la suficiente confianza en su enfoque para

²⁵ <https://www.clbh.co.uk/project-news/modular-construction-expertise-put-cammell-laird-premier-league-shipbuilding>. Consultado el 14 de julio de 2021.

²⁶ <https://corepower.energy>. Consultado el 14 de julio de 2021.

poder financiarse en su totalidad a través de inversores privados de los sectores del transporte marítimo y las finanzas.

Cabe mencionar igualmente la gigafábrica propuesta por LucidCatalyst (figura 6.13), que contaría con una instalación especializada en que las fuentes de calor a alta temperatura, y el equipo conexo, se fabrican e instalan *in situ*. Las instalaciones de producción de hidrógeno también se fabricarían, instalarían, pondrían en servicio y explotarían *in situ*. Este enfoque integrado se basa en las prácticas modernas de fabricación naval.

LucidCatalyst afirma que “la principal ventaja de la fabricación en astilleros se deriva de la alta productividad, que redonda en menores costos y proyectos más rápidos. La productividad de los astilleros es una de las más altas del mundo. Los costos de mano de obra constituyen solo entre el 10 % y el 15 % del costo final de montaje y entrega. En cambio, la mano de obra constituye hasta el 35 % de los costos en las construcciones convencionales de mayor nivel. Los astilleros más productivos de la República de Corea y del Japón han logrado mantener un aumento de la productividad de entre el 10 % y el 15 % al año durante varios años”.²⁷

La gigafábrica propuesta por LucidCatalyst utilizaría múltiples fuentes de calor (600 MWt) conectadas a una unidad de intercambio de calor que transfiere



Fig. 6.13 Concepto de gigafábrica de hidrógeno de LucidCatalyst. Fuente: LucidCatalyst 2020.

²⁷ LucidCatalyst, 2020.

el calor a una red de suministro de calor de sales fundidas para una planta termoquímica de hidrógeno. La construcción de las instalaciones de fabricación incluiría accesos ferroviarios y portuarios, de modo que la planta de fabricación podría enviar los componentes de alto valor que no se utilicen necesariamente en las instalaciones cuando la construcción de la planta haya finalizado.

LucidCatalyst considera que las gigafábricas de hidrógeno pueden ubicarse en terrenos contaminados del tamaño de una refinería, como las grandes refinerías costeras de petróleo y gas existentes, con puntos de interconexión a gran escala con la red de gas. Esto evita la necesidad de interconectar múltiples proyectos de hidrógeno dispersos a la red principal de gas. También puede ser conveniente ubicar junto a ellas instalaciones de producción de amoníaco u otras plantas de conversión de combustibles sintéticos que utilicen el hidrógeno como materia prima, que así gozarían de un suministro barato de electricidad e hidrógeno.

Otras organizaciones, como Thorcon²⁸ y Seaborg,²⁹ están estudiando la posible fabricación en astilleros de centrales flotantes y la producción de hidrógeno.

El equipo de Core Power trabaja actualmente en diseños de buques nucleares que, de resultar viables, revolucionarían el transporte marítimo de gran tamaño y eliminarían una de las mayores fuentes de emisiones de CO₂ en 2050, que se calcula³⁰ que para entonces supondrán alrededor del 17 % de las emisiones mundiales. Los buques de la clase Cape que se están diseñando con propulsión nuclear ofrecerían unos 2,5 millones de millas de autonomía a máxima velocidad de crucero entre repostajes, con una velocidad de crucero superior a 30 nudos que transformaría no solo las oportunidades comerciales transpacíficas, sino que también evitaría la necesidad de utilizar el canal de Suez. A raíz de los graves problemas logísticos causados por el incidente del buque Ever Given en el canal de Suez en 2021, la posibilidad de no tener que utilizar el canal podría ser transformadora también para el comercio entre Asia y Europa.

6.6. LA ENERGÍA NUCLEAR COMO PROVEEDOR DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO

Los estudiantes de ciencias de secundaria están muy familiarizados con la generación de hidrógeno y oxígeno a partir del agua mediante la aplicación de electricidad. La electrólisis convencional no es un método especialmente

²⁸ <https://thorconpower.com>. Consultado el 14 de julio de 2021.

²⁹ <https://www.neimagazine.com/news/newsamerican-bureau-of-shipping-assesses-seaborgs-compact-molten-salt-reactor-8421245>. Consultado el 14 de julio de 2021.

³⁰ <https://www.transportenvironment.org/discover/shipping-emissions-17-global-co2-making-it-elephant-climate-negotiations-room>. Consultado el 14 de julio de 2021.

económico de producción de hidrógeno y la mayor parte del hidrógeno utilizado en la industria química se produce mediante el reformado de metano con vapor, en que la reacción acaba produciendo cuatro moléculas de hidrógeno y una molécula de CO_2 a partir de una molécula de metano y dos moléculas agua (en forma de vapor). Este proceso se está promoviendo ampliamente para la creación de una economía del hidrógeno a corto plazo. La electrólisis moderna utiliza técnicas más sofisticadas, como las pilas de membrana de electrolito polimérico (PEM), que funcionan con altas densidades de corriente y pueden producir grandes cantidades de hidrógeno.

Sin embargo, como en la mayoría de las reacciones químicas, a temperaturas progresivamente más altas, el rendimiento aumenta y la electrólisis a alta temperatura con empleo de pilas de óxido sólido puede producirse a temperaturas de entre $100\text{ }^\circ\text{C}$ y $850\text{ }^\circ\text{C}$. El rendimiento pasa de alrededor del 41 % a $100\text{ }^\circ\text{C}$ a alrededor del 64 % a $850\text{ }^\circ\text{C}$.

A altas temperaturas, también es posible convertir CO_2 y vapor en una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono, denominada gas de síntesis. Posteriormente, este se puede hacer reaccionar para crear combustibles hidrocarbonados y otros productos químicos.³¹

6.6.1. Hidrógeno: procesos termoquímicos (reactores modulares avanzados/Generación IV)

Existen dos vías para ello: los procesos catalíticos termoquímicos directos y la electrólisis de vapor a alta temperatura. Ambas requieren temperaturas superiores a $500\text{ }^\circ\text{C}$ y a temperaturas aún más altas, cercanas a los $1000\text{ }^\circ\text{C}$, podrían entrar en juego técnicas con un potencial mucho mayor.

6.6.1.1. Electrólisis de vapor a alta temperatura

En estos procesos se suelen utilizar pilas de combustible de óxido sólido (pilas SOFC) funcionando en sentido inverso.³² Ceres Power, empresa que desarrolla pilas SOFC, está estudiando cómo producir hidrógeno utilizando sus pilas,³³ que es probable que funcionen a temperaturas más altas, cercanas a

³¹ Elder *et al.*, 2015.

³² Las pilas SOFC se concibieron en un principio para generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno, pero pueden invertirse para producir estos elementos por electrólisis a alta temperatura del vapor; Keçebaşa *et al.*, 2019.

³³ <https://www.proactiveinvestors.co.uk/companies/news/941528/ceres-power-revenues-ahead-of-target-as-fuel-cell-production-scales-up-941528.html>. Consultado el 14 de julio de 2021.

los 1000 °C. El Laboratorio Nacional de Idaho (Estados Unidos) ha informado recientemente de avances con una pila SOFC moderna a temperaturas más bajas, en torno a los 600 °C.³⁴ Dada la probable demanda de hidrógeno para sustituir al gas natural en la calefacción y como combustible alternativo para el transporte, están cobrando importancia rápidamente los rendimientos elevados de producción. LucidCatalyst señala que la rentabilidad de la producción de hidrógeno favorece en última instancia a la energía nuclear a alta temperatura (véase la figura 6.14). Una de las cuestiones que tener en cuenta será la eficiencia relativa de los procesos termoquímicos, que evita las ineficiencias de la creación de electricidad, frente a las complejidades de los procesos catalíticos que solo utilizan el calor.

En su análisis, LucidCatalyst considera que la construcción de reactores de agua ligera aprovechando las eficiencias de los astilleros debería ser el método más barato para crear hidrógeno a largo plazo. En cualquier caso, su trabajo indica que es una carrera muy reñida entre ese método y la creación de hidrógeno mediante reactores de alta temperatura refrigerados por gas (HTGR), de los cuales el HTGR japonés es posiblemente el diseño más maduro, si bien el reactor modular de lecho de bolas de alta temperatura (HTR-PM) chino³⁵ tenía previsto cargar el combustible a principios de 2021.³⁶

6.6.1.2. *Catálisis termoquímica*

Al poder disponer de calor a alta temperatura gracias a los diseños de reactores avanzados, hay dos (entre otros muchos) procesos catalíticos termoquímicos que pasan a ser muy interesantes. Se trata del ciclo cobre-cloro (Cu-Cl) y del ciclo azufre-yodo (S-I). Ambos ciclos se describen en un examen exhaustivo de Funk.³⁷ Ambos presentan un rendimiento general de entre el 45 % y el 50 %, por lo que pueden competir con la electrólisis convencional mediante las pilas SOFC. El ciclo cobre-cloro podría adaptarse bien a la gama de temperaturas producidas por el reactor de alta temperatura diseñado por Urenco, el uBattery,³⁸ que puede producir calor hasta los 710 °C. El ciclo azufre-yodo encajaría mejor con diseños de alta temperatura como el HTGR del Organismo de Energía Atómica del Japón (JAEA), al necesitar

³⁴ <https://inl.gov/article/new-technology-improves-hydrogen-manufacturing>. Consultado el 14 de julio de 2021.

³⁵ El HTR-PM de la Corporación Nuclear Nacional de China (CNNC) es un reactor de lecho de bolas que se está desarrollando desde aproximadamente 2012 y utiliza combustibles esféricos a prueba de accidentes. Su uso está destinado inicialmente a la producción de electricidad.

³⁶ <https://www.neimagazine.com/news/newsfirst-fuel-shipped-to-chinas-htr-pm-project-8453226>. Consultado el 14 de julio de 2021.

³⁷ Funk, 2001.

³⁸ <https://www.u-battery.com>. Consultado el 14 de julio de 2021.

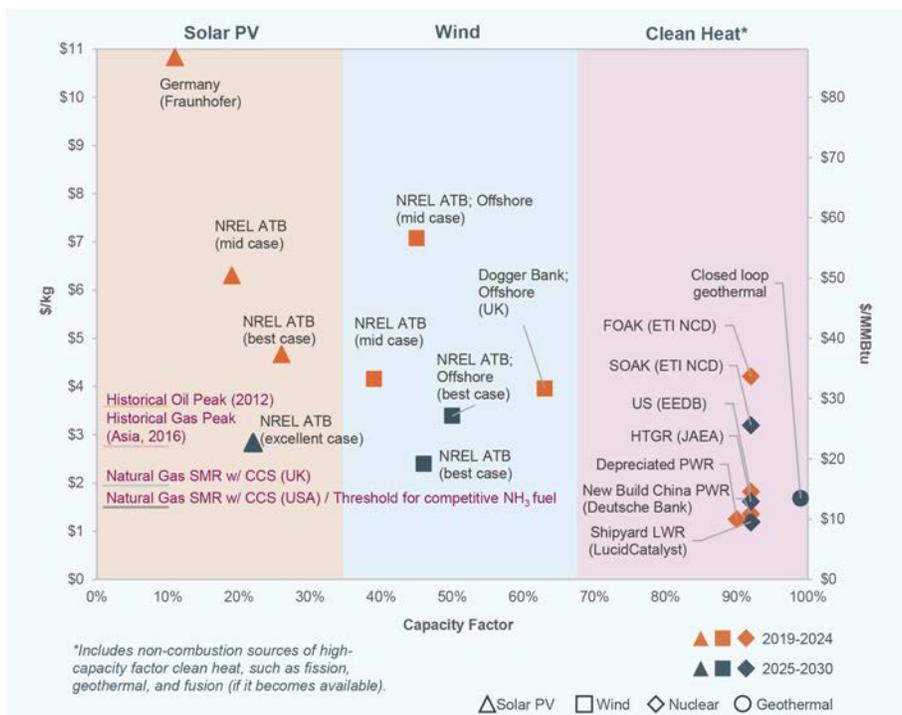
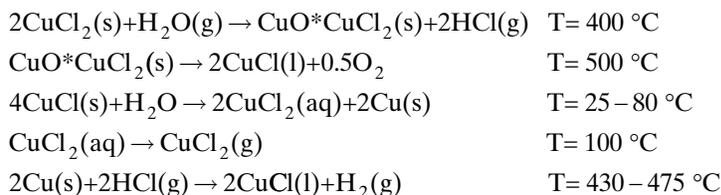


Fig. 6.14 Costo real de la producción de hidrógeno con distintas tecnologías energéticas, en la actualidad y en 2030. Fuente: LucidCatalyst 2020

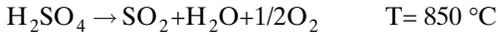
temperaturas más elevadas para un paso concreto del ciclo. El HTGR japonés,³⁹ que alcanzó la primera criticidad en 1998 y cuenta con muchos años de desarrollo a sus espaldas, volvió a funcionar recientemente tras la parada general de todas las instalaciones nucleares del Japón a raíz de la tragedia de Fukushima.

A continuación se muestran las reacciones químicas de los dos ciclos catalíticos. En primer lugar, las del ciclo cobre-cloro:



³⁹ Nishihara *et al.*, 2018 (descripción del HTGR japonés).

En segundo lugar, las del ciclo azufre-yodo:



En conjunto:



6.7. LA ENERGÍA NUCLEAR COMO BATERÍA

6.7.1. Natrium

La energía nucleoelectrica ha sido alabada tradicionalmente por el hecho de operar en carga base ininterrumpidamente con factores de gran capacidad. Sin embargo, en una época en que la intermitencia intrínseca de otras fuentes de electricidad bajas en carbono crea importantes problemas de despacho y seguimiento de carga, ese aspecto de energía sólida y siempre disponible de la energía nucleoelectrica es criticado a veces por los defensores de las energías renovables (contraponiéndolo al resultado real necesario, una energía baja en carbono). Un diseño reciente podría cambiar esa percepción y, al mismo tiempo, producir electricidad a un precio económico, especialmente si se financia con un costo de capital suficientemente bajo. El diseño de Natrium, de la empresa de tecnología nuclear TerraPower fundada por Bill Gates (firme defensor de la energía nucleoelectrica para hacer frente a las cuestiones relativas al objetivo de cero emisiones netas y al cambio climático), adopta un enfoque diferente con respecto a los problemas de despacho y seguimiento de carga. El diseño combina un reactor rápido refrigerado por sodio (véase también la sección 6.9.2) y una gran capacidad de almacenamiento con empleo de sales fundidas. El depósito de sales fundidas es el que proporciona el calor para la producción de vapor para las turbinas. Cuando la demanda es baja, el calor del reactor se almacena en la sal fundida; cuando la demanda es alta, se utiliza el calor de la sal fundida mientras el reactor sigue proporcionando calor. Los diseñadores describen este enfoque como un reactor con un dispositivo integrado de almacenamiento de energía. En el momento de redactar el presente artículo, hay cuatro comunidades de Wyoming candidatas a acoger un nuevo reactor nuclear en ese estado. La central de nueva generación sustituirá a una central existente alimentada con carbón. En

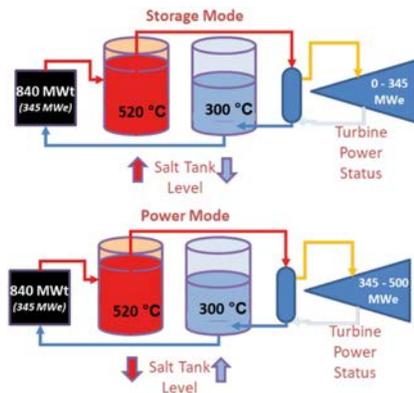
vista de los promotores del proyecto, es evidente que el diseño ha despertado un gran interés. Entre ellos se encuentran PacifiCorp (filial de Berkshire Hathaway, para la que se construirá la central), Bechtel Corporation, GE Hitachi Nuclear Energy Americas, Energy Northwest, Duke Energy Carolinas (otra empresa con experiencia en la producción de energía eléctrica de origen nuclear) y varios laboratorios nacionales estadounidenses (Argonne, Idaho, Los Álamos, Oak Ridge y Pacific Northwest). Algunos aspectos del diseño se muestran en el esquema del emplazamiento de la figura 6.15 (reproducido con la autorización de TerraPower LLC).

La capacidad de aumentar o reducir la producción eléctrica se muestra en forma de diagrama en la figura 6.16.

Está claro que el enfoque de Natrium ofrece una solución con un gran potencial, a una escala que no pone a prueba la tolerancia al riesgo de los Estados, para un mundo en que la energía nucleoelectrica y las fuentes de energía renovable intermitentes tendrán que coexistir de forma eficiente. Resolver los problemas de intermitencia con un sinfín de baterías va más allá de la analogía de matar moscas a cañonazos. Es muy poco probable que en el diseño de cualquier sistema racional, pudiéndose emplear tecnologías como la de Natrium, se prefiera una solución con baterías, a menos que sea absolutamente inevitable. Evidentemente, la producción de hidrógeno conllevará el deseo de disponer de una gran capacidad de almacenamiento, a menos que se pueda, en uno o dos días, generar hidrógeno según la demanda. La tecnología de transición de reformado de metano con vapor será claramente de ayuda, pero con un sistema de energía



Fig. 6.15 Distribución del emplazamiento de una unidad de Natrium. Fuente: TerraPower LLC



- Store when renewables producing power (lower prices) and discharge when they are not (higher prices)
- Sodium is different from LWRs because the outlet temperatures are high enough to support storage
- Reactor output is steady ... minimize cycling of water
- Load following above and below 100% reactor power

Fig. 6.16 Diagrama de la potencia de salida flexible de Natrium. El almacenamiento permite que la energía nucleoelectrónica deje de desempeñar solamente un papel de carga base, lo que permite una mayor utilización de las energías renovables. Fuente: TerraPower

primaria intrínsecamente controlable y predecible combinando tecnologías como Natrium con las energías renovables podría convertirse en la solución de menor costo. Conviene observar muy atentamente los avances en Wyoming, tanto por la tecnología innovadora utilizada como por el firme apoyo de Bill Gates y un equipo profesional cuidadosamente seleccionado.

6.8. LA ENERGÍA NUCLEAR COMO DESCARBONIZADORA INDUSTRIAL

6.8.1. Los SMR y el calor de proceso

En la carrera por descarbonizar la industria, algunas empresas privadas de Polonia están empezando a dar ejemplo. Tres multimillonarios trabajan juntos en ese país para construir reactores nucleares que proporcionen calor y energía a sus procesos industriales. La empresa de Sebastian Kulczyk, Ciech, ha firmado una carta de intención con la empresa de Michał Sołowow, Synthos. Recientemente, Zygmunt Solorz-Żak también ha aunado fuerzas con Sołowow. Ciech y Synthos cooperan en el desarrollo de reactores modulares pequeños y microrreactores. La cooperación de Ciech (representante de un sector de alto consumo energético de gran importancia para la economía polaca) con Synthos Green Energy puede contribuir tanto a acelerar el proceso de descarbonización de la industria nacional como a fortalecer su posición en el mercado mundial. Synthos se ha

convertido en un asociado estratégico y exclusivo de GE-Hitachi Nuclear Energy Americas LLC para la implantación de la tecnología de los SMR a través del reactor BWRX-300. Habrá muchos más en la práctica y hay un gran número de conversaciones en curso en el momento de redactar el presente artículo.

6.8.2. Los reactores modulares avanzados y el uso sin conexión a la red (minería, otros usos industriales remotos)

Los mejores ejemplos al respecto provienen del Canadá, donde las necesidades energéticas en lugares remotos plantean un gran desafío. Hay muchas comunidades donde la energía se obtiene mediante grupos electrógenos diésel y, en el peor de los casos, el diésel se hace llegar por vía aérea. Ha habido un impresionante impulso en materia de políticas por parte de las administraciones federal y provinciales para fomentar la confianza en las perspectivas nucleares del Canadá, que no solo incluye el aprovechamiento del laboratorio nacional del país de manera impresionante y creativa, sino también el impulso de Ontario Power Group, que actualmente está en proceso de seleccionar una de las siguientes tres oportunidades de SMR: el BWRX-300 de GE, el IMSR de Terrestrial y el reactor X-Energy.

Pero para el uso sin conexión a la red, los reactores como el uBattery son ideales, ya sea para el uso comunitario o como fuente de energía para la industria o minería. El Gobierno del Canadá ha elaborado diversos y claros documentos de política, que sigue cumpliendo. La Hoja de Ruta de 2018 de la Asociación Nuclear Canadiense⁴⁰ es un marco de referencia claro que cuenta con el firme apoyo del Gobierno. Posteriormente, el Gobierno Federal puso en marcha un plan de acción en diciembre de 2020⁴¹ y el impulso se mantiene.

6.8.3. Reactores modulares avanzados y descarbonización marina

Como ya se ha señalado (véanse las secciones 6.2 y 6.11), existe interés en utilizar el amoníaco como combustible para el transporte marítimo. Sin embargo, ello conllevaría importantes requisitos de infraestructura en todos los puertos y el manejo de una sustancia mucho más peligrosa y con un riesgo mucho mayor que el combustible marino convencional. Un grupo de expertos escandinavos del sector del transporte marítimo ha creado una organización con el nombre de Core

⁴⁰ <https://smroadmap.ca>. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁴¹ <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/energy-sources-distribution/nuclear-energy-uranium/canadas-small-nuclear-reactor-action-plan/21183>. Consultado el 14 de julio de 2021.

Power,⁴² con operaciones en Londres y Singapur, y está trabajando en el diseño de buques de propulsión nuclear en colaboración con TerraPower y otras empresas. Una de las diferencias fundamentales entre los grandes portacontenedores de propulsión convencional y los de propulsión nuclear es que en estos últimos el consumo de combustible es en gran medida irrelevante (en comparación) y el combustible de los buques de propulsión nuclear podría durar de 15 a 20 años. También es posible, dada la gran cantidad de energía que ofrecen las fuentes nucleares, que puedan diseñarse grandes portacontenedores que naveguen a más de 30 nudos. De resultar práctico, el transporte a granel se verá transformado: el comercio transpacífico será muy diferente y mucho más práctico, y el canal de Suez será menos necesario, ya que, a 30 nudos, bordear África Meridional se ajustará plenamente a los plazos de los clientes.

Esta es una de las fascinantes innovaciones que pasan en gran medida desapercibidas.

6.9. QUEMAR NUESTRO LEGADO: NUEVO DISEÑO DE REACTOR PARA APROVECHAR LOS DESECHOS

6.9.1. Ciclo cerrado del combustible

La industria nucleoelectrónica siempre ha tenido un talón de Aquiles a ojos del público con respecto a la cuestión de los desechos nucleares. Los desechos son casi siempre la primera o segunda cuestión u objeción que se plantea cuando se debate públicamente sobre la energía nucleoelectrónica. Se han desplegado grandes esfuerzos relativos a la disposición final geológica profunda en Finlandia (el depósito de Onkalo, que comenzó a construirse en mayo de 2021), en los Estados Unidos (el proyecto de Yucca Mountain y el emplazamiento operativo de la Planta Piloto de Aislamiento de Desechos (WIPP) en Nuevo México) y en el Reino Unido, donde la labor de la organización Radioactive Waste Management heredó décadas de trabajo realizado por Nirex. En el Reino Unido, hay comunidades que están compitiendo por la oportunidad de albergar una instalación de disposición final geológica profunda, y ya se están manteniendo conversaciones con Allerdale y Copeland (ambas cerca de Sellafield). Al parecer, otras comunidades podrían mostrar interés a su debido tiempo.

El tema es lo suficientemente delicado como para que, en el Libro Blanco del Reino Unido de 2008, las políticas se basaran en la hipótesis de un ciclo único del combustible (sin reprocesamiento) y en la exigencia de que, antes de autorizar ningún proyecto de construcción nuclear, la Secretaría de Estado (el Gobierno) se

⁴² <https://corepower.energy>. Consultado el 14 de julio de 2021.

asegurase de que “existen o existirán medidas eficaces para gestionar y eliminar los desechos que se produzcan”.

No obstante, la disposición final geológica profunda no es la única opción. En China y en la Federación de Rusia sigue habiendo interés por el “ciclo cerrado del combustible”. Durante la combustión de uranio en los reactores convencionales, solo se consume una pequeña cantidad de este (el ^{235}U). La mayor parte del uranio (normalmente el 97 %) no se quema. Sin embargo, todo elemento con un número atómico superior a 56 (hierro) puede, en teoría, dividirse mediante una reacción de fisión para liberar energía. En términos generales, cuanto mayor es el número atómico, mayor es la cantidad de energía que puede liberarse a raíz de la fisión de cada átomo. Las correspondientes leyes físicas pueden encontrarse en numerosos libros de texto, siendo el concepto clave la “energía de enlace por nucleón” (véase la figura 6.17), es decir, la cantidad de energía que une a cada protón y neutrón en el núcleo del átomo.

En principio, cada átomo de uranio podría dividirse para liberar energía con la tecnología adecuada. Los reactores nucleares convencionales están diseñados para facilitar una reacción de fisión en cadena utilizando neutrones lentos: la función del moderador en cada reactor es ralentizar los neutrones emitidos en la reacción nuclear en cadena de modo que, *grosso modo*, tengan más tiempo para reaccionar con otro átomo de uranio mientras se desplazan por el núcleo del

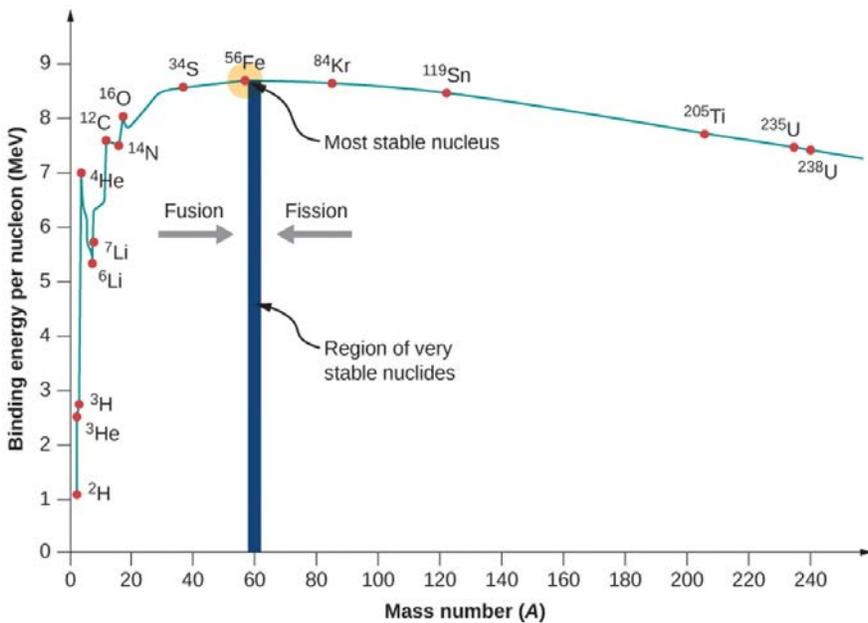


Fig. 6.17 Energía de enlace por nucleón. Fuente: Ling et al., 2016

reactor. Estos neutrones lentos suelen denominarse “neutrones térmicos”, ya que su velocidad es más o menos la que cabría esperar de moléculas a temperaturas de funcionamiento normales, mientras que cuando se emiten neutrones a partir del proceso de fisión, su velocidad inicial es mucho más cercana a la de la velocidad de la luz. Esto puede observarse en la práctica en las piscinas de combustible de los reactores nucleares, donde se almacena el combustible gastado, que desprende un brillo azulado. Ello se conoce como radiación de Chérenkov y se produce cuando las partículas beta (electrones) se ralentizan, pasando de (casi) la velocidad de la luz en el combustible de uranio a la (menor) velocidad de la luz en el agua.⁴³

6.9.2. Reactor de neutrones rápidos

Es posible diseñar otro tipo de reactor que utilice directamente los neutrones rápidos sin necesidad de ralentizarlos. Estos denominados “reactores rápidos” se conocen desde los primeros días de la energía nucleoelectrónica (el reactor EBR-1 y su sucesor, el EBR-2, que entraron en funcionamiento por primera vez en diciembre de 1951 y julio de 1964, respectivamente). Dicho de manera tosca, en los reactores rápidos los neutrones golpean los átomos de uranio con extrema fuerza y desgajan otros neutrones del núcleo, liberando con ello energía. Sobre esta base, si el combustible de uranio se utilizara durante mucho tiempo (se suele cifrar en unos 60 años el tipo de escala temporal necesaria), los únicos elementos que quedarían serían mucho más pequeños (es decir, con bajo número atómico) y, de nuevo en general, los elementos radiactivos de la parte central de la tabla periódica tienen un período de semidesintegración mucho más corto que los elementos de alto número atómico que resultan de la desintegración de los átomos de uranio en los reactores de agua ligera y otros reactores de neutrones térmicos.

De ahí que la idea de un ciclo cerrado del combustible⁴⁴ sea empezar con minerales de uranio, enriquecerlos (o no), procesarlos secuencialmente en reactores (lentos y rápidos) y hacer que la fisión se produzca durante el mayor tiempo posible. Posteriormente, se toman los desechos resultantes, que tienen un período de semidesintegración relativamente corto, se almacenan de la forma más segura posible durante varios cientos de años, y finalmente se toman los desechos restantes con, para entonces, un bajo nivel de radiactividad y se devuelven a las minas de las que se extrajo originalmente el uranio. China, la India y la Federación

⁴³ https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Cherenkov_Effect.htm. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁴⁴ OIEA, 2011.

de Rusia⁴⁵ han investigado estos procesos, al igual que Francia y el Reino Unido. En la década de 1970, la Central Electricity Generating Board (Junta Central de Producción de Energía Eléctrica, CEGB) tenía claro que un ciclo cerrado del combustible podría funcionar bien en el Reino Unido, en vista de la experiencia adquirida en materia de reprocesamiento (parte necesaria del proceso de reciclaje del combustible) y la labor relativa a los reactores rápidos refrigerados por sodio en Dounreay que había formado parte de los primeros trabajos en esa dirección. Se han construido dos reactores de potencia rápidos en Dounreay. El primero fue el reactor rápido de Dounreay (DFR), con una potencia eléctrica de 15 MW, que comenzó a funcionar en 1960 y que en 1962 se convirtió en la primera central de reactor rápido en suministrar electricidad a una red nacional. El DFR se cerró en 1977. En 1975 se conectó a la red el segundo reactor rápido, el prototipo de reactor rápido (PFR), que tenía una potencia eléctrica de 250 MW. Se cerró en 1994. Al igual que muchas de las ideas con visión de futuro de la CEGB, una vez que el apoyo estatal al desarrollo energético futuro pasó de moda y se traspasó por completo a los “mercados”, el Reino Unido perdió el liderazgo en muchos aspectos de la tecnología nuclear en favor de otros países.

En varios países se sigue trabajando en el ámbito del ciclo cerrado del combustible, y en la industria nuclear hay quienes suelen referirse al combustible nuclear “gastado” como combustible “usado una sola vez”.

6.10. LA ENERGÍA NUCLEOELÉCTRICA COMO ENERGÍA PRIMARIA DE BAJO COSTO

6.10.1. El gran impacto del costo del capital

La energía nucleoelectrica presenta la importante ventaja de que la vida operacional de los reactores construidos en el siglo XXI suele basarse en una vida de diseño inicial de 60 años, aunque los propios diseños se han elaborado de tal modo que es muy probable que la vida útil se prolongue 20 o incluso 40 años. Esto, unido a un bajo costo de capital razonable, permite que la energía nucleoelectrica sea competitiva frente a las energías renovables, incluso antes de tener en cuenta los costos de intermitencia del sistema. La previsión actual de EdF Energy respecto al precio de la electricidad para el proyecto Sizewell C, que se detalla en el trabajo de David Newbery de la Universidad de Cambridge,⁴⁶ junto con los costos nucleares en general, lo demuestran claramente, como se indica en la figura 6.18 (reproducida con

⁴⁵ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Russia-proposes-new-closed-fuel-cycle>. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁴⁶ Newbery, 2020.

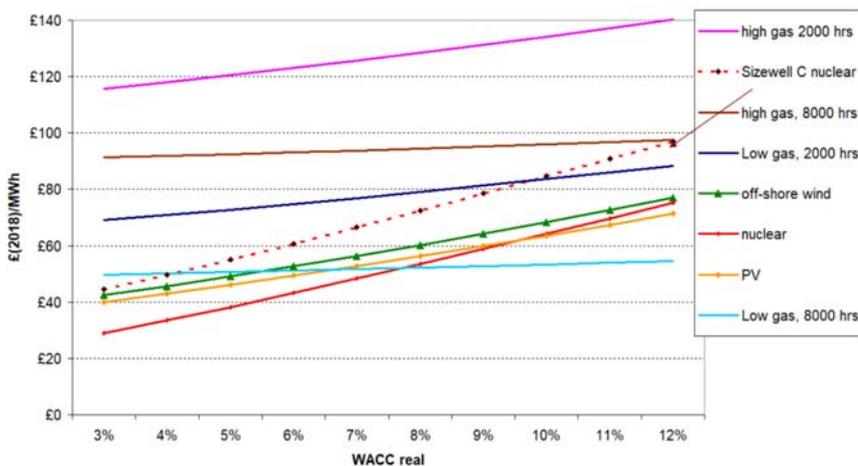


Fig. 6.18 Variabilidad del costo de la electricidad en función del costo medio ponderado del capital (WACC). Costos medios por hora de funcionamiento en libras/MWh. Nota: Los costos bajos y altos del gas incluyen las previsiones de precios bajos y altos del CO₂ tomadas del documento de 2020 titulado “Future Energy Scenarios”. Fuente: Newbery, 2020

la autorización del autor original). Newbery concluye que “la energía nucleoelectrica, cuyos costos no se prevé que bajen en los próximos 30 años, sigue siendo más barata que las energías renovables (si se incluyen los costos de intermitencia) en una amplia gama de costos medios ponderados del capital (WACC) cuando se utilizan los datos de la Comisión Nacional de Infraestructura (NIC, 2020b) e, incluso con las hipótesis de costos de Sizewell C, sería más barata con WACC inferiores al 4 %”. Hay muchos en la industria nuclear que, a día de hoy, tendrían una opinión diferente a la de Newbery sobre los costos futuros de la energía nucleoelectrica, y en el informe que en el momento de escribir este artículo está ultimando el Consejo de la Industria Nuclear del Reino Unido, *Nuclear 2050*,⁴⁷ la industria afirma que puede reducir y reducirá los costos en al menos un 30 % mediante la continuación de nuevas construcciones y el aprendizaje basado en la continuidad de los proyectos de un mismo tipo o linaje. Se tiene constancia de dicho aprendizaje en la implantación de parques de energía eólica y solar y presumiblemente ha sido utilizado durante la instalación de parques de energía nucleoelectrica en China.

Aún no se reconoce suficientemente el impacto del WACC en el precio de la electricidad derivada de las distintas formas de producción de energía primaria. Para un proyecto a escala de GW en el Reino Unido, la variabilidad aproximada

⁴⁷ El informe se estaba preparando en el momento de redactar el presente artículo y estará disponible en: <https://www.niauk.org> (de próxima publicación).

representa una diferencia de unas 8 libras/MWh por cada mil millones de libras que cambie el costo de capital de la central. Sin embargo, la diferencia es de unas 13 libras/MWh por cada *punto* porcentual de cambio en el costo de capital. Reducir el costo de capital de una central financiada por un proyecto de un WACC del 9 % a un WACC del 8 % reduce el precio de la electricidad en unas 13 libras por cada MWh generado. La cifra para la energía eólica, según Carbon Brief,⁴⁸ es de unas 2,50 libras/MWh por cada punto porcentual de cambio del WACC. Al examinar los modelos económicos, conviene tener una visión clara de la variabilidad con respecto al WACC cuando (como sucede en muchos modelos) se hacen hipótesis estándar sobre los WACC en un modelo.

Merece la pena examinar las consecuencias morales de las diferencias en el costo de capital. En primer lugar, la definición de WACC es simplemente el costo combinado de financiación de un proyecto o empresa teniendo en cuenta todas las fuentes de capital que emplea y ajustándolo en función de las diferentes consecuencias fiscales de cada vía de financiación, en particular el hecho de que los intereses de la deuda sean deducibles de los impuestos. Para más información, consúltense los recursos del Corporate Finance Institute.⁴⁹ En su forma simple, la fórmula del WACC es la siguiente:

$$WACC = \left(\frac{E}{V}\right)R_e + \left(\frac{D}{V}\right)R_d(1 - T)$$

Donde:

E = valor de mercado del patrimonio neto de la empresa (capitalización bursátil)⁵⁰

D = valor de mercado de la deuda de la empresa

V = valor total del capital (patrimonio neto más deuda)

E/V = porcentaje del capital que es patrimonio neto

D/V = porcentaje del capital que es deuda

R_e = costo del patrimonio neto (tasa de rentabilidad requerida)⁵¹

R_d = costo de la deuda (rendimiento al vencimiento de la deuda existente)

T = tipo impositivo

⁴⁸ <https://www.carbonbrief.org/wind-and-solar-are-30-50-cheape-than-thought-admits-uk-government>. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁴⁹ A modo de ejemplo, véase <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/what-iswacc-formula>. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁵⁰ <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/what-is-market-capitalization>. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁵¹ <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/trading-investing/required-rate-of-return>. Consultado el 14 de julio de 2021.

6.10.2. La financiación no debería ser más difícil que la física

Es bien sabido que, en cualquier país, el costo más bajo del capital se obtiene por simple endeudamiento del sector público. Esto se debe, en parte, a que no existe un reconocimiento real del “patrimonio neto” en la financiación pública, ya que en los proyectos convencionales financiados por el Estado no hay pérdida de patrimonio neto en caso de sobrecostos importantes, sino que solo parece verse afectada la deuda pública. En la práctica, no se penaliza el proyecto y las posibles pérdidas se compensan con recortes en otros gastos públicos o con aumentos presupuestarios (subidas de impuestos).

6.10.2.1. Financiación de proyectos: limitaciones

En el enfoque utilizado para financiar proyectos convencionales, se recurre al uso combinado de patrimonio neto y deuda. El costo de la deuda y del patrimonio neto depende de la percepción del riesgo de los proyectos, pero el costo de ambos es considerablemente mayor que el del endeudamiento del sector público. Hasta la segunda década del siglo XXI era normal ver proyectos financiados con porcentajes de WACC de un dígito elevado (no muy inferiores al 10 %) y de dos dígitos; se comentó en privado que algunos de los primeros proyectos de energías renovables atrajeron una rentabilidad financiera superior al 30 % y WACC cercanos al 20 %.⁵²

En los innumerables proyectos de las iniciativas de financiación privada (IFP) y las alianzas público-privadas (APP) de todo el mundo se empleaba capital privado, y en los acuerdos óptimos de los proyectos de ese tipo había una compensación por el uso de un capital privado más caro frente a una deuda pública más barata. La compensación era evidente al tener en cuenta el costo a lo largo de toda la vida útil de un proyecto. Para ciertos tipos de proyectos, como carreteras, hospitales y ciertos tipos de contratos de defensa, se consideraba que la propensión al sesgo optimista y la mala gestión de proyectos en el sector público daban lugar a costos a lo largo de toda la vida útil más elevados de lo necesario. En los acuerdos de IFP y APP, el costo a lo largo de toda la vida útil se reducía compensando un mayor costo de capital con la capacidad del sector privado de diseñar, gestionar y explotar los proyectos con mayor eficiencia, lo que redundaba en menores costos a lo largo de toda la vida útil. Esa compensación se basa en la idea según la cual el propietario y explotador privado asume muchos de los riesgos del proyecto y los gestiona mejor de lo que lo podría hacer o haría el sector público; el mantra que suele repetirse es que los *riesgos se asignan a la parte que*

⁵² Comunicación privada al autor por parte del administrador de un importante inversor en proyectos iniciales de energías renovables.

mejor pueda gestionar y controlar cada riesgo. En algunos casos, no cabe duda de que este enfoque ha dado buenos resultados, pero, de hecho, ello depende en gran medida de la calidad del diseño de los acuerdos comerciales y, como siempre, del buen juicio de quienes crean los acuerdos y de quienes los aplican.

No obstante, en proyectos nucleares de mayor envergadura, en que el costo de capital se sitúa entre los 13 000 millones de libras y más de 20 000 millones de libras, este tipo de compensación no es posible, como mínimo, para los proyectos iniciales en la entrega de un parque nuclear. Con proyectos de esta envergadura, la escala del riesgo potencial es tan grande que ninguna empresa sensata lo asumiría. Ello ha quedado demostrado, de manera extrema, con la compra por parte de Hitachi del proyecto de energía nucleoelectrica Horizon de E.ON y RWE en 2012, por el que, al parecer, se pagó cerca de 800 millones de libras. En 2019, tras el fracaso de los esfuerzos prolongados por financiar el proyecto, a pesar de la gran implicación de los gobiernos británico y japonés, Hitachi dio de baja en libros 2750 millones de dólares del patrimonio neto del proyecto. En circunstancias normales, la dirección y, a menudo, el consejo de administración de una empresa que informara de una cancelación contable tan cuantiosa serían despedidos de forma ignominiosa. Sin embargo, al filtrarse el anuncio en la prensa japonesa, la cotización de Hitachi subió.⁵³ En una comunicación privada con el autor, se le indicó que la recuperación efectiva del precio de las acciones tras el anuncio de que Hitachi iba a interrumpir el trabajo en el proyecto había creado, en realidad, más valor en la empresa Hitachi que el valor de la cancelación, tan profunda era la preocupación de los inversores por el futuro del proyecto.

La realidad es que, en el caso de los proyectos de importancia nacional, como el ferrocarril de alta velocidad, los grandes proyectos de construcción de túneles subterráneos y los proyectos energéticos a gran escala (ya sea la creación de energía primaria o la reconstrucción a gran escala de sistemas de transmisión o distribución), no hay forma de obviar el hecho de que “el Estado se hace cargo del fracaso”. Los primeros proyectos nucleares novedosos a escala de GW (y quizás incluso los proyectos de SMR) son, en última instancia, riesgos soberanos. Prueba de ello es que ninguna empresa privada volverá a asumir un proyecto nuclear novedoso en el Reino Unido sobre la base de una financiación de proyecto tradicional. La L de PLC lo explica en cierto modo: PLC es la abreviatura en inglés de “Public Limited Company” (sociedad anónima, o de responsabilidad limitada) y los riesgos que la empresa puede asumir están limitados por sus fondos propios.

Así pues, al no existir una compensación por los mayores costos de capital en la financiación convencional de proyectos, junto con la gran variabilidad

⁵³ <https://www.reuters.com/article/us-hitachi-nuclear/hitachi-shares-rise-afte-report-it-is-considering-scrapping-britain-nuclear-project-idUKKBN1O90KI>. Consultado el 14 de julio de 2021.

del precio de la electricidad en función del costo de capital que se observa en la figura 6.18, resulta evidente que la energía nucleoelectrica, probablemente con independencia de la escala del proyecto, debería financiarse con el menor costo de capital posible. No hacerlo simplemente genera un impuesto artificial que grava el costo de la energía para la economía nacional, “impuesto” cuyos ingresos (a saber, tipos de interés o rendimientos financieros innecesariamente elevados) no van a parar al tesoro público sino a inversores que bien pueden no estar domiciliados en el país del proyecto.

6.10.2.2. Financiación mediante una base de activos regulados

En 2021, el Reino Unido tiene la atención puesta en el uso de fondos de una base de activos regulados (RAB) para financiar nuevos proyectos nucleoelectricos, y posiblemente otros proyectos energéticos. A raíz de las consultas realizadas⁵⁴ en el Libro Blanco sobre la Energía del Reino Unido⁵⁵ publicado en diciembre de 2020, se reconoce actualmente que la forma de financiación utilizada desde las primeras privatizaciones en ese país podría aplicarse a nuevos proyectos energéticos de gran envergadura. Para ver la diferencia, resulta instructiva la publicación de la Red de Reguladores del Reino Unido de septiembre de 2019.⁵⁶ En ella se muestra la evolución del WACC utilizado en los sectores de la energía regulada, las telecomunicaciones y el agua. Tras los recursos presentados ante la Autoridad de Competencia y Mercados en 2020, las determinaciones definitivas del WACC para las compañías de abastecimiento de agua sitúan la tasa alrededor del 2,3 % real sobre la base del índice de precios al por menor (IPM) convencional o del 3,3 % real sobre la base del índice de precios al consumo (IPC). Si la energía nucleoelectrica lograra situarse entre el 4 % y el 4,5 %, la repercusión en los precios de la electricidad nuclear sería muy notable, como demuestra Newbery.

Dado que la necesidad de lograr cero emisiones netas supone sustituir prácticamente toda la producción de energía primaria en la mayoría de los países, las consecuencias de la forma en que se financien los nuevos proyectos energéticos condicionarán en última instancia la competitividad energética de un país y, a través de ella, la propia competitividad económica nacional. Las decisiones que se tomen en las primeras décadas del siglo XXI sobre los futuros sistemas energéticos y su financiación determinarán la competitividad económica nacional en la década de 2050 y décadas posteriores. Habrá ganadores y perdedores concretos a nivel nacional y parece que, en el momento de redactar

⁵⁴ Ministerio de Empresa, Energía y Estrategia Industrial, 2020a.

⁵⁵ Secretario de Estado de Empresa, Energía y Estrategia Industrial, 2020.

⁵⁶ Red de Reguladores del Reino Unido, 2019.

el presente artículo, son aún pocos los países que han comprendido plenamente el legado a largo plazo que dejarán sus políticas energéticas, por no hablar de los desafíos físicos que se mencionan en la sección 6.11.6.

6.11. MERCADOS ENERGÉTICOS

6.11.1. Los mercados en la era de bajas emisiones de carbono

Gran parte de la lógica y estructura de los mercados de la electricidad en todo el mundo proviene de la época de la privatización de sistemas eléctricos en gran medida completos y de la disolución de las estructuras estatales monopolísticas que los crearon. Más adelante nos fijaremos en algunos aspectos físicos de ello, pero, para empezar con una reflexión general, examínese lo siguiente: en los mercados de la electricidad, casi todas las fuentes de electricidad bajas en carbono provienen de fuentes con costos marginales nulos o prácticamente nulos. Las energías eólica, solar, nucleoelectrica e hidroeléctrica tienen ese atributo en común. Si alguna vez llegara a existir un mundo en que el hidrógeno sirviera de combustible para las turbinas de gas, esa condición podría incumplirse.

Pero un mercado en que los costos marginales se aproximan bastante a cero es sin duda extraño. Imagínese esa situación en cualquier otro mercado mundial real que esté en funcionamiento.

Por el momento, conviene dar un paso atrás y considerar si alguno de los actuales modelos y mecanismos de mercado, sumamente sofisticados, es adecuado para un mundo con una electricidad baja en carbono en el que se está reconstruyendo todo el sistema. Sin duda alguna, con un martillo lo suficientemente grande puede obligarse a los mercados existentes a hacer frente a un mundo así.

Pero ha llegado el momento de que los sabios reflexionen sobre los mercados de electricidad en un mundo con bajas emisiones de carbono empezando por el principio. A este ritmo y esta escala de cambio, y ante las limitaciones físicas que resultan evidentes y a las que se hace referencia en la sección 6.11.6, es necesario reexaminar por completo para qué sirve un mercado, qué quiere la sociedad que ofrezca un mercado y cuál es la mejor manera de ofrecerlo. Seguir con los actuales modelos de mercado, dándoles continuamente nuevas y exóticas formas, encaja perfectamente con la expresión “solo porque se pueda, no significa que se deba”.

6.11.2. ¿Cuándo funcionan bien los mercados?

Hay dos contextos en los que examinar si los mercados pueden ser o no aplicables. El primero es la aplicabilidad de los mercados a la construcción de

infraestructura de importancia nacional o sistemas de infraestructura a gran escala. Se trata de un tema bien conocido en el contexto de las IFP y APP. El cuadro 6.5 expone las condiciones necesarias para la eficacia de un mercado e indica si estas se aplican a la construcción de infraestructura de importancia nacional o sistemas de infraestructura a gran escala. De este análisis se desprende que los mercados simples no son adecuados, ni pueden serlo, para este tipo de proyectos y empresas.

Pero el otro contexto en el que los mercados son el modo estándar de funcionamiento es el de la fijación de precios de la energía y, en ese sentido, la situación presenta más claroscuros. Gran parte de la creatividad en torno a los mercados energéticos surgió después de las privatizaciones del Reino Unido, cuando la teoría económica estuvo a las órdenes de duras campañas centradas en la eficiencia. Un valioso recurso para examinar los mercados de la electricidad a nivel mundial es el libro de Harris titulado *Electricity Markets—Pricing, Structures and Economics*.⁵⁷ El capítulo 4 del libro trata la historia de la liberalización de los mercados de la electricidad. En lugar de repetirla aquí, baste decir que la explicación es larga y compleja, con un entramado casi de filigrana. Los orígenes de gran parte de la adopción por el Reino Unido de un enfoque de mercado para la energía se remontan al entonces Ministro de Energía, Nigel Lawson. En una conferencia del British Institute of Energy Economics (BIEE) celebrada en 1982, Lawson declaró lo siguiente: “No considero que al Estado le corresponda tratar de planificar la forma futura de producción y consumo de energía. Ni siquiera se trata principalmente de intentar equilibrar la demanda y la oferta de energía en el Reino Unido. Nuestra tarea consiste más bien en establecer un marco que garantice que el mercado funcione en el sector energético con la menor distorsión posible y que la energía se produzca y consuma de forma eficiente”.⁵⁸

CUADRO 6.5 ATRIBUTOS DEL MERCADO: ¿SE APLICAN A LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA?

Condición	¿Infraestructura?
Gran número de compradores y vendedores → Un gran número de consumidores con la voluntad y la capacidad de comprar el producto a un determinado precio, y un gran número de productores con la voluntad y la capacidad de suministrar el producto a un determinado precio.	×

⁵⁷ Harris, 2006.

⁵⁸ Citado posteriormente en el informe parlamentario del Reino Unido titulado “The Price of Power: Reforming the Electricity Market”: <https://publications.parliament.uk/pa/ld201617/ldselect/ldeconaf/113/11305.htm>. Consultado el 14 de julio de 2021.

CUADRO 6.5 ATRIBUTOS DEL MERCADO: ¿SE APLICAN A LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA? (cont.)

Condición	¿Infraestructura?
Información completa → Todos los consumidores y productores conocen todos los precios de los productos y los servicios que cada persona obtendría de la posesión de cada producto.	×
Producto homogéneo → Los productos son sustitutos perfectos entre sí (es decir, las cualidades y características de un bien o servicio de mercado no varían entre los distintos proveedores).	×
Derechos de propiedad bien definidos → Determinan lo que se puede vender, así como los derechos que se confieren al comprador.	✓
No hay barreras de entrada ni de salida.	×
Cada participante es un seguidor de precios → Ningún participante tiene poder de mercado para fijar los precios.	×
Movilidad absoluta de los factores → A largo plazo, los factores de producción son completamente móviles, lo que permite realizar libremente ajustes a largo plazo en función de la evolución de las condiciones del mercado.	??
Maximización del beneficio de los vendedores → Las empresas venden donde se genera el mayor beneficio, allí donde los costos marginales confluyen con los ingresos marginales.	✓ ??
Compradores racionales → Los compradores realizan todas las operaciones que aumenten su utilidad económica y no realizan ninguna operación que no aumente su utilidad.	×
Sin externalidades → Los costos o beneficios de una actividad no afectan a terceros. Estos criterios también excluyen toda intervención gubernamental.	××
Cero costos de transacción → Los compradores y vendedores no incurren en costos al realizar un intercambio de bienes en un mercado verdaderamente competitivo.	××
Rendimientos de escala no crecientes y sin efectos de red → La ausencia de economías de escala o de efectos de red garantiza que siempre habrá suficientes empresas en el sector.	×

Lo que está claro es que ha habido problemas importantes en la forma cuasiexperimental en que se aplicó la liberalización, lo que ha dado lugar a algunos problemas duraderos que plantean dificultades en el siglo XXI y al sistema energético existente hoy en distintas partes del mundo. He aquí algunos ejemplos de esos problemas:

- Un marco regulador en el Reino Unido centrado en reducir el costo para los consumidores a lo largo de un período de cinco años, mientras que todo el sistema se está diseñando con consecuencias multigeneracionales.
- El hecho de que este marco regulador penalice la resiliencia y reduzca los márgenes de capacidad hasta el punto de que el equilibrio del sistema se haya convertido en una importante oportunidad comercial.
- La deriva al alza de los precios de mercado en la red independiente⁵⁹ de Texas en febrero de 2021 a raíz de los problemas causados por los extremos meteorológicos. Los precios del mercado mayorista en tiempo real en la red eléctrica operada por el Electric Reliability Council of Texas (ERCOT) eran de más de 9 000 dólares/MWh a última hora de la mañana del lunes, frente a los precios anteriores a la tormenta de menos de 50 dólares/MWh, según los datos de ERCOT.⁶⁰
- El mercado de la electricidad en Australia: los problemas se han visto agravados por muchos motivos distintos, pero un buen ejemplo de los defectos de diseño del sistema ha sido la introducción con éxito de grandes cantidades de energía solar procedente de paneles colocados en los tejados en un sistema en el que las tarifas de distribución se basan simplemente en el consumo de kWh, en lugar de comprar la capacidad total que necesita un usuario; al caer el consumo, el larguísimo tendido eléctrico de Australia deja de ser rentable sin un cambio importante en el mecanismo de fijación de precios; Simshauser⁶¹ afirma que “la falta de políticas relacionadas con el cambio climático, el gas natural y el cierre de centrales ha producido recientemente resultados que han puesto a prueba la tolerancia política”.
- La fijación de precios negativos tanto en el mercado británico como en el australiano es cada vez más una consecuencia del crecimiento de la generación de energía intermitente y en la figura 6.19 pueden verse ejemplos de ello. A principios de diciembre de 2019, la tormenta Atiyah azotó el Reino Unido con vientos que alcanzaron una velocidad cercana a los 112 km/h tras llegar a tierra. Los precios de la electricidad resultantes se

⁵⁹ Texas, Hawái y Alaska tienen redes independientes.

⁶⁰ <https://www.reuters.com/article/us-electricity-texas-prices-idUSKBN2AF19A>. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁶¹ Simshauser, 2019.

situaron en -88 libras/MWh, lo que fue descrito por un comentarista de las energías renovables como un “gran regalo anticipado de Navidad” (véase la figura 6.20).

Estos ejemplos de elementos distorsionadores de lo que cada vez más parecen sistemas energéticos intrínsecamente inestables se derivan de las reformas del mercado de la electricidad del Reino Unido de principios de la segunda década de este siglo. Estas reformas introdujeron los contratos por diferencias (CFD) para proteger a los generadores de energías renovables de la inestabilidad de los precios del mercado mayorista, proporcionando un precio garantizado con respecto al precio del mercado diario. Esto formaba parte de los incentivos para que el sector de las energías renovables continuara avanzando a buen ritmo y para socializar los costos inherentes a la intermitencia que inevitablemente seguían creciendo, de tal modo que el mercado en general pagara esos costos. Los pagos con arreglo al régimen de CFD solo están disponibles si el generador ha vendido su producción en el mercado diario, lo que por supuesto se convierte en un comportamiento lógico y estándar. Si, en la práctica, un día el generador produce más de lo que se ha contratado —un parque eólico, por ejemplo, puede generar más de lo esperado si sopla más viento de lo previsto—, el generador estaría sujeto a costos por desequilibrio. Desde el punto de vista del costo de equilibrio, no hay ningún desincentivo a la producción en exceso, ya que si el operador del sistema pide al generador que reduzca la producción,

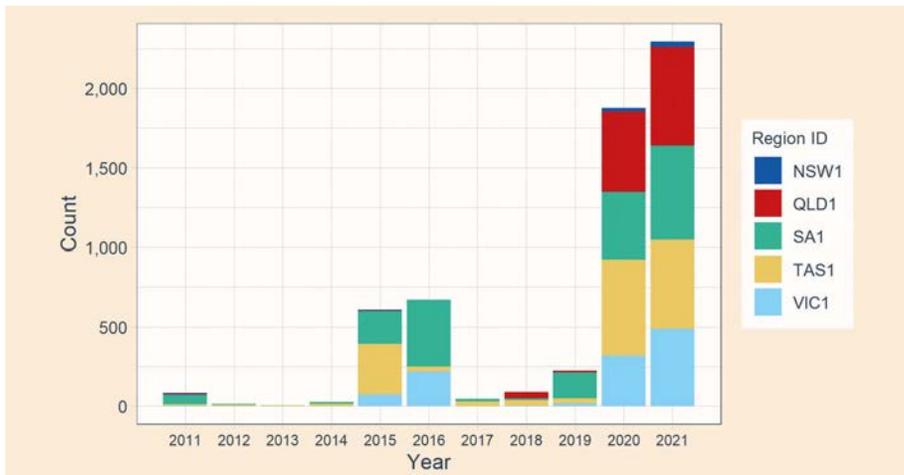


Fig. 6.19 Precios de despacho en bloques de cinco minutos iguales a cero o negativos correspondientes a mayo, Mercado Nacional de la Electricidad (NEM) de Australia, 2011 a 2021. Fuente: @GrantChalmers

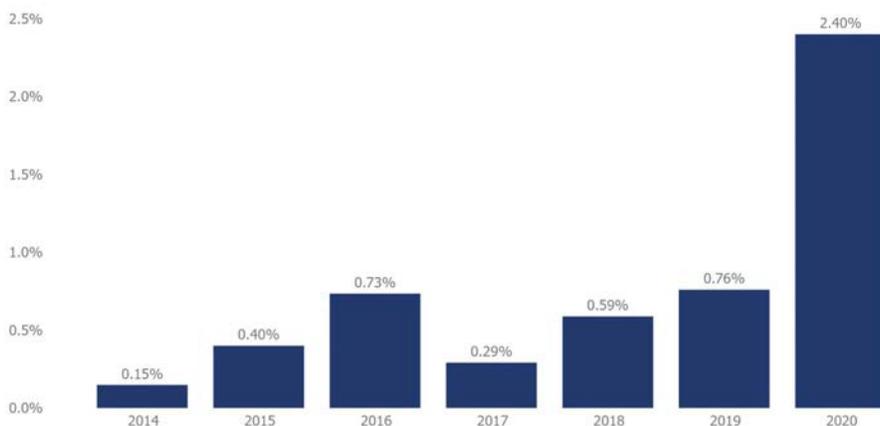


Fig. 6.20 Porcentaje de periodos de liquidación con un precio del sistema negativo en el Reino Unido desde 2014. Nota: Los costos bajos y altos del gas incluyen las previsiones de precios bajos y altos de CO₂ del documento de 2020 titulado “Future Energy Scenarios”. 2020 no representa un año completo: abarca del 1 de enero al 31 de mayo de 2020. Fuente: Elexon, véase <https://www.elexon.co.uk/article/elexon-insight-negative-system-prices-during-covid-19/> (Consultado el 14 de julio de 2021).

este recibirá un pago por deslastre; en realidad, se recompensa al generador añadiendo problemas inesperados al mercado de la electricidad. Esto crea una distorsión importante del mercado, y el aumento de las fuentes de producción de costo marginal cero hará bajar los precios de la electricidad al por mayor, lo que reducirá los rendimientos de los generadores de energía no renovable y de la generación de costo marginal cero que se ha construido sin subsidios o con alguno de los otros planes de subsidios.

Mientras continúa el aumento inexorable de problemas y oportunidades para equilibrar el sistema, una asociación de ingenieros, analizando la cuestión en clave sistémica, apunta que “la respuesta del lado de la demanda es el reverso del fallo del lado de la oferta”.⁶²

6.11.3. ¿Para qué sirve un mercado?

Históricamente, los mercados han contribuido enormemente a apoyar una concepción darwiniana de los cambios evolutivos en la producción de energía. Han sido útiles a la hora de ofrecer señales a los posibles inversores

⁶² Comunicación privada surgida a raíz de artículos que predecían que la creatividad de Internet de los objetos “detrás del contador” podría resolver muchos de los problemas de intermitencia en una red eléctrica con gran presencia de energías renovables.

sobre qué tecnologías resultan más eficientes (léase, generan una rentabilidad financiera mayor o más estable). Eso ha permitido que evolucione la generación de electricidad mediante turbinas de gas, por ejemplo, donde el costo de una unidad de generación y la relativa previsibilidad de los precios de la energía estaban dentro de los límites del apetito de riesgo de las organizaciones comerciales normales.

Básicamente, los mecanismos de mercado han respondido bien a ritmos y escalas de cambio relativamente lentos y pequeños en todo momento desde el punto de vista tecnológico. Sin embargo, las alteraciones de los marcos reguladores, como la introducción de los nuevos arreglos de comercialización de electricidad (NETA) en el Reino Unido, han provocado algunos fracasos financieros espectaculares, entre ellos:

- La quiebra de British Energy.
- El desvío del “exceso” de capacidad hasta el punto de dañar gravemente la resiliencia.
- El anuncio de PowerGen, grupo alemán considerado un modelo en la “City”, que en octubre de 2002 dio a conocer la suspensión de una cuarta parte de su capacidad de generación y significó sin rodeos a los ministros que el sector en su conjunto “se había ido a pique”.
- El hecho de que TXU Europe, con más de 5 millones de clientes en el Reino Unido, fuera camino de la insolvencia, al verse empujada a la deriva por su matriz estadounidense, que se encontraba en apuros, se negó a invertir 450 millones de libras para ayudarlo a cumplir los contratos a largo plazo suscritos con otros productores y la puso en venta. TXU dijo que había decidido tomar “medidas drásticas” para proteger su situación financiera y calificación crediticia en los Estados Unidos. Sus acciones habían sufrido una caída brusca en Wall Street a principios de octubre de 2002. Después cayeron otro 39 % en las operaciones de primera hora hasta situarse en 11,50 dólares. “Solo había dos opciones: proteger a TXU Europe o a TXU Corporation”, dijo un portavoz. “No es una elección difícil”. La inevitable reacción de los mercados, y la cuestión de si a largo plazo era bueno para los ciudadanos del Reino Unido, es otra historia.

Toda esta sección (sección 6.11) dedicada a los mercados de la energía pone de manifiesto la magnitud del desafío que supone rediseñar dichos mercados en su conjunto, dado el ritmo y la escala del cambio necesario para reemplazar prácticamente todas las fuentes de energía primaria de la mayoría de los países en apenas 30 años. La complejidad del mercado de la electricidad en el Reino Unido tras su privatización no puede repetirse, ya que las soluciones de mercado no aportarán la producción de energía primaria necesaria a tiempo. El nivel de

confianza es demasiado bajo, en el momento de escribir el presente artículo, para que eso sea siquiera una utopía.

6.11.4. Los mercados vistos en clave de evolución darwiniana

Antes de terminar esta sección, merece la pena considerar los mercados como si fueran un proceso darwiniano.⁶³ Para que los mercados tengan éxito, el proceso consiste básicamente en aplicar un enfoque de “hipótesis y prueba” para encontrar soluciones cada vez mejores a un problema. A nivel biológico, esto ocurre de forma natural a través de mutaciones genéticas que pueden producirse con cada división celular y cada ciclo reproductivo. También sucede a nivel industrial, ya que un producto puede experimentar pequeños ajustes en la cadena de producción.

Otra forma de analizar la evolución es aplicando un método para encontrar un mínimo en una superficie multidimensional como la superficie simple de la figura 6.21.

La solución en el mundo real a un diseño de sistemas tendrá que hacer frente a una superficie multidimensional mucho más compleja, con muchos mínimos locales, y el proceso para moverse por la superficie en busca del

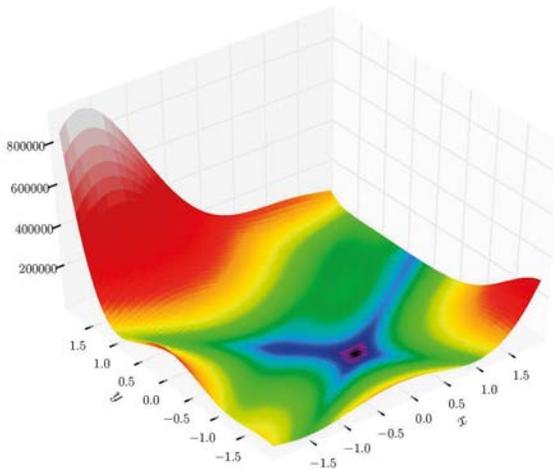


Fig. 6.21 Superficie de optimización simple. Fuente: Gaortiz, 2012

⁶³ A modo de ejemplo, véase Rajagopal, 2015.

mínimo verdaderamente óptimo requerirá muchas iteraciones, incluso si existe un mínimo global.

El proceso debe generar ejemplos que se sometan a prueba y un proceso de ensayo que pueda eliminar rápidamente los fallos. Una vez más, a nivel biológico, esto permite que virus como los de la gripe y el resfriado común evolucionen continuamente, lo que obliga a adaptar con rapidez todo posible régimen de tratamiento. Para algo tan vasto como el sistema energético, en el que se tardan muchos años en construir elementos como un solo sistema de transmisión o distribución, la evolución impulsada por el mercado no sirve. En los márgenes, el funcionamiento práctico del diseño de un sistema puede ajustarse con precisión dentro del mínimo local en el que inevitablemente se encuentra. Pero todo enfoque evolutivo encaminado a lograr un buen (¡y no digamos perfecto!) sistema energético fracasará si no cuenta con una guía extremadamente precisa en forma de diseño de sistemas que pueda marcar el camino para introducir pequeñas mejoras evolutivas en un plan meticulosamente concebido.

6.11.5. Ejemplo de enfoque de sistemas

Uno de los primeros intentos de crear un modelo de sistemas tuvo lugar en el marco de la calculadora DECC2050 original⁶⁴, ideada por el difunto Sir David MacKay, quien por aquel entonces era el Asesor Científico Jefe del Ministerio de Energía y Cambio Climático y autor del que posiblemente sea el mejor libro sobre la energía baja en carbono: *Sustainable Energy—Without The Hot Air*.⁶⁵ La calculadora fue el primer mecanismo que permitió a los responsables de políticas examinar las posibles repercusiones de las ideas políticas en su totalidad y arrojó algunos resultados muy sorprendentes. Merece la pena examinar los ejemplos de ese modelo para ver la complejidad de la interacción de diversas trayectorias de reducción del carbono. Resulta especialmente interesante, y fue un ejemplo que se acogió de modo muy desfavorable en su momento, ver exactamente lo que indicaba la trayectoria “de bajo costo”. Se anima a quien nos lea a que experimente con ese modelo para hacerse una idea de lo complejo y poco intuitivo que puede ser el mundo de la reducción del carbono. El modelo en sí fue copiado rápidamente (el código se puso a disposición del público) por otros países y se crearon más de 25 modelos parecidos en otros países.⁶⁶

⁶⁴ <http://classic.2050.org.uk>. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁶⁵ MacKay, 2009. A juicio del autor, debería ser lectura obligatoria para toda persona interesada en la consecución de cero emisiones netas.

⁶⁶ <https://www.gov.uk/guidance/international-outreach-work-of-the-2050-calculator>. Consultado el 14 de julio de 2021.

Uno de los últimos intentos para aplicar un enfoque integral de sistemas a la modelización de las fuentes de energía primaria del mundo en 2050 lo ha llevado a cabo el Laboratorio Nuclear Nacional del Reino Unido junto con Energy Systems Catapult, empresa tecnológicamente neutra.⁶⁷ El trabajo, publicado en junio de 2021,⁶⁸ utilizó un modelo de sistemas desarrollado por Energy Systems Catapult denominado “ESME”.⁶⁹ Ello contrasta claramente con la labor realizada por el Ministerio de Empresa, Energía y Estrategia Industrial del Reino Unido en el Libro Blanco sobre la Energía de 2020,⁷⁰ que se basó en un modelo de despacho dinámico creado originalmente para el Ministerio por Lane, Clark y Peacock en 2012.⁷¹ Sin embargo, aunque la adopción de un enfoque integral de sistemas es la única manera racional de contemplar la reconfiguración de todo el sistema energético de un país, la labor realizada hasta la fecha en ese sentido ha sido muy exigua y aún no se utiliza ampliamente en la determinación de políticas. Por supuesto, hay otros modelos —el Colegio Universitario de Londres tiene una amplia gama de enfoques de modelización—,⁷² pero aún no se dispone de un enfoque coherente de modelización de sistemas a nivel nacional, sobre todo con hipótesis que sean válidas en la actualidad. A modo de ejemplo, en el momento de redactar el presente artículo, ninguna de las modelizaciones tiene en cuenta el posible impacto de la reducción de los costos de capital con un sistema RAB (base de activos regulados), lo que modificaría drásticamente todos los análisis económicos.

6.11.6. Los desafíos físicos entendidos como limitaciones en el enfoque de sistemas

Uno de los mayores desafíos que plantea la modelización de un futuro enfoque de sistemas no está solo relacionado con una evaluación razonable de los aspectos económicos de todo el sistema, sino también con las limitaciones físicas y los aspectos prácticos que conlleva la sustitución de muchos GW/año de producción de energía primaria de aquí a 2050. Hay dos tipos de limitaciones especialmente importantes: las propias de la construcción y los mecanismos por los que se suministra energía a los usuarios finales, ya sea para uso doméstico, comercial o industrial.

⁶⁷ <https://es.catapult.org.uk>. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁶⁸ Laboratorio Nuclear Nacional del Reino Unido, 2021.

⁶⁹ <https://es.catapult.org.uk/capabilities/modelling/national-energy-system-modelling>. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁷⁰ Ministerio de Empresa, Energía y Estrategia Industrial, 2020b.

⁷¹ Ministerio de Energía y Cambio Climático, 2011.

⁷² <https://www.ucl.ac.uk/energy-models/models>. Consultado el 14 de julio de 2021.

6.11.6.1. Creación de energía primaria: la construcción física

A modo de ejemplo de las limitaciones físicas en torno a las opciones de producción de energía primaria, considérense los escenarios de la modelización del Libro Blanco sobre la Energía del Reino Unido de 2020 mencionada en la sección 6.11.5. En el presente informe, la figura 6.22 muestra escenarios que incluyen de 5 GW a 40 GW de energía nucleoelectrónica, de 65 GW a 180 GW de energía eólica, y de 15 GW a 120 GW de energía solar.

En primer lugar, examínense las cifras de generación eólica. En 2021 hay unos 24,5 GW de capacidad eólica instalada, tanto en tierra como en mar. Es probable que el aumento de la capacidad eólica se produzca en gran medida en el mar, tanto por la política del Reino Unido como por ser allí donde existen grandes recursos eólicos. En el momento de escribir el presente artículo, el mayor aerogenerador disponible es una unidad de 14 MW de GE (el Haliade-X). Esta turbina, considerada una maravilla de la ingeniería, es tan alta como la Torre Eiffel cuando está en funcionamiento. La modelización indica que el Reino Unido tendría que construir entre 40 GW y 155 GW de nueva capacidad eólica instalada de aquí a 2050. Suponiendo que esa capacidad se suministrara por completo con turbinas de 20 MW cada una, teniendo en cuenta los avances tecnológicos, habría que construir entre 2 000 y 7 500 plataformas flotantes, en las que se instalarían estas turbinas, en aguas más profundas. Durante el período comprendido entre 2025 y 2050, esto supone un ritmo de construcción de entre 80 y 300 plataformas flotantes al año, cada año. Conseguir incluso 80 al año será muy difícil. Por otro lado, la extensión también puede ser un problema. Actualmente se prevé que el proyecto eólico de Dogger Bank utilice 190 turbinas de 13 MW cada una. El proyecto ocupará dos parcelas distintas, una de 515 km² y otra de unos 598 km².

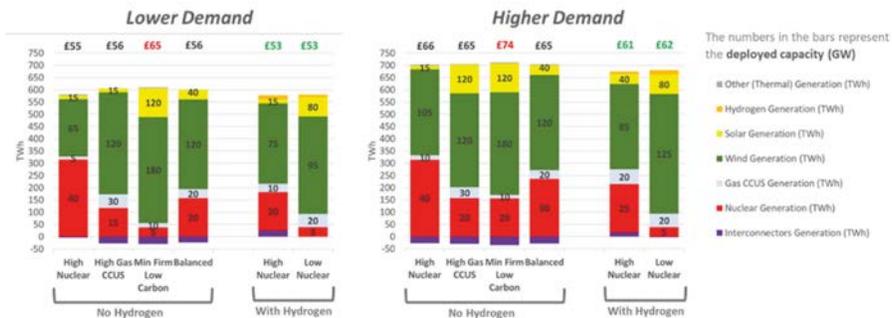


Fig. 6.22 Escenarios de energía de bajo costo. Fuente: Ministerio de Empresa, Energía y Estrategia Industrial, 2020b

Sobre esta base, para instalar 2000 turbinas harían falta unos 11 655 km², y para 7500 turbinas, casi 44 030 km².

En el caso de la energía solar, la situación no es muy diferente. Las cifras sobre las necesidades de suelo para la energía solar no están claras, pero, en el Reino Unido, el proyecto con mayor densidad es el previsto en Cleve Hill, con una capacidad de hasta 350 MW,⁷³ que abarcaría alrededor de 4,89 km².⁷⁴ Sobre esta base, 120 GW de energía solar ocuparían unos 1683 km² de superficie en el Reino Unido.

Este tipo de aspectos prácticos —el ritmo de construcción de las plataformas, la superficie necesaria en tierra y mar y el esfuerzo político necesario para convencer a la ciudadanía de un país de los aspectos prácticos en ese sentido— siguen planteando desafíos muy importantes, que muchas modelizaciones, en el mejor de los casos, apenas parecen sobrevolar.

6.11.6.2. *Suministro de energía al usuario final*

El segundo aspecto práctico que habrá que tener en cuenta en la reconfiguración de un sistema energético es el método de suministro de energía —ya sea primaria o un vector derivado como el hidrógeno— al usuario final. En el Reino Unido, por ejemplo, alrededor del 17 % de la energía final se suministra a los usuarios en forma de electricidad, a través del sistema de transmisión y distribución. El ~80 % restante se suministra en forma de gases o líquidos, como puede verse en la figura 6.23.

Reemplazar el 76 % de la energía suministrada en forma de productos derivados del petróleo o gas por un canal de *suministro* diferente supone un enorme desafío. En todos los planes actuales de descarbonización de los sistemas energéticos de prácticamente todo el mundo será necesario aumentar de manera considerable la producción de electricidad. En el Reino Unido se ha sugerido multiplicar hasta por cuatro la electricidad actual. Por muy grande que sea la escala, la reconstrucción general de los sistemas de transmisión y distribución parece inevitable. Teniendo en cuenta los antecedentes históricos de diseño expuestos en la sección 6.2, casi con toda seguridad está justificada una reconstrucción general, pero esta deberá abordarse sobre la base de un diseño final del sistema tratado como un programa con numerosos proyectos. Las sensibilidades prácticas a la hora de reconstruir los sistemas de distribución y, como mínimo, reforzar el último tramo —por no hablar de la mejora de las conexiones domésticas con la posible sustitución del cableado principal dentro

⁷³ <https://www.clevehillsolar.com>. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁷⁴ <https://www.kentwildlifetrust.org.uk/campaigns/planning-and-development/cleve-hill-solar-park>. Consultado el 14 de julio de 2021.

de las casas— harán necesaria la participación de los ciudadanos, lo que a su vez requerirá un fuerte liderazgo por parte de los políticos. De ahí que pueda ser útil que el 29 % de la energía que actualmente se suministra mediante gas natural pueda ser sustituido por la misma cantidad de energía suministrada por un vector diferente; el hidrógeno es actualmente la vía preferida en muchos países. Aspectos como la fragilización del acero de los sistemas de tuberías, así como la gran capacidad de fuga del hidrógeno y su menor densidad energética, plantean problemas que ahora se consideran abordables. El hidrógeno tiene alrededor de un tercio de la energía por unidad de volumen con respecto al gas natural, aunque se cree que la mayor compresibilidad del hidrógeno debería poder hacer viable el suministro de unas tres veces los volúmenes actuales de gas natural.

Sustituir la energía suministrada por líquidos, no solo la gasolina, sino también el combustible aeronáutico (AVGAS) y todos los demás combustibles líquidos derivados del petróleo, plantea nuevamente cuestiones de factibilidad física. Si bien son muchos los que apoyan con entusiasmo el hidrógeno como importante vector energético alternativo, el amoníaco está despertando cada vez más interés como posible combustible marino: aunque tiene una velocidad de llama demasiado baja para servir de combustible por sí solo en los grandes motores de buques, añadiendo una pequeña cantidad de metano, hidrógeno o gasóleo al amoníaco podría solucionarse ese problema. Según parece, tanto MAN, en Alemania, como Samsung, en la República de Corea, están trabajando en este tipo de motores y prevén la entrada en funcionamiento de un buque cisterna impulsado por amoníaco en torno a 2024.

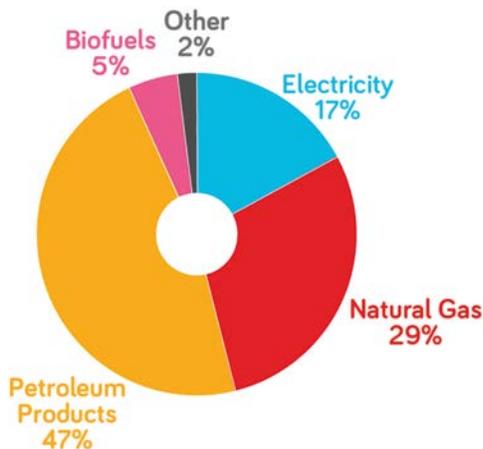


Fig. 6.23 Canales de suministro de energía del Reino Unido. Fuente: Asociación de la Industria Nuclear

6.12. NUESTRAS OPCIONES Y PLANTEAMIENTO

6.12.1. ¿Cómo dar con una solución?

6.12.1.1. Valentía, liderazgo y decisiones

En primer lugar, dado el poco tiempo que queda hasta 2050, para lograr el ritmo y la escala de cambio que se requieren harán falta liderazgo y decisiones políticas audaces y de gran calado. Habrá que centrarse en maximizar los GW/año de nueva energía primaria baja en carbono sujeta a un tope de precio, en lugar de minimizar las libras/MWh. También será necesario que el precio se determine con arreglo al precio para la economía nacional, y no en el punto de conexión desde la fuente, y que se ponga fin a las prácticas engañosas de “socializar” externalidades, como el costo de la intermitencia.

En segundo lugar, este liderazgo dejará un legado. Los distintos países tendrán soluciones distintas, por supuesto, pero serán los libros de historia los que juzguen la eficacia del liderazgo en este caso. Nos guste o no, las decisiones que se tomen entre principios y mediados de la década de 2020 determinarán el costo de la energía para las próximas generaciones y, con ello, la competitividad económica de los países. Los legados resultantes serán de una magnitud similar a la de la introducción del Estado de bienestar a finales de la década de 1940 en el Reino Unido, o incluso mayor. Es probable que el panorama competitivo mundial cambie de manera sustancial como consecuencia de las políticas energéticas de los países a medida que estos se adapten a las cero emisiones netas. El desafío actual para los políticos es el de la valentía; el de ignorar la tentación de buscar la perfección y minimizar los costos a niveles de precisión espuria. Inevitablemente, la creación de un sistema de menor/mínimo costo para la economía nacional será un proceso imperfecto, y reconocer ese hecho a la hora de tomar decisiones importantes con prontitud será el camino de menor riesgo. No cabe duda de que seguirán produciéndose cambios tecnológicos, pero es muy probable que el período de tiempo necesario para que una tecnología alcance un nivel de preparación que permita su implantación generalizada a tiempo para poder influir en los resultados de 2050 sea demasiado largo para lograr cambios en la práctica.

Deberían construirse lo más rápido posible todas las tecnologías que funcionan bien a día de hoy o con un alto nivel de preparación tecnológica, combinando una gran velocidad de entrega con un bajo costo del sistema. Está claro que toda planificación debe tener en cuenta posibles variantes por si se producen avances tecnológicos importantes, pero apostar por la aparición de una solución milagrosa será, en el mejor de los casos, una pérdida de tiempo y, en el peor, un perjuicio para las perspectivas de un país.

6.12.2. Poco que lamentar: utilícese la tecnología que pueda implantarse ahora y céntrese ahí la inversión

Así pues, ¿qué es lo que puede implantarse actualmente a escala? Está claro que la energía eólica marina ha prosperado y, con las gigantescas turbinas Haliade-X de 14 MW de GE, dicha energía puede implantarse a escala de GW en el Reino Unido. La energía solar no puede implantarse a la misma escala en países como el Reino Unido. El reformado de metano con vapor que incluya la captura, la utilización y el almacenamiento de carbono tal vez pueda implantarse a una escala razonable, pero solo tras la creación de una tecnología de captura y secuestro de carbono de eficacia probada. Ello podría proporcionar hidrógeno a escala. Queda por ver si será más barato que la electrólisis a alta temperatura o el hidrógeno procedente del calor a alta temperatura de reactores avanzados. Es posible entregar con rapidez reactores nucleares a escala de GW cuando las distintas disciplinas de la gestión de proyectos, junto con una cadena de suministro consolidada y contratistas experimentados, estén listos y debidamente financiados y gestionados. En la figura 6.24 puede verse claramente la velocidad de implantación de los reactores nucleares.

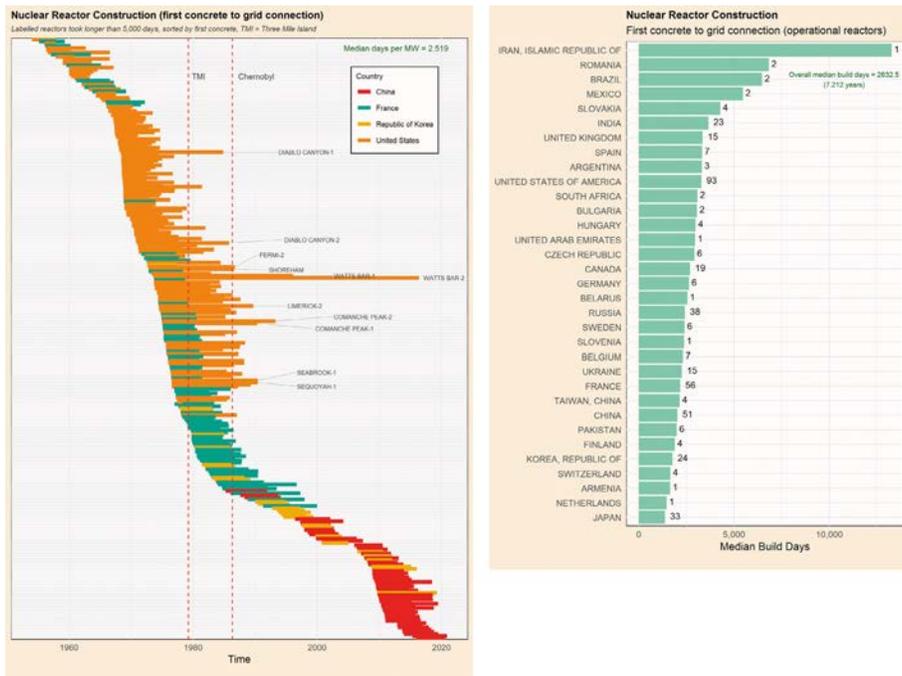


Fig. 6.24 Tiempo necesario para la construcción de reactores. Fuente: @GrantChalmers

La respuesta a la pregunta “¿Cuáles son las opciones con poco que lamentar?” depende por completo del país de que se trate. Aparte de la escala de los recursos renovables, la capacidad de construir a tiempo el nuevo sistema es probablemente el principal factor determinante. En el ámbito nuclear, conviene examinar a fondo por qué el tiempo necesario para construir reactores nucleares varía de forma tan drástica entre el Japón y la República de Corea, por un lado, y los Estados Unidos y el Reino Unido, por el otro. Está claro que la adopción de un enfoque sólido y coherente de la gestión de proyectos forma parte importante de esa diferencia, y el valioso estudio realizado por el Energy Technologies Institute del Reino Unido sobre los inductores de costos de la energía nucleoelectrónica⁷⁵ destaca en particular este factor. En el cuadro 6.6 se recogen las principales conclusiones del estudio.

La realidad, naturalmente, es que los proyectos de energía nucleoelectrónica son proyectos grandes y complejos cuya escala y complejidad domina desde hace muchos años la industria de los combustibles fósiles. Los ejemplos de proyectos nucleares que sufren importantes retrasos o sobrecostos no suelen deberse a una tecnología desconocida o mal entendida. Por lo general, son ejemplos clásicos de los problemas que surgen en todo gran proyecto. Como parte de cualquier enfoque que se emplee para diseñar un nuevo sistema energético en un país, convendría examinar debidamente las tecnologías que ese país *podría* construir en plazo y a escala, teniendo en cuenta los factores enumerados en el cuadro 6.6. Resulta muy instructivo examinar cómo los Emiratos Árabes Unidos lograron construir su primer reactor en un plazo inferior al tiempo medio empleado en el Reino Unido o en los Estados Unidos, aun siendo un país sin ningún tipo de pedigrí nuclear. Claro está que había la gran ventaja de construir una réplica muy similar de un diseño que se había construido repetidas veces en otros lugares, utilizando los mismos equipos que ya los habían construido antes y aceptando la certificación del país de origen para el diseño, a la vez que se nombraba a un regulador de seguridad nuclear con gran experiencia que controlaría el proceso de aprobación de la puesta en servicio y la explotación. Pero el otro factor que, sin duda, contribuyó de manera importante fue la calidad de las reflexiones y la preparación que tuvieron lugar antes de que empezara la construcción. También ayudaron la contratación de un director de proyecto con experiencia y de probada competencia, la elaboración de un plan de construcción sólido y minucioso, el uso de contratistas avezados y el grado de exhaustividad del diseño de ingeniería. Pero el planteamiento general de forjar la reputación del proyecto desde el principio fue probablemente otro factor de vital importancia. Un gran experto en gestión de la reputación ocupó la oficina contigua a la del director general desde los primeros días del proyecto, lo que dejaba clara la importancia de la reputación

⁷⁵ Energy Technologies Institute, 2018.

CUADRO 6.6 INDUCTORES DE COSTOS DE LA ENERGÍA
 NUCLEOELÉCTRICA: ATRIBUTOS DE LAS CENTRALES DE BAJO y
 ALTO COSTO

Centrales de bajo costo	Centrales de alto costo
Diseño finalizado o casi finalizado antes de la construcción.	Diseño no finalizado antes de comenzar la construcción.
Alto nivel de reutilización del diseño.	Realización de importantes intervenciones reguladoras durante la construcción.
Equipo de dirección de obras con experiencia.	Diseño novedoso.
Mano de obra de bajo costo y muy productiva.	Litigios entre los participantes en el proyecto.
Consortio de ingeniería, suministros y construcción (EPC) con experiencia.	Retrasos considerables y reelaboración necesaria debido a la cadena de suministro.
Cadena de suministro con experiencia.	Largos plazos de construcción.
Planificación detallada de la construcción antes de su inicio.	Costos laborales relativamente más altos y baja productividad.
Aplicación decidida de un programa de nueva construcción centrado en la reducción de costos y la mejora del rendimiento.	Supervisión inadecuada por parte del propietario.
Varias unidades en un mismo emplazamiento.	
Diseño basado en la continuidad de un mismo tipo de proyectos.	

del proyecto para el director general. No cabe duda de que el proyecto en Abu Dhabi de la Corporación de Energía Nuclear de los Emiratos (ENEC) sirve de ejemplo para otros.

El proyecto de la ENEC, si bien era el primero en el país, era el enésimo de ese tipo, ya que antes se habían construido y explotado exactamente los mismos reactores en la República de Corea. Los reactores de la ENEC eran en efecto nuevos para el país, pero al utilizar precisamente el mismo diseño de construcción que en la República de Corea, el hecho de que esos reactores tuvieran muchos de

los atributos del enésimo reactor de un mismo linaje forma parte de los factores que explican el éxito de la construcción con arreglo a plazo y presupuesto. y, de hecho, la construcción de parques con un número reducido de diseños de reactor servía de base para el reinicio de la construcción de energía nucleoelectrica descrito en el Libro Blanco de 2008, que dio lugar al primer gran paso legislativo del Reino Unido hacia un sistema energético bajo en carbono. Será interesante ver si el Reino Unido logra construir un parque con empleo de una determinada tecnología nuclear. En el momento de escribir el presente artículo, Hinkley Point C está en fase de construcción y la segunda central de la serie, Sizewell C, está en fase de estudio, pero poco más se sabe. Esto contrasta ampliamente con las posturas actuales del Canadá, China y, cada vez más, de los Estados Unidos, así como de muchos países de Europa. La última vez que el Reino Unido construyó una central nuclear nueva, Sizewell B, estaba previsto que esta formara parte de un parque de mayor tamaño integrado por hasta diez unidades. La voluntad política se desvaneció durante la construcción de la primera unidad, a pesar de que esa unidad sea probablemente la única fuente de energía primaria baja en carbono actualmente en funcionamiento que seguirá funcionando en 2050 (suponiendo, claro está, que su vida útil sea prolongada 20 años).

Otros muchos países tienen la vista puesta en el Reino Unido como importante mercado potencial para la energía nucleoelectrica, pero lo hacen con cierto grado de escepticismo que solo se superará con una fuerte inyección de liderazgo político, voluntad y verdadero compromiso. Sin ellos, ¿por qué motivo asumirían los inversores la financiación (ya fuera mediante deuda o participación de capital) de una central nuclear incluso estando en funcionamiento, y mucho menos durante su construcción, aunque se financiara mediante una base de activos regulados? ¿Por qué motivo invertiría la cadena de suministro aún más por adelantado para crear capacidad y resiliencia en sus negocios en el Reino Unido? El mercado bursátil japonés ya ha mostrado su parecer al negarse a apoyar la aventura empresarial de Hitachi en el Reino Unido con Horizon. Los inversores acusan los efectos de los daños políticos infligidos a los mercados energéticos: aún perdura en el recuerdo el cambio radical del Gobierno español en 2010 en relación con el mercado de las energías renovables, que culminó con el recorte de las tarifas reguladas, contractualmente vinculantes, para proyectos operacionales.

La inclusión en los últimos años de la exigencia de los inversores de que solo se realicen inversiones que cumplan criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ASG) ha contribuido a aumentar el posible riesgo político. Se ha intensificado la presión ejercida por los grandes inversores, como BlackRock,⁷⁶ para excluir las inversiones que no respondan a esos criterios. Esto ha creado un

⁷⁶ <https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/larry-fink-ceo-letter>. Consultado el 14 de julio de 2021 (Carta a los clientes).

gran campo de batalla para las posturas antinucleares de diversa procedencia. Las taxonomías gubernamentales en Europa y en otras regiones⁷⁷ rara vez empiezan siendo tecnológicamente neutras, tal como sucedió con la taxonomía europea, a pesar del informe de un grupo de expertos técnicos⁷⁸ según el cual “los análisis no revelaron ninguna evidencia científica de que la energía nuclear perjudique más a la salud humana o al medio ambiente que otras tecnologías de producción eléctrica ya incluidas en la taxonomía como actividades de apoyo a la mitigación del cambio climático”. A menos que sea debidamente reconocida como fuente de energía primaria sostenible y baja en carbono, la energía nuclear correrá el riesgo de no atraer a un importante tipo de inversores.

6.13. REFLEXIONES FINALES

Un jefe militar estadounidense, en referencia a una observación sobre la reacción de los Estados Unidos a 11 de Septiembre, dijo: “cuando se encienden los ánimos, la razón se ofusca y se toman malas decisiones”. Muchos debates sobre el posible uso de la energía nuclear en un sistema energético racional, equilibrado, seguro y resiliente han estado, y siguen estando, lastrados por las emociones. Se han tomado y se siguen tomando decisiones muy desacertadas. La palabra “nuclear” provoca parálisis intelectual en demasiados políticos y planificadores por sus connotaciones armamentísticas agresivas y con razón aborrecidas.

Pero la sociedad puede ocuparse de esas contradicciones cognitivas en otros ámbitos. La nitroglicerina es, en el imaginario de muchos, el explosivo preferido de los ladrones de cajas fuertes, al menos en las películas. Para un grupo más reducido de la población, es también la sustancia con la que se fabrica la dinamita y que hizo sumamente rico a un joven Alfred Nobel, permitiéndole fundar el premio que lleva su nombre. Pero para unos pocos, cuando ingresan en urgencias con problemas cardíacos y reciben un medicamento que lleva por nombre “Nitrocot” o “Nitrostat”, es esa misma nitroglicerina, pero en una fórmula no explosiva. Lo importante es cómo se utiliza la ciencia y no la ciencia en sí. De modo parecido, en el caso de la radiación, si alguien se sienta un par de horas al sol de mediodía de julio en Abu Dhabi, sufrirá graves quemaduras. Sentarse a la luz de la luna esa misma noche no causará ningún daño (al menos desde la perspectiva de las quemaduras solares), aunque se trata exactamente de la misma radiación: fotones con las mismas (más o menos) longitudes de onda, solo que en

⁷⁷ <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/germany-leads-call-to-keep-nuclear-out-of-eu-green-finance-taxonomy/>; https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/qanda_19_6804. Consultado el 14 de julio de 2021.

⁷⁸ Comisión Europea, 2021.

diferente cantidad. En cuanto a las radiaciones ionizantes, el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) deja claro que, para dosis inferiores a 100 mSv, no existe ninguna evidencia de que aumente el riesgo de cáncer. Eso no impide que la gente se aterrorice cuando se le dice que ha recibido una dosis de uno o dos milisieverts, el equivalente a la radiación ionizante de la luz de la luna. y mientras entran en pánico por un milisievert o dos, su amigo que recibe radioterapia para el cáncer puede estar recibiendo 20 sieverts (una dosis 20 000 veces mayor) con el objetivo de curarlo. Lo importante es cómo se utiliza la ciencia y no la ciencia en sí.

Ante la ciudadanía, los políticos han de asumir el liderazgo. No mediante el equivalente a comer hamburguesas durante la epidemia de enfermedad de Creutzfeldt-Jakob, sino mediante el debate y utilizando las aptitudes por las que se les elige, con el fin de convencer a los votantes de que sus líderes, en general, harán del mundo en el que viven un lugar mejor. y para generar confianza. Si la futura política energética se rige por las emociones, se tomarán malas decisiones. El resultado será un país mucho más pobre para nuestros nietos, y es posible que muchos acaben marchándose al extranjero, a un país que haya tomado decisiones más acertadas en la década de 2020.

Hay algo que hoy ya es evidente. Al mundo se le acaba el tiempo y debe actuar ahora, con todos los medios a su alcance, para construir un máximo de GW/año de nueva capacidad de producción de energía primaria baja en carbono. Al centrar las decisiones en torno a la política energética, se forjará un legado de proporciones equiparables a las de la creación del Estado de bienestar del Reino Unido en 1948 —un legado enorme, gracias al cual pasarán a la historia nombres como (para lectores del Reino Unido) Winston Churchill, Rab Butler, William Beveridge y Nye Bevan—. Pero eso solo es aplicable a aquellos políticos que tengan la valentía, la perspicacia y la voluntad de aprender y actuar con arreglo a la ciencia, la ingeniería y la realidad. En cuanto a quienes se empeñan en soñar con la llegada el próximo año de alguna nueva supertecnología para no tener que tomar hoy una decisión, o cuyo *modus operandi* es “no durante mi mandato”, su legado será una pesada carga que llevarán a costas sus hijos, sus nietos y las generaciones posteriores y sus nombres serán vilipendiados en los libros de historia.

Nuestros líderes han de elegir.

REFERENCIAS

Black G, Aydogan F, Koerner C (2019) Economic Viability of Light Water Small Modular Nuclear Reactors: General Methodology and Vendor Data, Renewable and Sustainable Energy Reviews 103:248–258.

- Cheng V, Hammond G (2017) Life-Cycle Energy Densities and Land-Take Requirements of Various Power Generators: A UK Perspective, *Journal of the Energy Institute* 90:201–213.
- Chivers J, Foxon T, Galloway S, Hammond G, Infield D, Leach M, Pearson P, Strachan N, Strbac G, Thomson M (2017) Realising Transition Pathways for a More Electric, Low-Carbon Energy System in the United Kingdom: Challenges, Insights and Opportunities, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* 231:440–477.
- Climate Change Committee (2020) Sixth Carbon Budget. <https://www.theccc.org.uk/publication/sixth-carbon-budget>. Accessed 14 July 2021
- Department for Business, Energy and Industrial Strategy (2020a) RAB Model for Nuclear. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/943762/Nuclear_RAB_Consultation_Government_Response-.pdf. Accessed 14 July 2021
- Department for Business, Energy and Industrial Strategy (2020b) Modelling 2050: Electricity System Analysis. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/943714/Modelling-2050-Electricity-System-Analysis.pdf. Accessed 14 July 2021
- Department of Energy and Climate Change (2011) DECC Dynamic Dispatch Model (DDM). https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/65709/5425-decc-dynamic-dispatch-model-ddm.pdf. Accessed 14 July 2021
- Elder R, Cumming D, Mongensen M (2015) High Temperature Electrolysis. In: Styring P, Quadrelli E A, Armstrong K (eds) *Carbon Dioxide Utilisation: Closing the Carbon Cycle*, Elsevier, pp 183–209.
- Energy Technologies Institute (2018) The ETI Nuclear Cost Drivers Project: Summary Report. https://d2umxnkyjne36n.cloudfront.net/documents/D7.3-ETI-Nuclear-Cost-Drivers-Summary-Report_April-20.pdf?mtime=20180426151016. Accessed 14 July 2021
- European Commission (2021) Technical Assessment of Nuclear Energy with Respect to the ‘Do No Significant Harm’ Criteria of Regulation (EU) 2020/852 (‘Taxonomy Regulation’), JRC124193. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf. Accessed 14 July 2021
- Fuchs C, Poehls A, Skau K, Kasten J (2021) Economics of Battery Use in Agriculture: Economic Viability of Renewable Energy Complemented with Batteries in Agriculture, *Energies* 14:2430.
- Funk J (2001) Thermochemical hydrogen production: past and present, *International Journal of Hydrogen Energy* 26:185–190.
- Gagnon L, Belanger C, Uchiyama y (2002) Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001, *Energy Policy* 30:267–1278.
- Harris C (2006) *Electricity Markets: Pricing, Structures and Economics*, Wiley, Hoboken, NJ.
- HM Government (2020) The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution. <https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution>. Accessed 14 July 2021

- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011) The Nuclear Fuel Cycle. <https://www.iaea.org/sites/default/files/nfc0811.pdf>. Accessed 14 July 2021
- Keçebaş A, Muhammet K, Mutlucan B (2019) Electrochemical hydrogen generation. In: Calise F, Dentice D'Accadia M, Santarelli M, Lanzini A, Ferrero D (eds) *Solar Hydrogen Production*, Academic Press, pp 299–317.
- Ling S, Sanny J, Moebis W (2016) Nuclear Binding Energy. In: Ling S, Sanny J, Moebis W (eds) *University Physics Volume 3*, OpenStax, Texas.
- LucidCatalyst (2020) Missing Link to a Livable Climate: How Hydrogen-Enabled Synthetic Fuels Can Help Deliver the Paris Goals. <https://www.lucidcatalyst.com/hydrogen-report>. Accessed 14 July 2021
- Mackay D (2009) *Energía sostenible: sin malos humos*, Universidad Pública de Navarra, Navarra.
- Marx C (2014) Failed Solutions to the Energy Crises: Nuclear Power, Coal Conversion, and the Chemical Industry in West Germany since the 1960s, *Historical Social Research / Historische Sozialforschung* 39:251– 271.
- National Nuclear Laboratory (2021) UK Energy System Modelling: Net Zero 2050. <https://www.nnl.co.uk/wp-content/uploads/2021/06/NNL-UK-Energy-System-Modelling-for-Net-Zero.pdf>. Accessed 14 July 2021
- Newbery (2020) Net Zero and Future Energy Scenarios: A Response to the National Infrastructure Commission's Report on Future Power Systems, EPRG. https://www.eprg.group.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2020/03/D.-Newbery_Comment_26March2020.pdf. Accessed 14 July 2021
- Nishihara T, Yan X, Tachibana Y, Shibata T, Ohashi H, Kubo S, Inaba Y, Nakagawa S, Goto M, Ueta S, Hirota N, Inagaki Y, Iigaki K, Hamamoto S, Kunitomi K (2018) Excellent Feature of Japanese HTGR Technologies, Japan Atomic Energy Agency, Ibaraki.
- OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2011) Technical and Economic Aspects of Load Following with Nuclear Power Plants. <https://www.oecd-nea.org/nnd/reports/2011/load-following-npp.pdf>. Accessed 14 July 2021
- Rajagopal (2015) *The Butterfly Effect in Competitive Markets*, Palgrave Macmillan, London.
- Secretary of State for Business, Energy and Industrial Strategy (2020) Energy White Paper: Powering Our Net Zero Future. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/945899/201216_BEIS_EWP_Command_Paper_Accessible.pdf. Accessed 14 July 2021
- Simshauser P (2019) Lessons from Australia's National Electricity Market 1998–2018: The Strengths and Weaknesses of the Reform Experience. <https://www.eprg.group.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2019/08/1927-Text.pdf>. Accessed 14 July 2021
- UKRN (2019) Cost of Capital—Annual Update Report. <https://www.ukrn.org.uk/wp-content/uploads/2019/09/2019-UKRN-Annual-Cost-of-Capital-Report-Final-1.pdf>. Accessed 14 July 2021
- World Nuclear Association (2021a) Advanced Nuclear Power Reactors. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/advanced-nuclear-power-reactors.aspx>. Accessed 14 July 2021

World Nuclear Association (2021b) Small Nuclear Power Reactors. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx>. Accessed 14 July 2021

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

7. IMPUTACIÓN LEGAL DEL DAÑO POR RADIACIÓN EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN RADIOLÓGICA

Abel Julio González

Resumen La doctrina de la imputación legal (incluidos los conceptos conexos de presentación de cargos, incoación, acusación, enjuiciamiento y decisión judicial) de efectos nocivos en la salud a los responsables de situaciones de exposición radiológica es, desde hace muchos años, objeto de debate y su resolución aún no está clara. Mientras que la atribución del daño en situaciones en las que hay una dosis de radiación alta es básicamente sencilla, cuando las dosis son moderadas, es problemática y en los casos, muy comunes, en que las dosis de radiación son bajas resulta un verdadero rompecabezas. La ambigüedad de la situación podría interpretarse como una espada de Damocles que pende sobre el renacer de los esfuerzos relacionados con la exposición radiológica de carácter ocupacional y público. En el presente capítulo se describe la situación epistemológica por lo que respecta a la atribución de los efectos de la radiación en la salud y la inferencia de riesgos radiológicos, basándose en las estimaciones que el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) comunica a la Asamblea General de las Naciones Unidas. Asimismo, se analizan las implicaciones del complejo paradigma del UNSCEAR para asignar la responsabilidad jurídica. El capítulo concluye con la recomendación de que se elabore una doctrina jurídica internacional sobre la capacidad de imputar los efectos nocivos de la radiación en la salud.

Palabras clave Atestación radioepidemiológica • Atribución de efectos de la radiación • Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) • Efectos deterministas en la salud • Efectos estocásticos en la salud • Imputación legal • Inferencia de riesgos radiológicos • Seguridad radiológica • Situaciones de exposición radiológica

7.1. PROPÓSITO

El objetivo del presente capítulo es abordar la *imputación legal*¹ del *daño por radiación*² en situaciones de exposición radiológica.³ El concepto de imputación legal se utiliza como precursor de los conceptos jurídicos que se derivan de él, como incoación y enjuiciamiento, presentación de cargos, acusación y decisión judicial.

La imputación legal del daño por radiación ha sido objeto de controversia, sobre todo en situaciones con dosis de radiación bajas. La falta de claridad respecto de una cuestión tan importante dificulta el desarrollo normal de actividades humanas en las que las personas se ven expuestas a radiación, como la generación de electricidad nuclear y el uso de la radiación y la radiactividad en las esferas de la medicina, la industria y la investigación.

Por ello, el presente capítulo tiene por objeto promover un entendimiento común del tema a nivel internacional.

El capítulo contiene:

- una descripción resumida del consenso científico básico en el plano internacional sobre los efectos de la radiación en la salud, a fin de presentar los antecedentes de la cuestión. A continuación, se examinan la estimación de los efectos y la imputación de los daños y se presenta el paradigma fundamental, incluido un análisis de los hechos verificables frente a las conjeturas subjetivas;

¹ Por *imputación legal* se entienden las acciones de base legal para atribuir daños por radiación a situaciones de exposición radiológica. Se utiliza como precursor de conceptos que se derivan de él, como presentación de cargos, incoación, acusación, enjuiciamiento y decisión judicial. En un contexto jurídico, imputar significa designar a alguien como causante de una lesión física, de los efectos, reales o potenciales, que son atribuibles a la exposición radiológica, es decir, atribuir la responsabilidad de efectos de la exposición radiológica. Obsérvese que atribuir es distinto de imputar, pero desgraciadamente los términos se han utilizado internacionalmente como sinónimos. Véase OIT et ál. 2010.

² Por *daño por radiación* se entiende cualquier efecto de la radiación en la salud o lesión física sufrida por personas, bien individualmente o como parte de poblaciones en su conjunto, cuando se puede atestar que han sido provocados por la exposición radiológica, donde *radiación* se refiere a la radiación ionizante y *efecto de la radiación en la salud*, a cualquier efecto en la salud causado por la exposición radiológica.

³ Por *situaciones de exposición radiológica* se entiende cualquier conjunto de circunstancias en las que las personas se ven sometidas a estados o condiciones en que son irradiadas por radiación ionizante, ya sea desde una fuente externa al cuerpo o incorporada a él, donde una fuente es cualquier cosa que pueda causar una exposición radiológica, por ejemplo, emitiendo radiación ionizante o liberando sustancias o materiales radiactivos.

- un examen de la *atribución*⁴ de daños por radiación frente a la *inferencia*⁵ de *riesgo radiológico*⁶ derivado de situaciones de exposición radiológica;
- el concepto conexo de *atestación*,⁷ a cargo del llamado *testigo pericial*,⁸ de la manifestación objetiva de efectos de la radiación en la salud, y
- las consiguientes posibilidades de *imputación legal* de tales daños por radiación en esas situaciones de exposición radiológica.

⁴ Por *atribución* se entiende la vinculación de un efecto en la salud a la exposición radiológica basándose en pruebas objetivas y reales.

⁵ El concepto de *inferencia* (por oposición a atribución) designa el proceso de extraer conclusiones a partir de conjeturas subjetivas basadas en observaciones, pruebas y razonamientos científicos indirectos envueltos en incertidumbre (mientras que el uso de la inferencia se centra generalmente en una inferencia del riesgo prospectiva, nótese que estimar una *fracción asignada o probabilidad de causalidad* también es una inferencia, pero retrospectiva).

⁶ Con la expresión *riesgo radiológico* se indica la probabilidad de que un efecto en la salud asociado a exposición radiológica (p.ej., aparición de cáncer) pueda darse (es decir, se trata de una noción prospectiva) en un período dado (p.ej., el resto de la vida tras una exposición). Solo se atribuirán riesgos radiológicos sirviéndose de pruebas fundadas en hechos comprobados a partir de investigaciones epidemiológicas de los índices de enfermedad de poblaciones expuestas anteriormente (es decir, basadas en observaciones anteriores); ello no obstante, debemos señalar que también se han empleado los resultados de esos análisis retrospectivos para formular inferencias acerca del riesgo de otras situaciones de exposición que afectan a diferentes poblaciones de las que no se tienen datos epidemiológicos directos.

⁷ Por *atestación* se entiende el hecho de que un *testigo pericial* aporte o notifique pruebas claras declarando formalmente que existen o se producen efectos de una radiación.

⁸ Por *testigo pericial* se entiende un especialista en efectos de la radiación que podría presentar su dictamen pericial sin haber sido testigo de ningún suceso relacionado con una demanda o causa penal vinculado a la radiación, sino solo de la manifestación objetiva de los efectos, como se indica a continuación:

Los *radiopatólogos* son testigos periciales de la manifestación objetiva de efectos de la radiación en la salud que pueden diagnosticarse de manera individual en cada persona, es decir, científicos reconocidos y acreditados que estudian las causas y los efectos de las enfermedades inducidas por la radiación, sobre todo examinando muestras de laboratorio de tejido corporal con fines de diagnóstico o forenses.

Los *radioepidemiólogos* son testigos periciales de la manifestación objetiva de efectos de la radiación en la salud que no pueden diagnosticarse de manera individual en cada persona, sino que solo pueden estimarse en las poblaciones (es decir, científicos reconocidos y acreditados con conocimientos especializados en estadística médica, la rama de la medicina que se ocupa de la incidencia y distribución de las enfermedades asociadas a la exposición radiológica).

Los *radiobiólogos* son testigos periciales de la presencia real de cambios biológicos atribuibles a la exposición radiológica, mediante el análisis de muestras para bioensayos especializados, como muestras hematológicas y citogenéticas (es decir, científicos reconocidos y acreditados con experiencia en la rama de la biología que se ocupa de los efectos de la radiación ionizante en organismos, órganos, tejidos y células).

Los *radioprotencionistas* (también conocidos como expertos en protección radiológica o físicos médicos) son testigos periciales asociados a la conjetura e inferencia de riesgos radiológicos (es decir, científicos acreditados y con una especialización debidamente reconocida por lo que respecta a la protección de las personas frente a los efectos nocivos de la exposición a radiación ionizante, y en los medios para lograr dicha protección).

7.2. RESUMEN DEL CONSENSO CIENTÍFICO BÁSICO

A lo largo de los años, el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) ha alcanzado un consenso universal sobre las estimaciones de los efectos de la radiación en la salud y ha presentado informes periódicos a la Asamblea General de las Naciones Unidas. El UNSCEAR es la organización intergubernamental internacional designada por la Asamblea General para estimar los niveles y efectos mundiales de la radiación.

Las tesis fundamentales del marco del paradigma internacional, en las que se basará el capítulo, se presentan de manera simplificada a continuación:

- Existe un consenso científico de que la exposición a altos niveles de dosis de radiación durante un tiempo relativamente breve produce efectos nocivos agudos (es decir, críticos, graves) en las personas expuestas. Estos efectos pueden ser diagnosticados, probados y *atestados* por *radiopatólogos* cualificados. En definitiva, un efecto en la salud observado en una persona podría atribuirse inequívocamente a la exposición radiológica si la persona experimentara reacciones tisulares (a menudo denominadas efectos “deterministas”), y se pudieran realizar diagnósticos patológicos diferenciales que descartaran posibles causas alternativas. Estos efectos deterministas se manifiestan como resultado de altas dosis absorbidas durante un período relativamente breve, como podría ser tras una exposición fruto de algún accidente o de radioterapia. Por consiguiente, pueden imputarse de manera individual a la situación mediante una *demanda* clásica.⁹
- A dosis más bajas, las poblaciones expuestas pueden sufrir un daño colectivo, que podría manifestarse como un aumento de la incidencia de determinados efectos. Estos aumentos pueden ser evaluados, probados y *atestados* por *radioepidemiólogos* cualificados. Estos efectos en la salud de una persona que se sabe que están asociados a la exposición radiológica —como tumores malignos inducibles por radiación (y, en teoría, los efectos hereditarios en los descendientes de la población expuesta)— no pueden atribuirse inequívocamente a la exposición radiológica, ya que esta no es la única causa posible y en la actualidad no se dispone por lo general de biomarcadores específicos de la exposición radiológica. Estos efectos se denominan efectos “estocásticos”. En el caso de los efectos estocásticos no es posible, por lo tanto, formular un diagnóstico patológico diferencial inequívoco. Solo si la incidencia espontánea de un determinado tipo de

⁹ Por *demanda* se entiende un procedimiento donde una o varias partes realizan una *imputación legal* de otra ante un tribunal de lo civil.

efecto estocástico fuera baja y la radiosensibilidad correspondiente a un efecto de ese tipo fuera alta (como es el caso de algunos cánceres tiroideos pediátricos) podría atribuirse ostensiblemente un efecto en una persona concreta a la exposición radiológica, sobre todo si esa exposición fuera alta. Sin embargo, aun en un caso así, el efecto en una persona no puede atribuirse inequívocamente a la exposición radiológica, debido a posibles causas contrapuestas. En resumen, una mayor incidencia de efectos estocásticos en una población podría atribuirse a la exposición radiológica mediante un análisis epidemiológico, siempre que, entre otras cosas, la mayor incidencia de los casos del efecto estocástico fuera suficiente para superar las incertidumbres estadísticas intrínsecas. En este caso, se podría verificar debidamente una mayor incidencia de los efectos estocásticos en la población expuesta y atribuírsela a la exposición. Cabe señalar que, aunque en estudios hechos con animales se haya demostrado un aumento de la incidencia de los efectos hereditarios, en poblaciones humanas ese aumento no puede atribuirse actualmente a la exposición radiológica, entre otras razones, por la gran fluctuación de la incidencia espontánea de estos efectos. En algunas jurisdicciones, el daño por radiación derivado de efectos estocásticos podría imputarse *colectivamente* (pero no individualmente) a la situación, quizás como una *demanda colectiva*.¹⁰

- Los *radiobiólogos* cualificados pueden hacer un diagnóstico de las muestras para bioensayos especializados extraídas de personas expuestas, por ejemplo, muestras hematológicas y citogenéticas, en las que se pueden apreciar cambios biológicos atribuibles a la exposición radiológica. Pueden utilizarse como indicadores biológicos de la exposición radiológica incluso a niveles de exposición muy bajos. Sin embargo, conviene señalar que la presencia de estos indicadores biológicos en las muestras que se hayan tomado de una persona no significa necesariamente que esta vaya a padecer efectos en la salud como consecuencia de la exposición. No está claro si se puede imputar un “daño” en estos casos.
- Recientemente, se ha convenido a nivel internacional que los efectos de la radiación en la salud no son atribuibles a situaciones con dosis bajas (por ejemplo, dosis similares a las dosis de radiación de fondo natural típicas), pero que sí se podrían inferir, pese a todo, riesgos radiológicos derivados de esas situaciones, que solo pueden ser conjeturas subjetivas. En definitiva, el aumento de la incidencia de los efectos en la salud de la población no puede atribuirse con seguridad a la exposición crónica a niveles de radiación típicos del promedio mundial de radiación de fondo. Esto se debe a las

¹⁰ Por *demanda colectiva* se entiende una demanda en la que una de las partes es un grupo de personas que está representado colectivamente por un miembro de ese grupo.

incertidumbres asociadas a la evaluación de los riesgos a dosis bajas, a la inexistencia en la actualidad de biomarcadores específicos de la radiación para los efectos en la salud y a la insuficiente potencia estadística de los estudios epidemiológicos. Existe un consenso internacional en cuanto a que la cantidad de efectos inducidos por la radiación en la salud de una población expuesta a dosis incrementales con unos niveles equivalentes o inferiores a los niveles de radiación de fondo natural no se puede estimar multiplicando dosis muy bajas por un gran número de personas. Estas situaciones son muy comunes en la práctica y la imputación legal del daño por radiación que se les asigna hipotéticamente es objeto de controversia. Se ha señalado que los órganos de salud pública deben distribuir los recursos adecuadamente, para lo cual podrían, entre otras cosas, hacer proyecciones con fines comparativos del número de efectos en la salud. Este método, pese a estar basado en supuestos razonables pero no comprobables, podría ser útil para dichos fines si se aplicara de forma coherente, se tuvieran plenamente en cuenta las incertidumbres de las evaluaciones y no se infiriera que los efectos en la salud estimados son algo más que teóricos.

7.3. DE LA ESTIMACIÓN DE LOS EFECTOS A LA IMPUTACIÓN DEL DAÑO

La imputación legal del daño por radiación ha generado controversia a lo largo de los años, sin que se haya resuelto de manera universal. La cuestión puede resumirse como sigue:

- a) atribución de efectos en la salud a situaciones de exposición radiológica;
- b) atestación de su presencia por parte de expertos cualificados, y
- c) emprendimiento de acciones legales como, en primer lugar, la imputación y, eventualmente, la presentación de cargos, la incoación, la acusación, el enjuiciamiento y la decisión judicial, de acuerdo con la práctica jurídica en la jurisdicción aplicable. La cuestión parece ser especialmente difícil en situaciones en las que las dosis de radiación individual son bajas.

Aunque el origen de la cuestión se remonta a la época en que se llevaron a cabo numerosos ensayos de armas nucleares, esta se reavivó tras los grandes accidentes nucleares, como los de las centrales nucleares de Three Mile Island, Chernóbil y Fukushima Daiichi, y como consecuencia del interés relativamente reciente en la llamada “administración errónea” de dosis de radiación en prácticas médicas como la radioterapia y el radiodiagnóstico.

El debate se caldeó tras el accidente de la central nuclear de Chernóbil y se notificó por primera vez en el Simposio sobre Accidentes Nucleares: Responsabilidades y Garantías, convocado en 1993 por la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (AEN de la OCDE).¹¹ En ese encuentro se abordó el dilema de la causalidad asociada a las consecuencias radiológicas para la salud del accidente de Chernóbil.¹² Una década después de ese debate inicial, la influencia de esta cuestión en el derecho nuclear ya era tema de debate en la literatura jurídica.¹³

Así, desde el principio se expresaron inquietudes por las limitaciones epistemológicas de la atribución de efectos en la salud a la exposición radiológica a dosis relativamente bajas y sus consecuencias jurídicas. A pesar de estas inquietudes, se atribuyeron efectos teóricos a las bajas dosis de radiación como consecuencia del accidente, no solo en la literatura científica arbitrada,¹⁴ sino también, y de manera más notable, en el plano académico (por ejemplo, en *Annals of the New York Academy of Sciences*).¹⁵ Estas opiniones no estaban en consonancia con las estimaciones comunicadas por las organizaciones internacionales.¹⁶ Estas contradicciones suscitaron grave preocupación entre miembros del público y sus representantes.

No es de extrañar que tras el accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi se pusiera de moda en la literatura científica comunicar efectos indemostrables de manera similar.¹⁷ Esos informes diferían por completo de las estimaciones científicas de las organizaciones internacionales.¹⁸

Así, la controversia entre expertos acerca de los efectos de la radiación de baja intensidad en la salud ha ocupado el lugar central de un debate confuso y desconcertante. No es de extrañar que la respuesta jurídica a casos de exposición a dosis de radiación relativamente bajas haya sido ambigua: si bien en los últimos años las reclamaciones jurídicas no prosperaron por lo general en la mayoría de los países, algunos casos han tenido éxito, especialmente en el Japón, y podrían tener numerosas repercusiones jurídicas.¹⁹

Como era de prever, el tratamiento equívoco de la cuestión y la ambigüedad jurídica en torno a ella están provocando desconcierto entre el público en

¹¹ AEN de la OCDE 1993.

¹² González 1993, pág. 25.

¹³ González 2002.

¹⁴ Véase, por ejemplo, Cardis et ál. 2006.

¹⁵ Yablokov et ál. 2010.

¹⁶ OIEA 1996; UNSCEAR 2008.

¹⁷ Véase, por ejemplo, Ten Hoeve y Jacobson 2012.

¹⁸ UNSCEAR 2013; OIEA 2015; González et ál. 2013.

¹⁹ Véase, por ejemplo, <https://www.bbc.com/news/world-asia-38843691>. Consultado el 11 de octubre de 2021.

general y favoreciendo el sensacionalismo en los medios de comunicación, y ya se han cobrado un alto precio si pensamos en el miedo del público a las dosis de radiación bajas.²⁰ Como resultado de ello, en varios casos, los procesos de reglamentación para impedir la exposición a bajos niveles de radiación a fin de evitar repercusiones jurídicas han impuesto graves trabas a la sociedad y, de manera no deliberada, han obstaculizado el uso de prácticas beneficiosas que entrañan exposición radiológica.

Quizás los problemas surgieron primero por la desinformación y una mala comunicación entre expertos juristas y un grupo heterogéneo de radiobiólogos, radioepidemiólogos, radiopatólogos y radioproteccionistas. Además, la comunicación con el público y sus representantes políticos no ha sido ni mucho menos buena. Estos contratiempos se han examinado ampliamente,²¹ pero no se ha encontrado ninguna solución.

Un interrogante jurídico de gran importancia es qué hacer con el error de cálculo epistemológico en la atribución de los efectos de la radiación a situaciones de exposición en las que esos efectos podrían conjeturarse pero no son demostrables. Este problema ha quedado suficientemente examinado en la literatura,²² pero a lo largo de los años parece haberse ignorado tanto en los reglamentos como en la práctica jurídica.

La Organización Internacional del Trabajo llevó a cabo un importante esfuerzo para abordar la cuestión.²³ Se publicó un informe sobre enfoques de la atribución de los efectos nocivos en la salud a la exposición ocupacional a radiación ionizante y su aplicación en los programas de indemnización por cáncer. Aunque de alcance limitado (solo abarcaba la exposición ocupacional y se centraba en la indemnización), fue un importante intento de avanzar en la cuestión de la imputación. El documento, recordando el Convenio N° 115 de la OIT, exige que se indemnice a los trabajadores que hayan desarrollado cáncer como consecuencia de exposición ocupacional a la radiación y reconoce que debe seleccionarse un proceso de indemnización para la enfermedad que sea capaz de distinguir entre los casos que muy probablemente hayan sido causados por exposición ocupacional y los casos de fondo que se hayan desarrollado por otras razones.

Por fortuna, sin embargo, hace relativamente poco se alcanzó un consenso intergubernamental internacional sobre la atribución de los efectos demostrables

²⁰ Waltar et ál. 2016.

²¹ OIEA 2018.

²² González 2011.

²³ OIT et ál. 2010.

de la radiación en la salud frente a la inferencia de riesgos hipotéticos. Ese importante avance fue finalmente logrado, hace pocos años, por el UNSCEAR.²⁴

En 2012 el UNSCEAR perfiló mejor las dimensiones de este paradigma al examinar las cuestiones de la atribución de los efectos en la salud a la exposición radiológica y la inferencia de los riesgos.²⁵ La Asamblea General de las Naciones Unidas acogió con unánime beneplácito este informe científico del UNSCEAR.²⁶ El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha resumido las estimaciones del UNSCEAR en un folleto, cuyas principales conclusiones y ejemplos se citan en el presente capítulo.²⁷ Este importante acuerdo mundial se difundió ampliamente en la literatura,²⁸ pero aún está lejos de aplicarse en la práctica reglamentaria. La Comisión sobre Normas de Seguridad (CSS) viene estudiando la cuestión y está preparando un informe al respecto (la CSS es el órgano internacional que refrenda las normas internacionales de seguridad establecidas bajo la égida del OIEA con el copatrocinio de todas las organizaciones internacionales pertinentes).

Tras un largo periplo, parece que, gracias a la orientación del UNSCEAR, la comunidad científica ha alcanzado un consenso sobre los efectos en la salud a dosis bajas: si bien pueden inferirse los riesgos, no pueden atribuirse los efectos reales. Este importante consenso científico debería traducirse en instrumentos jurídicos en los que se traten las cuestiones de la imputación, la incoación, el enjuiciamiento, la presentación de cargos, la acusación y la decisión judicial tras situaciones de exposición radiológica. A estos avances les siguió un debate sobre cómo pasar de la atribución y la inferencia científicas a la imputación legal (y, en consecuencia, a la incoación, el enjuiciamiento, la presentación de cargos, la acusación y la decisión judicial),²⁹ pero aún no se ha materializado en enfoques universales.

7.4. EL PARADIGMA FUNDAMENTAL

El nuevo paradigma³⁰ del UNSCEAR es algo más preciso que las estimaciones anteriores³¹ en las que actualmente se basan los reglamentos intergubernamentales de carácter internacional y, por consiguiente, el amplio

²⁴ UNSCEAR 2012.

²⁵ *Ibid.*

²⁶ Asamblea General de las Naciones Unidas 2012.

²⁷ PNUMA 2016.

²⁸ González 2014b, c.

²⁹ González 2014a.

³⁰ UNSCEAR 2012; ICRP 2005.

³¹ UNSCEAR 2008.

corpus de reglamentos de seguridad nuclear para proteger a las personas de los efectos nocivos de la exposición radiológica.³² Por ejemplo, en los reglamentos vigentes no se hace una distinción clara entre la atribución de los efectos objetivos y la inferencia de los riesgos hipotéticos. No obstante, el nuevo paradigma internacional proporciona la base científica y normativa sobre la que se asientan las cuestiones jurídicas asociadas a la imputación de daños en situaciones de exposición radiológica.

Este paradigma puede resumirse de manera simplificada en una relación dosis-respuesta con anotaciones (véase la sección 7.4.1).

7.4.1 La relación dosis-respuesta

La relación entre las dosis de radiación recibidas por las personas y la probabilidad de que se produzcan efectos en la salud (denominada *relación dosis-respuesta*), que puede derivarse de las estimaciones del UNSCEAR, ha sido sintetizada por el PNUMA en el gráfico de la figura 7.1.³³

Las dosis se expresan como:

- *dosis altas* (dosis efectiva de aproximadamente 1 sievert [tégase en cuenta que la dosis media de fondo natural es de 0,0024 sieverts al año; por lo tanto, un sievert es 1000 veces mayor que los niveles anuales de radiación de fondo natural]);
- *dosis moderadas* (aproximadamente cientos de milésimas de sievert [una milésima de sievert se denomina *millisievert*]);
- *dosis bajas* (unas decenas de milisieverts), y
- *dosis muy bajas* (aproximadamente 1 milisievert).

Las probabilidades se expresan en porcentajes que van del 0 al 100 %, donde:

- el 100 % corresponde a la certeza de que *el efecto se producirá*;
- el 0 % corresponde a la certeza de que *el efecto no se producirá*.

Cabe señalar que, según las estimaciones del UNSCEAR, se distinguen dos tipos de probabilidades:

- las *probabilidades frecuentistas*, correspondientes a la franja de dosis altas, basadas en la existencia verdadera y verificable de efectos de la radiación en

³² OIEA 2014; ICRP (2007) 2010.

³³ PNUMA 2016, pág. 25.

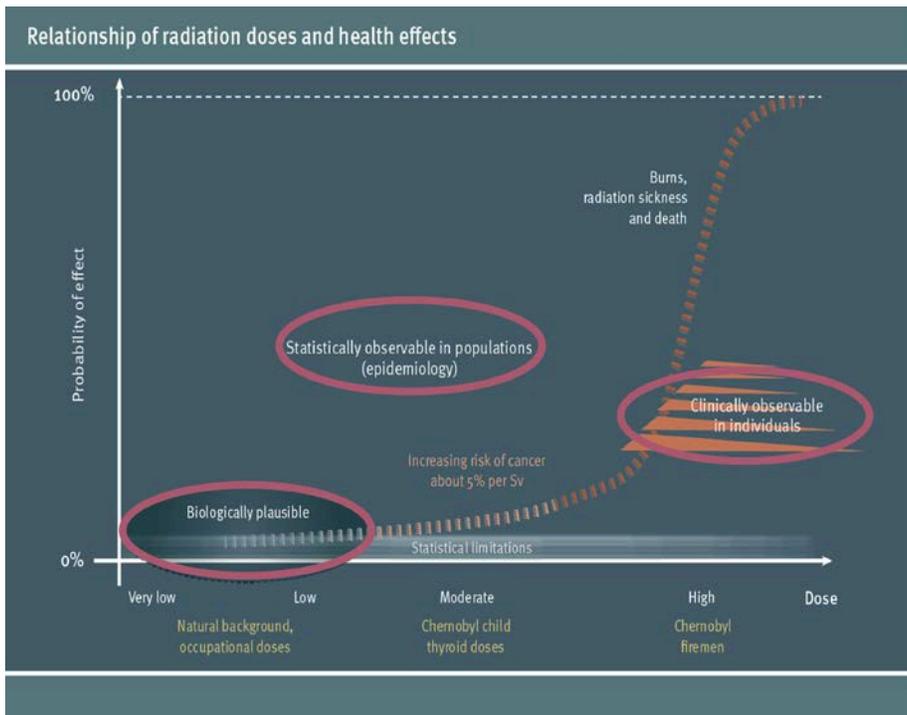


Fig. 7.1 La relación dosis-respuesta. Fuente: PNUMA 2016, página 25

la salud, que se definen como el límite de la frecuencia relativa de incidencia del efecto en una serie de estudios epidemiológicos certificables;

- las *probabilidades subjetivas* (también denominadas *bayesianas*), correspondientes a la franja de dosis bajas, que se expresan como una posible expectativa de que se manifiesten efectos de la radiación en la salud, y se cuantifican según una creencia personal o la opinión un experto que no se sustenta en la frecuencia con que realmente se producen esos efectos o la predisposición a que efectivamente tengan lugar.

Tanto las probabilidades frecuentistas como las subjetivas son matemáticamente compatibles, pero epistemológicamente muy diferentes: las primeras se basan en *hechos* y las segundas en *conjeturas*.

El UNSCEAR ha puesto de relieve la importancia de distinguir entre:

- la *observación comprobada de efectos en la salud* en personas y poblaciones expuestas, que permite atribuir inequívocamente esos efectos a situaciones de exposición que los generaron;

- los *pronósticos teóricos de efectos en la salud*, cuya manifestación es posible, pero no comprobable; es decir, los pronósticos que solo permiten inferir los riesgos en cierta medida.

En ambos casos, es importante tener en cuenta tanto la incertidumbre como la inexactitud asociada a las estimaciones.

Sobre la base de los conocimientos actuales, algunos efectos en la salud de personas concretas expuestas a la radiación, los *efectos deterministas*, pueden atribuirse con seguridad si fueron diagnosticados por un especialista. Estos efectos suelen ser agudos y se presentan de manera temprana en las personas expuestas a dosis altas de radiación. Se denominan deterministas porque está determinado que se producen si la dosis excede un valor umbral concreto que ya se ha considerado como una dosis alta.

También es posible atribuir a la radiación el aumento de la incidencia normal de determinados efectos en las poblaciones, los *efectos estocásticos* (por ejemplo, el aumento de la incidencia del cáncer, que se ha observado en poblaciones expuestas a dosis altas). Estos efectos pueden manifestarse en determinadas cohortes expuestas a dosis moderadas y altas de radiación, y se presentan tras períodos prolongados de latencia. Pueden atribuirse a la exposición al observarse su incidencia en las poblaciones afectadas, pero solo si el cambio observado en la incidencia de base de los efectos es lo suficientemente elevado como para superar las incertidumbres estadísticas y epistémicas. Debido a la aleatoriedad con la que se presentan, se denominan *efectos estocásticos*. La probabilidad de que se produzcan efectos estocásticos se calcula en función de la frecuencia medida de los efectos, y se denomina de forma genérica *riesgo de la radiación*, o simplemente *riesgo*; ese riesgo suele expresarse como un número adimensional por dosis unitaria de radiación recibida.

En la actualidad no se dispone de biomarcadores para distinguir si un efecto estocástico en una persona ha sido ocasionado por la exposición a la radiación o por otra causa, o simplemente se ha dado de manera natural. Es decir, no existen patrones para los especímenes biológicos que permitan hacer un diagnóstico específico de los efectos estocásticos en las personas. Por este motivo, los efectos estocásticos no son atribuibles a la exposición sufrida por una persona en concreto, sino más bien únicamente a la exposición colectiva sufrida por una población. En el presente capítulo se expresan como un cambio en la incidencia de base del efecto.

No se han confirmado cambios en la incidencia de los efectos en la salud en situaciones en las que el nivel de exposición radiológica es bajo o muy bajo (por ejemplo, en situaciones típicas de exposición radiológica ambiental y ocupacional). Dadas las incertidumbres estadísticas y epistémicas de los estudios

epidemiológicos a dosis bajas y muy bajas, entre otros motivos, es imposible confirmar estos cambios.

No obstante, en principio, no puede descartarse la manifestación silenciosa de estos efectos y podría asignarse una probabilidad a esa manifestación hipotética. Así pues, *la probabilidad de que se produzcan efectos estocásticos a dosis bajas y muy bajas solo puede inferirse subjetivamente a partir del juicio de expertos*. Por lo tanto, a dosis bajas y muy bajas, es necesario formular hipótesis y utilizar modelos matemáticos para estimar la probabilidad subjetiva de que se produzcan efectos en la salud, lo que da lugar a resultados inciertos. Esta probabilidad subjetiva también suele denominarse *riesgo*.

En consecuencia, en el caso de dosis de radiación bajas y muy bajas, el UNSCEAR ha optado por no utilizar esos modelos matemáticos en sus evaluaciones para estimar cifras relativas a los efectos de la radiación en la salud (o incluso muertes) ante las incertidumbres inaceptables, inherentes a las predicciones, que se derivan de dichos modelos. Sin embargo, el UNSCEAR estima que estos cálculos pueden ser útiles para hacer suposiciones que pueden utilizarse en comparaciones en el ámbito de la salud pública o con fines de protección radiológica, siempre y cuando, como ha advertido el UNSCEAR, se tengan en cuenta las incertidumbres y se expliquen con claridad las limitaciones.

En resumen, tal y como se señala con óvalos en la figura 7.1, el UNSCEAR hizo una clara distinción entre tres regiones diferentes de la relación dosis-respuesta, en función de la posibilidad de observar efectos, a saber:

- la región en la que los efectos son clínicamente observables en las personas, por medio de un diagnóstico radiopatológico y una atestación mediante certificado;
- la región en la que los efectos son solo estadísticamente observables en las poblaciones (pero no son reconocibles en las personas), a través de estimaciones radioepidemiológicas y una atestación o certificación;
- (en ambas situaciones las probabilidades que pueden darse son frecuentistas);
- la región en la que los efectos no son observables, pero pueden ser biológicamente factibles, y solo pueden inferirse sobre la base de la opinión subjetiva de expertos (es decir, en este caso solo pueden darse probabilidades subjetivas).

7.5. HECHOS VERIFICABLES FRENTE A CONJETURAS SUBJETIVAS

Del examen anterior del paradigma se desprende que la abscisa de la relación dosis-respuesta, que cuantifica la dosis, puede dividirse en dos zonas diferenciadas, como se muestra en la figura 7.2 y se describe en esta sección:

- dosis que producen efectos resultantes de hechos objetivamente verificables, es decir, sucesos verdaderos en lugar de interpretables, que se manifiestan sin lugar a dudas y en los que no influyen sentimientos ni opiniones personales;
- dosis que solo dan lugar a inferencias subjetivas basadas en conjeturas, es decir, en opiniones o conclusiones basadas en información incompleta, no comprobada y, quizás, influida por sentimientos u opiniones personales.

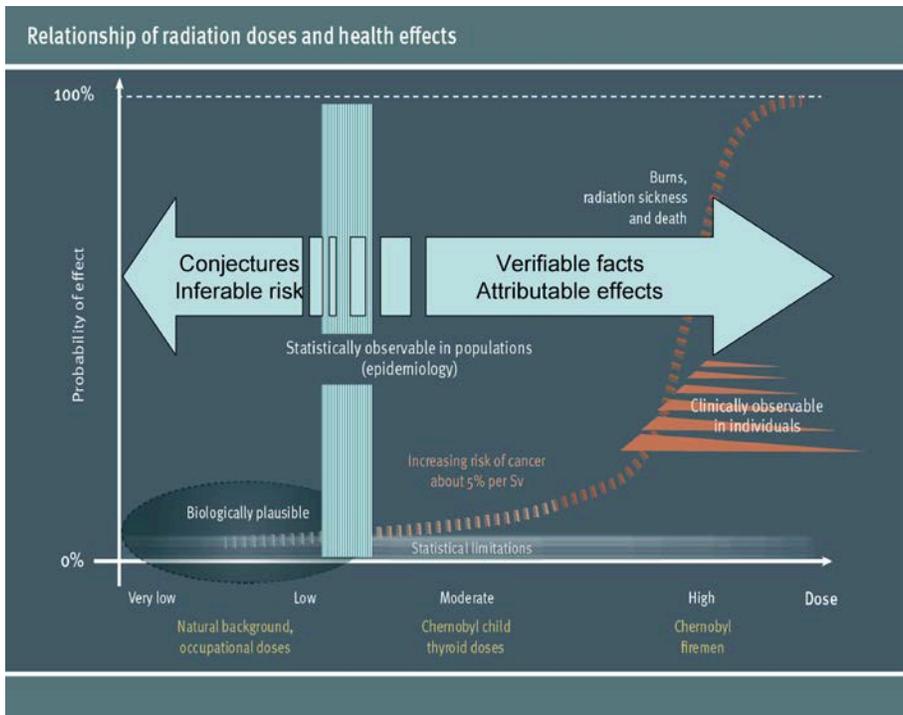


Fig. 7.2 La abscisa de la relación dosis-respuesta dividida en dos zonas diferenciadas. Fuente: PNUMA 2016, página 25 (versión adaptada)

De ello se desprende que las dos zonas diferenciadas son:

- la zona en la que es posible atribuir objetivamente los efectos a situaciones de exposición radiológica;
- la zona en la que no es posible atribuir objetivamente los efectos, aunque cabe la posibilidad de inferir los riesgos de manera subjetiva.

7.6. ATESTACIÓN

Como se ha expuesto anteriormente, la manifestación de efectos de la radiación puede ser atestada por radiopatólogos en el caso de los efectos deterministas en las personas y por radioepidemiólogos en el de los efectos estocásticos en las poblaciones. Esta atestación no es posible únicamente sobre la base de un juicio experto.

La zona de la relación dosis-respuesta en la que los efectos son atribuibles puede dividirse, a su vez, como se muestra en la figura 7.3, en las dos subzonas siguientes:

- en la región correspondiente a las dosis altas, puede *diagnosticarse* la manifestación de efectos en las personas expuestas;
- en la región correspondiente a las dosis moderadas, solo pueden evaluarse los cambios en la incidencia de los efectos en las poblaciones expuestas, por lo general mediante cálculos estadísticos, es decir, estimados a través de estudios *epidemiológicos*;
- en la región correspondiente a las dosis bajas y muy bajas, solo cabe la posibilidad de obtener un *juicio experto* y extrapolar los conocimientos, pero no se puede hacer un diagnóstico individual de la persona expuesta ni se pueden determinar cambios en la incidencia colectiva de los efectos en las poblaciones expuestas mediante estudios epidemiológicos.

Por lo tanto, es posible hacer otra distinción en la atribución de los efectos, como se indica en la figura 7.3:

- en la zona correspondiente a la región de las dosis altas, los efectos pueden atribuirse individualmente, es decir, es posible diagnosticar y atestar mediante procedimientos de diagnóstico patológico que el efecto se ha manifestado en una persona expuesta;
- en la zona correspondiente a la región de las dosis moderadas, los efectos pueden estimarse colectivamente, es decir, es posible evaluar si se produce

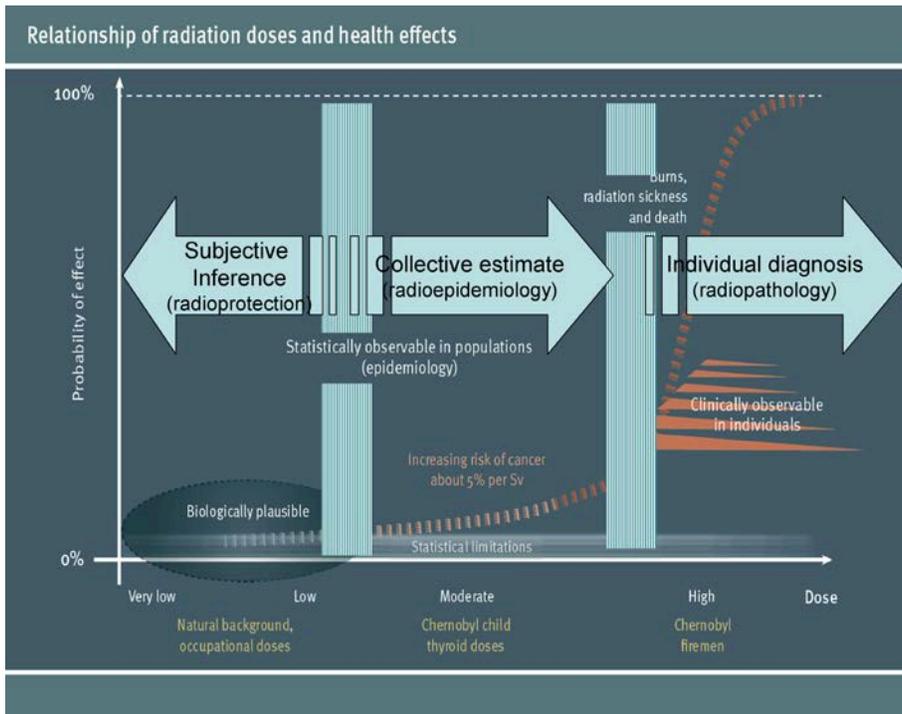


Fig. 7.3 Subzonas de la relación dosis-respuesta en las que los efectos son atribuibles. Fuente: PNUMA 2016, página 25 (versión adaptada)

un aumento en la incidencia de los efectos en una población expuesta, aunque estos efectos no pueden diagnosticarse de forma individual;

- en la zona restante correspondiente a la región de las dosis bajas, no pueden atribuirse los efectos, ni individual ni colectivamente, aunque se puede inferir un *riesgo* expresado como una probabilidad subjetiva que no se basa en frecuencias medibles, sino en opiniones personales de expertos o en decisiones reglamentarias.

Como se muestra en la figura 7.3, el proceso exige diferentes atestaciones profesionales, según se indica a continuación:

- la atribución individual de los efectos solo puede hacerse por medio de un diagnóstico, seguido de un certificado de atestación oficial expedido por un *radiopatólogo* cualificado;

- la atribución colectiva de los efectos solo puede hacerse por medio de una estimación estadística, seguida de un certificado de atestación oficial expedido por un *radioepidemiólogo* cualificado;
- la inferencia subjetiva de los efectos podría requerir la opinión consensuada de un órgano profesional de especialistas pertinentes, fundamentalmente radiobiólogos y radioepidemiólogos que actúen en calidad de radioproteccionistas, que deben expresar su *juicio experto* sobre los riesgos, si los hubiere, así como sus incertidumbres y limitaciones. Dicho juicio debería ser validado por decisiones reglamentarias.

7.7. CONSECUENCIAS JURÍDICAS

La capacidad de atribuir los efectos en la salud a situaciones de exposición concretas puede influir en la capacidad de imputar legalmente los daños de quienes sufrieron los efectos. La imputación puede incluir la asignación, a los causantes de la exposición, de la responsabilidad por lesiones físicas o efectos nocivos infligidos deliberadamente. Por ejemplo, los trabajadores pueden imputar a sus empleadores y los miembros de la población pueden imputar a los licenciarios de las instalaciones que efectúan operaciones en su hábitat. Sin embargo, la legislación relativa a la atribución de los efectos de la radiación en la salud, la inferencia de los riesgos radiológicos y, en particular, la imputación de los daños, es heterogénea, incoherente y varía tanto de un país a otro como en los casos juzgados en las jurisdicciones de un mismo país. De la comparación de la legislación jurisprudencial con la legislación codificada se desprende una distinción importante.

El sustantivo *imputación*, el verbo *imputar* y su gerundio *imputando* son de uso muy frecuente en muchas jurisdicciones legales (por ejemplo, en regiones jurisdiccionales de Iberoamérica). Pero el uso de *imputación* no es tan común en algunas culturas jurídicas (por ejemplo, en algunas jurisdicciones anglosajonas). La palabra imputación y sus derivados son gramaticalmente correctos, ya que significan atribuir algo negativo (en este caso, algo negativo causado por la exposición radiológica) a alguien (por ejemplo, los empleados expuestos a la radiación pueden atribuir algo negativo a los empleadores; los miembros de la población afectados, a los operadores de instalaciones relacionadas con la radiación). En definitiva, imputar significa atribuir la culpa a alguien, ya sea una persona física o una persona jurídica.³⁴ Existen otros términos conexos que se utilizan con fines jurídicos similares, entre ellos, *incoar* y *enjuiciar*, que se refieren a la iniciación de procedimientos judiciales tras la exposición

³⁴ El término deriva del latín *imputare*, que significa “computar, contabilizar”.

radiológica; *presentar cargos*, que se refiere a la acusación formal de un delito (por ejemplo, infringir los reglamentos de protección radiológica); *acusar*, que se utiliza para referirse a la acusación formal de un delito grave (por ejemplo, matar a una persona con radiación); y, por supuesto, *juzgar*, que se utiliza para referirse al veredicto que da un funcionario público designado para pronunciarse sobre los casos sometidos a un tribunal de justicia. Cabe destacar que las descripciones del presente capítulo son aplicables *mutatis mutandis* a cualquiera de estos conceptos.

7.7.1. Legislación jurisprudencial (“caso por caso”)

La legislación “caso por caso” basada en la hermenéutica jurisprudencial se distingue de la legislación codificada por su flexibilidad. Esta legislación permite ocuparse fácilmente de las situaciones en las que se presentan efectos deterministas y es maleable a la hora de interpretar situaciones probabilísticas, como el daño atribuible o inferible tras la exposición radiológica a dosis moderadas, bajas y muy bajas.

Por ejemplo, en algunos países donde prevalece este tipo de legislación, se ha aplicado el concepto de *fracción asignada*³⁵ para resolver casos de imputación de daños por radiación debidos a efectos estocásticos.

La *fracción asignada* equivale a la fracción correspondiente al número total de casos de un tipo específico de cáncer diagnosticado entre las personas que supera el número de casos de referencia de personas que comparten las mismas características, como la dosis absorbida en un órgano, la edad, el tiempo transcurrido desde la última exposición, el sexo y los hábitos tabáquicos). La fracción asignada se cuantifica como la relación entre el *riesgo añadido relativo* y el *riesgo relativo*.³⁶ La *fracción asignada* suele denominarse *fracción atribuible* o *probabilidad de causalidad*, suponiendo que el riesgo añadido

³⁵ Por *fracción asignada* se entiende la probabilidad de que un efecto en la salud (ya sea determinista o estocástico) observado en una persona haya sido causado por una situación de exposición radiológica concreta.

³⁶ Por *riesgo relativo* se entiende el cociente entre las tasas de enfermedad en distintos grupos (por ejemplo, en un grupo expuesto y en uno no expuesto) o por diferentes condiciones de exposición (por ejemplo, personas expuestas a altas tasas de dosis y personas expuestas a bajas tasas de dosis); con frecuencia es útil considerar el riesgo relativo como una función de variables, entre ellas, la dosis, el sexo o la edad (cabe señalar que, si bien este cociente suele denominarse riesgo relativo, este término es erróneo; se trata en realidad de un cociente entre tasas, al igual que las estadísticas derivadas de este cociente). En rigor, aunque los cocientes en cuestión se calculan estadísticamente en función de las frecuencias/tasas observadas, el riesgo añadido relativo es una estimación prospectiva que se deduce de datos y razonamientos. Por *riesgo añadido relativo* se entiende el *riesgo relativo* menos uno, y a menudo se considera como una función de la dosis y otros factores.

relativo calculado representa las consecuencias netas de los mecanismos de manifestación de la enfermedad en una persona concreta a la que se le ha diagnosticado tal enfermedad.

7.7.2. Legislación codificada

Muchos sistemas jurídicos de regiones extensas (por ejemplo, Iberoamérica) tienen una legislación “codificada”, es decir, legislación que resulta del proceso de recopilar y reformular la legislación, generalmente por tema, que conforma un código legal, esto es, una compilación de leyes. La tendencia a la codificación cobró impulso durante la Ilustración y se extendió tras promulgarse el Código napoleónico.

El sistema jurídico codificado evita la arbitrariedad y la discriminación, que años atrás eran relativamente comunes en los regímenes monárquicos autoritarios. Sin embargo, hay que reconocer que un sistema jurídico codificado es, en esencia, un sistema determinista: un sistema predeterminado por la codificación.

Por lo tanto, el sistema jurídico codificado está adaptado para ocuparse de las situaciones de exposición que producen efectos deterministas, dada la existencia de umbrales de dosis a partir de los cuales está determinado que un efecto se produce o no, es decir, si es o no atribuible. Un experto competente facultado para ejercer la radiopatología puede atestar inequívocamente la aparición de efectos y, dado que las sanciones pueden codificarse, la imputación resulta sencilla. No obstante, el sistema no se adapta totalmente a las situaciones probabilísticas, en especial en situaciones de baja probabilidad, como las relacionadas con los posibles daños a raíz de la exposición radiológica cuando las probabilidades ni siquiera se sustentan en frecuencias objetivas de manifestación, sino que son solo la “opinión subjetiva de expertos”, que no se presta a la codificación. Por ello, la legislación codificada resulta problemática para resolver casos de imputación de efectos estocásticos.

7.7.3. Imputación individual frente a imputación colectiva frente a imputación ficticia

La imputación de los daños asociados a la exposición radiológica sigue siendo un gran interrogante jurídico. Esta cuestión podría ser más sencilla de resolver en sistemas jurídicos jurisprudenciales, “caso por caso”, pero resulta especialmente engorrosa para la legislación codificada, en la que no es viable adoptar un enfoque “caso por caso”. Como se indica en la figura 7.4, pueden darse las siguientes situaciones:

- En la región correspondiente a las dosis altas, la imputación se da directamente de la persona afectada al causante.
- En la región correspondiente a las dosis moderadas, al parecer, solo es posible la imputación colectiva o de grupo.
- En la región correspondiente a las dosis bajas, la situación es, cuando menos, cuestionable. ¿Es posible imputar las consecuencias percibidas de los riesgos radiológicos sobre la base de opiniones subjetivas?

En la región correspondiente a las dosis altas, los efectos individuales en la salud son clínicamente atribuibles y atestables y, por lo tanto, la persona afectada puede imputar los daños. En la región correspondiente a las dosis moderadas, la mayor incidencia de los efectos nocivos en los grupos de población es epidemiológicamente atribuible y atestable y, por lo tanto, el grupo afectado puede imputar los daños. En la región correspondiente a las dosis bajas, en la que el daño por radiación no es atribuible ni atestable, ni individual ni colectivamente, pero puede inferirse el riesgo radiológico, la situación parece estar en un limbo jurídico.

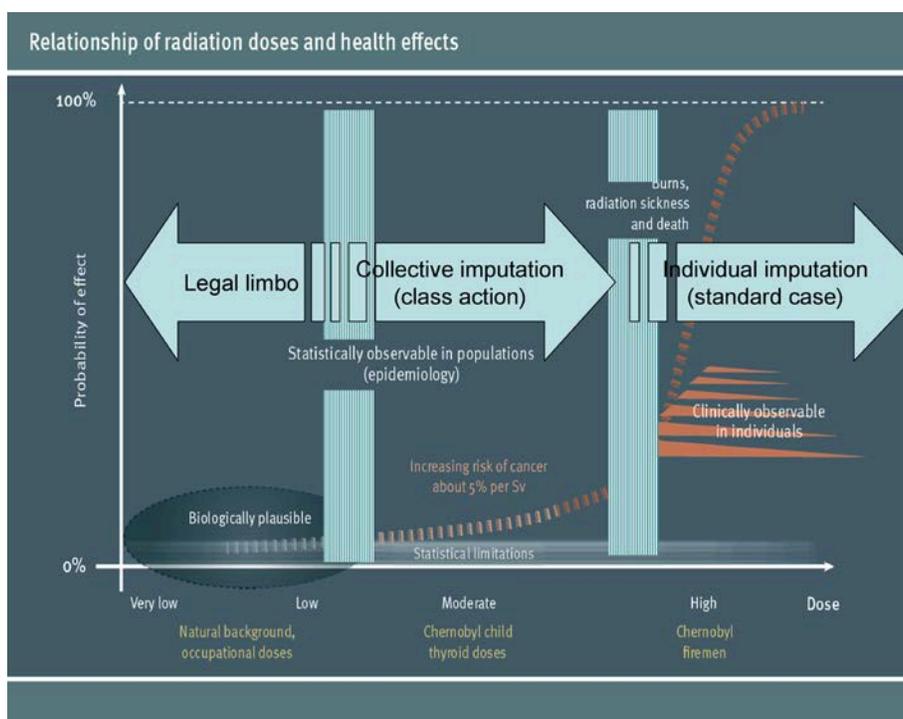


Fig. 7.4 Representación esquemática de la capacidad de imputación tras recibir diferentes dosis de radiación. Fuente: PNUMA 2016, página 25 (versión adaptada)

7.8. CONCLUSIÓN

Tras un largo periplo, parece que la comunidad científica ha alcanzado, gracias a la orientación del UNSCEAR, un consenso sobre la atribuibilidad de los daños en situaciones de exposición radiológica. Este importante consenso científico debería traducirse en instrumentos jurídicos en los que se trate la cuestión de la imputación legal, así como los conceptos conexos de incoación, enjuiciamiento, presentación de cargos, acusación y decisión judicial, tras situaciones de exposición radiológica. Si bien a raíz de estos avances se ha examinado de manera preliminar la cuestión de cómo pasar de la atribución y la inferencia científicas a la imputación legal,³⁷ esto aún no se ha materializado en enfoques universales.

Parece que ha llegado el momento de que los expertos jurídicos recojan en orientaciones legales los avances científicos sobre la atribución de los efectos de la radiación y la inferencia de los riesgos radiológicos tras situaciones de exposición radiológica.

Dadas las diferencias culturales, reglamentarias y legislativas que existen entre los países, se considera prudente y necesario examinar esta cuestión jurídica a escala internacional con dos objetivos fundamentales:

- a) fomentar un entendimiento jurídico común de la política relativa a los daños por radiación atribuidos a situaciones de exposición radiológica, y
- b) examinar la posibilidad de una interpretación universal de la legislación por la que se rija la aplicación de la ley en estas situaciones, que podría servir de base a las diferentes legislaciones nacionales.

La responsabilidad recae ahora en los juristas expertos en derecho nuclear.

REFERENCIAS

- Cardis E, Krewski D, Boniol M, Drozdovitch V, Darby S C, Gilbert E S, Akiba S, Benichou J, Ferlay F, Gandini S, Hill C, Howe G, Kesminiene A, Moser M, Sanchez M, Storm H, Voisin L, Boyle P (2006) Estimates of the Cancer Burden in Europe from Radioactive Fallout from the Chernobyl Accident, *International Journal of Cancer* 119:1224-35.
- González A J (1993) The Radiological Health Consequences of Chernobyl: The Dilemma of Causation. In: *Nuclear Accidents: Liabilities and Guarantees*, OECD/NEA, Paris.
- González A J (2002) The debate on the health effects attributable to low radiation exposure, *Pierce Law Review* 1:39-67.
- González A J (2011) Epistemology on the Attribution of Radiation Risks and Effects to Low Radiation Dose Exposure Situations, *International Journal of Low Radiation* 8.

³⁷ González 2014a.

- González A J (2014a) Key Note Address: Imputability of Health Effects to Low-Dose Radiation Exposure Situations. In: Manóvil R M (ed) Nuclear Law in Progress, Legis Argentina S.A., Buenos Aires.
- González A J (2014b) Clarifying the Paradigm on Radiation Effects & Safety Management: UNSCEAR Report on Attribution of Effects and Inference of Risks, Nuclear Engineering and Technology 46:467-474.
- González A J (2014c) Clarifying the Paradigm for Protection Against Low Radiation Doses: Retrospective Attribution of Effects Vis-à-Vis Prospective Inference of Risk, Radiation Protection in Australasia 31:2-12.
- González A J, Akashi M, Boice Jr J D, Chino M, Homma T, Ishigure N, Kai M, Kusumi S, Lee J-K, Menzel H-G, Niwa O, Sakai K, Weiss W, Yamashita S, Yonekura Y (2013) Radiological Protection Issues Arising During and After the Fukushima Nuclear Reactor Accident, Journal of Radiological Protection 33:497-571.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1996) One Decade After Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident, IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2014) *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad*, patrocinada conjuntamente por: Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, Comisión Europea, Organismo Internacional de Energía Atómica, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización Internacional del Trabajo, Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 3*, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2015) *El accidente de Fukushima Daiichi*, OIEA, Viena.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018) Report of the 2018 International Symposium on Communicating Nuclear and Radiological Emergencies to the Public. <https://www.iaea.org/sites/default/files/19/01/cn-265-report.pdf>. Accessed 3 October 2021
- International Commission on Radiological Protection (ICRP) (2005) Low dose Extrapolation of Radiation-Related Cancer Risk, Elsevier, Amsterdam.
- Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) (2007) *Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*, Senda Editorial, Madrid.
- International Labour Organization (ILO), International Atomic Energy Agency (IAEA), World Health Organization (WHO) (2010) Approaches to Attribution of Detrimental Health Effects to Occupational Ionizing Radiation Exposure and Their Application in Compensation Programmes for Cancer: A Practical Guide, ILO, Geneva.
- OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (1993) Nuclear Accidents: Liabilities and Guarantees, OECD/NEA, Paris.
- Ten Hoeve J E, Jacobson M Z (2012) Worldwide Health Effects of the Fukushima Daiichi Nuclear Accident, Energy & Environmental Science 5:8743-57.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2016) *Radiación: efectos y fuentes*, Nairobi, Kenya.
- Asamblea General de las Naciones Unidas (2012), *Efectos de las radiaciones atómicas*, A/RES/67/112.

- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2008) Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I-CORR.pdf. https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.II.pdf. Accessed 3 October 2021
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2012) Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2012/UNSCEAR_2012_Report.pdf. Accessed 3 October 2021
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2013) Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.I.pdf. https://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.II.pdf. Accessed 3 October 2021
- Waltar A E, Brooks A L, Cuttler J M, Feinendegen L E, González A J, Morgan W F (2016) The High Price of Public Fear of Low-Dose Radiation, *Journal of Radiological Protection* 36:387.
- Yablokov A V, Nesterenko V B, Nesterenko A V (2010) Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment. In: Sherman-Nevinger J D (ed) *Annals of the New York Academy of Sciences*, Blackwell, Boston.

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

8. LA EFICACIA DEL RÉGIMEN JURÍDICO DE LA SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR A NIVEL MUNDIAL Y LA CAPACIDAD DE APLICACIÓN DE LOS ESTADOS A LA LUZ DEL DESARROLLO FUTURO DE TECNOLOGÍAS DE REACTORES NUCLEARES AVANZADOS

Bonnie Denise Jenkins

Resumen La futura llegada de tecnologías de reactores modulares pequeños y otros reactores nucleares avanzados puede suponer un desarrollo inmensamente beneficioso en la búsqueda colectiva global de la seguridad energética y el cumplimiento de los objetivos del cambio climático. La cuestión clave es si estas nuevas tecnologías de reactores alteran o no de forma significativa las premisas fundamentales en las que se basa el actual régimen jurídico de seguridad nuclear. La Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFNM) y su Enmienda son los únicos instrumentos internacionales que rigen la protección física de los materiales y las instalaciones nucleares. La Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares y las orientaciones internacionales sobre seguridad física nuclear constituyen el actual marco jurídico de seguridad física nuclear. Este capítulo examina si la Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares abarca adecuadamente las tecnologías de reactores avanzados y si los Estados que están interesados en adquirir estas nuevas tecnologías de reactores tienen la capacidad de aplicar eficazmente los requisitos legales conexos, así como las normas reguladoras y las orientaciones internacionales que acompañan a dichas tecnologías. El análisis aborda el papel del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Orientación sobre Seguridad Física Nuclear de la OIEA y cuestiones de ciberseguridad.

Palabras clave Ciberseguridad • Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA • Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFNM) • La Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares • Protección física • Proveedores • Reactores modulares pequeños (SMR) • Tecnologías de reactores nucleares avanzados

8.1. INTRODUCCIÓN

A medida que se difundía el uso de la energía nuclear en las décadas de 1960 y 1970, la comunidad internacional fue tomando conciencia de la necesidad de compartir un conjunto de prácticas para garantizar la adecuada seguridad física de los materiales nucleares para uso civil. En aquella época, la tecnología de reactores de agua ligera era el único tipo de reactor civil ampliamente comercializado y, en consecuencia, la comunidad internacional tuvo esto en cuenta en sus esfuerzos para desarrollar acuerdos, regulaciones y orientaciones relacionados con la seguridad física nuclear. Con la mirada en el futuro, parece probable que en los próximos decenios desaparezca el predominio de los reactores de agua ligera y deje paso a tecnologías de reactores avanzados, incluidos los reactores modulares pequeños (SMR). Teniendo esto presente, los encargados responsables de la eficacia a largo plazo del régimen jurídico de la seguridad física nuclear a nivel mundial se ven obligados a cuestionarse si será necesario actualizar el régimen actual. La cuestión clave es si estas nuevas tecnologías de reactores alteran o no de forma significativa las premisas fundamentales en las que se basa el actual régimen jurídico de seguridad nuclear. ¿Es el marco de la convención internacional correspondiente, la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN) y su Enmienda,¹ lo suficientemente amplio como para garantizar que sus disposiciones sean aplicables a las tecnologías de reactores avanzados? ¿Son otras orientaciones internacionales lo suficientemente amplias al respecto? ¿Tendrán los Estados interesados en adquirir estas nuevas tecnologías de reactores la capacidad de aplicar eficazmente los requisitos legales conexos, así como las normas reguladoras y las orientaciones internacionales que acompañan a dichas tecnologías?

Para poder abordar estas cuestiones, deberemos examinar primero la Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares y las orientaciones internacionales conexas, que establecen, en su conjunto, nuestro marco jurídico actual. La segunda cuestión clave está relacionada con la capacidad de los Estados para asumir su principal responsabilidad sobre la seguridad física de los materiales nucleares y las instalaciones nucleares bajo su jurisdicción una vez que estas nuevas tecnologías de reactores sean una realidad. En definitiva, creemos que no es necesario realizar una revisión exhaustiva del actual régimen jurídico sobre seguridad física nuclear y las orientaciones conexas para dar respuesta a las nuevas tecnologías de reactores nucleares civiles y deseamos justificar esta conclusión.

¹ La Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, que se abrió a la firma el 3 de marzo de 1980, entró en vigor el 8 de febrero de 1987 (CPFMN); la Enmienda de la CPFMN entró en vigor el 8 de mayo de 2016.

8.2. REVISIÓN DE LOS COMPONENTES PRIMARIOS INTERNACIONALES DEL RÉGIMEN JURÍDICO MUNDIAL DE LA SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR

8.2.1. La Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares y su Enmienda

Reconociendo la necesidad creciente de contar con un conjunto común de normas internacionales que definieran de forma adecuada la seguridad física en el transporte internacional de materiales nucleares, el 3 de marzo de 1980 se abrió para firma la CPFMN, que entró en vigor el 8 de febrero de 1987. A finales de la década de 1990, y en particular tras los acontecimientos del 11 de septiembre de 2001, un gran número de Estados con material nuclear en su poder reconocieron la necesidad de ampliar el marco de la CPFMN para incluir la protección física de los materiales nucleares en lo referente al uso doméstico, almacenamiento y transporte, así como la protección de materiales e instalaciones nucleares contra el sabotaje. En consecuencia, los Estados partes de la CPFMN adoptaron por consenso una Enmienda a la Convención el 8 de julio de 2005, que entró en vigor el 8 de mayo de 2016, de conformidad con el artículo 20.2 de la Convención. La CPFMN y su Enmienda son, en su conjunto, la única convención internacional jurídicamente vinculante que rige la protección física de los materiales y las instalaciones nucleares. En el contexto de las tecnologías de reactores nucleares avanzados, es fundamental señalar que, a diferencia de la CPFMN, la Enmienda incluye también las instalaciones nucleares.

Al considerar la cuestión de si la Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares cubre adecuadamente las tecnologías de reactores avanzados, deberemos examinar los artículos 1, 2 y 2A, que describen su alcance. A los efectos de la Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, el artículo 1 d) define “instalación nuclear” como “una instalación (incluidos los edificios y el equipo conexos) en la que se producen, procesan, utilizan, manipulan o almacenan materiales nucleares o en la que se realiza su disposición final, si los daños o interferencias ocurridos en esa instalación pudieran provocar la emisión de cantidades importantes de radiación o materiales radiactivos”.² El artículo 2 dispone que la Convención “será aplicable a los materiales nucleares utilizados con fines pacíficos en uso, almacenamiento y transporte, así como a las instalaciones nucleares utilizadas con fines pacíficos”.³ Según requiere el artículo 2A, cada Estado parte “establecerá, aplicará y mantendrá un régimen apropiado de protección física de los materiales

² Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, *ibid.* nota 1.

³ Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, *ibid.* nota 1.

nucleares y las instalaciones nucleares que se encuentren bajo su jurisdicción, con el fin de: a) brindar protección contra el robo u otra apropiación ilícita de materiales nucleares durante su utilización, almacenamiento y transporte;... [y] b) proteger los materiales e instalaciones nucleares contra el sabotaje”.⁴ El artículo 2A(3) requiere asimismo que cada Estado parte aplique un conjunto de principios fundamentales de protección física de los materiales e instalaciones nucleares.

Varios de estos principios fundamentales se refieren a la naturaleza de la instalación nuclear en cuestión. El principio fundamental F (Cultura de la seguridad física) dispone que “[t]odas las organizaciones que intervienen en la aplicación de la protección física deben conceder la debida prioridad a la cultura de la seguridad, a su desarrollo y a su mantenimiento necesario para garantizar su eficaz aplicación en toda la organización”.⁵ El principio fundamental G (Amenaza) dispone que la protección física que se aplica en el Estado “debería basarse en la evaluación de la amenaza que haya efectuado el Estado”.⁶ El principio fundamental H (Enfoque graduado) afirma, en parte, que los requisitos en materia de protección física “deberán basarse en un enfoque graduado, teniendo en cuenta la evaluación de la amenaza... y las posibles consecuencias asociadas a... actos de sabotaje de... instalaciones nucleares”.⁷ El principio fundamental I (Defensa en profundidad) dispone que la protección física de un Estado “deberá reflejar un concepto que obligue al adversario a superar o eludir diversas barreras y métodos de protección para lograr sus objetivos”.⁸

Habiendo identificado estos requisitos, debemos pasar a examinar si alguno de ellos indica que es conveniente realizar cambios en vista de los próximos diseños de reactores avanzados. La definición de “instalación nuclear” en el artículo 1 de la Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares no especifica ningún tipo de tecnología nuclear ni la naturaleza de la explotación del reactor. Los requisitos del artículo 2 tampoco imponen límites de este tipo. De forma similar, los requisitos específicos del artículo 2A relativos al robo, la apropiación ilícita y el sabotaje no limitan de ningún modo el alcance de su aplicabilidad basándose en el tipo de instalación o tecnología de reactores. Por consiguiente, el texto de los principios fundamentales de seguridad F, G, H e I es lo suficientemente inclusivo como para hacer innecesaria su modificación a fin de englobar estas nuevas tecnologías.

⁴ Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, *ibid.* nota 1.

⁵ Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, *ibid.* nota 1.

⁶ Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, *ibid.* nota 1.

⁷ Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, *ibid.* nota 1.

⁸ Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, *ibid.* nota 1.

Así, pues, no sería preciso modificar la Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares para que las tecnologías de reactores avanzados futuras quedaran adecuadamente cubiertas por la misma.

8.2.2. INFCIRC/225/Rev.5

En 1975, el Director General del OIEA convocó a un grupo de expertos para revisar un proyecto de folleto con recomendaciones sobre la protección física de los materiales nucleares para los Estados Miembros del OIEA.⁹ Posteriormente, dichas recomendaciones se actualizaron y se pusieron en conocimiento de los Estados Miembros del OIEA mediante la circular informativa INFCIRC/225,¹⁰ publicada en septiembre de 1975. En los años siguientes, el documento INFCIRC/225 ha sido significativamente actualizado y ampliado en lo referente a su aplicación. La versión actual está publicada con el título de Recomendaciones de seguridad física nuclear sobre la protección física de los materiales y las instalaciones nucleares (INFCIRC/225/Rev.5),¹¹ y vio la luz en enero de 2011. La INFCIRC/225/Rev.5 constituye el conjunto de recomendaciones más completo y exhaustivo sobre la protección física de los materiales y las instalaciones nucleares del OIEA. Constituye un importante paso adelante porque por primera vez ofrece orientaciones sobre varias cuestiones nuevas, incluida la protección de los sistemas digitales empleados para la protección física, la seguridad tecnológica nuclear, así como la contabilidad de materiales nucleares y el control contra un ciberataque.¹² La revisión 5 también se refiere a la preocupación por las amenazas de agentes internos y pone de relieve la importancia de desarrollar una cultura de la seguridad adecuada dentro del programa nuclear de un Estado.¹³

Mientras que las secciones 1 y 2 son de naturaleza introductoria, la sección 3 de la INFCIRC/225/Rev.5 enumera los elementos de un régimen estatal de protección física para materiales nucleares e instalaciones nucleares, y se corresponde con los principios fundamentales de la Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares. La forma en que se apliquen estos elementos dependerá del tipo de instalación nuclear en cuestión. La sección 3 recomienda realizar una evaluación de la amenaza y, si procede, crear una amenaza base de diseño. Recomendando que los requisitos en materia de protección física se basen en un enfoque graduado teniendo en cuenta la naturaleza de los materiales nucleares y las posibles consecuencias derivadas de

⁹ OIEA 1975.

¹⁰ *Ibid.*

¹¹ OIEA 2011.

¹² Bunn *et al.* 2020.

¹³ *Ibid.*

la retirada no autorizada de materiales y del sabotaje de los materiales nucleares o la instalación nuclear.¹⁴ Esta sección recomienda que la seguridad física nuclear refleje un concepto que obligue al adversario a superar varias barreras¹⁵ y pone de relieve la necesidad de priorizar el desarrollo y el mantenimiento de una cultura de la seguridad física.¹⁶

En la sección 4 de la INFCIRC/225/Rev.5 se revisan con mayor detalle los requisitos relativos a las medidas contra la retirada no autorizada de materiales nucleares en uso o desde su lugar de almacenamiento. La sección 4.9 recomienda que el sistema de protección física de una instalación nuclear esté integrado y sea eficaz contra el sabotaje y la retirada no autorizada.¹⁷ Las secciones 4.13 a 4.49 enumeran recomendaciones de seguridad física específicas para instalaciones con materiales de la categoría I, pero las recomendaciones no tienen aplicabilidad a ningún tipo de tecnología de reactores específica. En la sección 5 se enumeran requisitos específicos relativos a las medidas contra el sabotaje de instalaciones nucleares y materiales nucleares en uso o almacenados. En ella se destacan las distintas formas en que se puede diseñar el sistema de protección física de una instalación con el fin de mitigar los riesgos de sabotaje.¹⁸ En esta sección se destacan asimismo varias cuestiones relacionadas con el espacio (como el establecimiento de zonas específicamente definidas y diferenciadas, barreras para vehículos instaladas a una distancia adecuada de las zonas esenciales) pero ninguna está limitada a ningún tipo de tecnología de reactores específica.¹⁹

En resumen, un examen minucioso de las disposiciones específicas de las secciones 3 a 5 de la INFCIRC/225/Rev.5 revela que, mientras que existen numerosas recomendaciones referentes a la construcción y explotación de las instalaciones nucleares, ninguna de sus disposiciones se refiere específicamente al tipo de instalación nuclear. Por consiguiente, no se prevé la necesidad de realizar modificaciones a la INFCIRC/225/Rev.5 con la finalidad concreta de englobar los diseños de reactores avanzados.

8.2.3. Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA

En marzo de 2002, la Junta de Gobernadores del OIEA aprobó el primer “Plan de Seguridad Física Nuclear (para 2002-2005)” del organismo.²⁰ El plan

¹⁴ OIEA 2011.

¹⁵ *Ibid.*

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ *Ibid.*

¹⁹ OIEA 2011, párrs. 5.25 a 5.31.

²⁰ Comité de Orientación sobre Seguridad Física Nuclear del OIEA (NSGC), informe del Presidente del primer trienio del NSGC (2012-2014), p. 6.

incluía el desarrollo de “normas, directrices y recomendaciones” en el ámbito ampliado de las actividades de seguridad física nuclear, conforme a lo aprobado por la Junta.²¹ Ese mismo año, el Director General del OIEA reunió a un grupo de expertos para que prestase asesoramiento sobre el contenido y las prioridades de las actividades de seguridad física nuclear del OIEA, el Grupo Asesor sobre Seguridad Física Nuclear (AdSec). Cuando la Junta adoptó el Plan, el AdSec se implicó inmediatamente en el desarrollo de dichas normas, directrices y recomendaciones.²² Con la recomendación del AdSec, el Comité de Publicaciones del OIEA aprobó la creación de la Colección de Seguridad Física Nuclear en 2004.²³ A partir de 2006, las publicaciones de la Colección de Seguridad Nuclear del OIEA han visto la luz en las cuatro categorías siguientes:

- Nociones Fundamentales de Seguridad Física Nuclear, que recogen los objetivos, conceptos y principios de la seguridad física nuclear y constituyen la base de las recomendaciones sobre seguridad física.
- Recomendaciones, que exponen las prácticas óptimas que deberían adoptar los Estados Miembros al aplicar las Nociones Fundamentales de Seguridad Física Nuclear.
- Guías de Aplicación, que amplían la información que figura en las Recomendaciones en esferas amplias y proponen medidas para su aplicación.
- Publicaciones de Orientaciones Técnicas, que incluyen: Manuales de Referencia, con medidas y/u orientaciones detalladas sobre cómo poner en práctica la información de las Guías de Aplicación en ámbitos o actividades específicos; las Guías de Capacitación, que abarcan los programas y/o los manuales para los cursos de capacitación del OIEA en la esfera de la seguridad física nuclear; y las Guías de Servicio, que dan orientaciones sobre la realización y el alcance de las misiones de asesoramiento sobre seguridad física nuclear del Organismo.²⁴

Tanto los documentos de las Nociones Fundamentales de Seguridad Física Nuclear como los de las Recomendaciones se escriben a alto nivel y, por tanto, ni los documentos de las Nociones Fundamentales ni los de las Recomendaciones son lo suficientemente detallados como para ser específicos en materia de diseño de reactores. Por su naturaleza, las Guías de Aplicación y las Orientaciones Técnicas son más detalladas y, por consiguiente, conviene examinar algunos

²¹ *Ibid.*

²² *Ibid.*

²³ *Ibid.*

²⁴ *Ibid.*

de estos documentos, que serán los que más probablemente contendrán el texto en cuestión.

La Guía de Aplicación de la Colección de Seguridad Física Nuclear (NSS) N° 8-G (Rev. 1), titulada Medidas de prevención y de protección contra las amenazas de agentes internos, analiza las medidas de protección específicas relativas a la detección, demora, respuesta y planes de emergencia, pero no presenta disposiciones específicas sobre tecnología de reactores.²⁵ La Guía de Aplicación de la NSS N° 10-G (Rev. 1), titulada Evaluación nacional de amenazas para la seguridad física nuclear, amenazas base de diseño y declaraciones de amenazas representativas, ofrece orientación sobre cómo llevar a cabo la evaluación de la amenaza, y desarrollar y mantener una amenaza base de diseño para una instalación concreta, pero no incluye recomendaciones específicas sobre tecnología de reactores.²⁶ La Guía de Aplicación de la NSS N° 27-G, titulada Protección física de los materiales nucleares y las instalaciones nucleares (aplicación del documento INFCIRC/225/Rev.5), es la Guía de Aplicación principal en un conjunto de orientaciones a los Estados sobre la aplicación de las recomendaciones de INFCIRC/225/Rev.5. Sin embargo, esta tampoco alcanza un nivel de especificidad tal que implique la existencia de texto sobre tecnología de reactores. Por consiguiente, como ocurre con la Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares y la INFCIRC/225/Rev.5, todas las disposiciones de las orientaciones de la NSS son lo suficientemente inclusivas como para englobar las tecnologías de reactores nucleares avanzados.

Considerada en su conjunto, la colección de orientaciones y acuerdos jurídicamente vinculantes de que dispone la comunidad internacional es lo suficientemente amplia como para responder a la adopción de tecnologías nucleares avanzadas. Dicho esto, pueden surgir complicaciones en el modo en que los distintos Estados apliquen los requisitos y orientaciones mencionados anteriormente para responder de forma eficaz a los retos y riesgos específicos en materia de seguridad física nuclear a los que se enfrenten sus respectivos territorios. A medida que los Estados construyan y exploten estos nuevos reactores, se aprenderán o actualizarán lecciones, o será de utilidad contar con orientaciones adicionales de la OIEA en relación con la guía de aplicación y/o las orientaciones técnicas.

8.2.4. Ciberseguridad

Más allá de la Convención específica y las orientaciones conexas descritas anteriormente, hay un tema que merece una consideración especial: la

²⁵ OIEA 2020.

²⁶ OIEA 2009.

ciberseguridad. En estos momentos, se prevé que todos los diseños de reactores nucleares avanzados incluirán la automatización digital como componente integral de sus operaciones. Como consecuencia de esta automatización, aumenta el riesgo de incidentes relacionados con la ciberseguridad. El OIEA ya ha publicado varias guías de aplicación y orientaciones técnicas al respecto (que se refieren a la ciberseguridad como seguridad informática) que están directa e/o indirectamente relacionadas con el desarrollo de técnicas de mitigación para aminorar riesgos de ciberseguridad. Las guías de aplicación y orientaciones técnicas existentes cuentan con un texto lo suficientemente amplio como para aplicarlas a las tecnologías de reactores avanzados, pero cuando estas nuevas tecnologías estén disponibles en línea, el OIEA y sus Estados Miembros deberán considerar los beneficios de desarrollar guías de aplicación y orientaciones técnicas adicionales sobre los retos específicos de ciberseguridad a los que se enfrentará la seguridad física del diseño de reactores avanzados.

8.3. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS ESTADOS PARA APLICAR NUEVOS REQUISITOS U ORIENTACIONES RELACIONADOS CON LA SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR

Además de considerar si las recomendaciones y requisitos jurídicos internacionales en materia de seguridad física nuclear cubren adecuadamente los diseños de reactores, la segunda cuestión clave es si los Estados interesados en adquirir estas nuevas tecnologías tendrán la capacidad de aplicar eficazmente los requisitos legales, normas reguladoras y orientaciones complementarias que acompañan a dichas tecnologías. Puesto que la responsabilidad del establecimiento, la aplicación y el mantenimiento de un régimen de protección física recae enteramente sobre el Estado, si este carece de dicha capacidad, ¿qué formas hay de ayudar a los Estados a adquirirla? Si bien el régimen jurídico nuclear mundial es sólido, existe una necesidad permanente de reforzar los marcos reguladores y jurídicos nacionales.

8.3.1. Función de los Estados suministradores y los proveedores

En el diseño y la construcción de nuevas tecnologías de reactores, tanto los Estados suministradores (a través de sus autoridades encargadas de conceder las licencias) como los proveedores deben tener presentes todos los elementos que conforman un sistema de seguridad física nuclear adecuado, incluidos los principios de cultura de la seguridad física, amenazas (incluido el desarrollo de una amenaza base de diseño adecuada), enfoque graduado y defensa en profundidad, tal como se ha señalado anteriormente. Como representantes gubernamentales, las

autoridades encargadas de conceder las licencias tienen la responsabilidad final de garantizar que el suministro de estos reactores tenga lugar de conformidad con las normas mundiales más rigurosas de seguridad tecnológica, seguridad física y no proliferación. Por tanto, las autoridades encargadas de conceder las licencias tienen un deber estricto y específico de garantizar que en su proceso de toma de decisiones se tengan en cuenta las consideraciones específicas sobre seguridad física en lo relativo a estas nuevas tecnologías. Deberán transmitir de forma proactiva a los proveedores la importancia de incorporar los principios de cultura de la seguridad física, amenazas, enfoque graduado y defensa en profundidad en el diseño de sus reactores. De forma similar, se deberá animar a los proveedores a mantener consultas con sus autoridades encargadas de conceder las licencias de forma temprana para garantizar que los diseños de los reactores sean coherentes con las orientaciones y requisitos jurídicos internacionales.

Los Estados Unidos de América (EE. UU.) se toman estas responsabilidades muy seriamente y durante muchos años se han estado preparando para las implicaciones relacionadas con la seguridad física nuclear de las tecnologías de reactores avanzados. La Comisión Reguladora Nuclear (NRC) estadounidense se ha centrado en el impacto del otorgamiento de licencias de estas tecnologías y ha creado varios grupos de trabajo internos para estudiar sus implicaciones y su capacidad de otorgar las licencias de una forma exhaustiva y oportuna. En 2019, la NRC identificó la necesidad de modificar su reglamento con el fin de desarrollar requisitos de seguridad física más específicos para reactores avanzados. Esta acción fue diseñada para ofrecer un “conjunto claro de orientaciones y requisitos basados en el rendimiento para la seguridad física de los reactores avanzados”, así como para “crear una mayor estabilidad, predictibilidad y claridad reglamentarias” para los solicitantes de licencias de reactores avanzados.²⁷

Al trabajar con la NRC, la industria nuclear estadounidense también se comprometió ya en 2015 a hacer frente a los próximos cambios en las prácticas de seguridad física nuclear debido al auge de las tecnologías nucleares avanzadas. El Instituto de Energía Nuclear de EE. UU., una organización política de la industria de las tecnologías nucleares con sede en Washington, DC, publicó dos libros blancos en noviembre de 2015 y diciembre de 2016 respectivamente, donde proponía nuevos requisitos de seguridad física para conceptos de reactores avanzados e instó a la NRC a utilizar el documento como base para adoptar disposiciones. La NRC sigue colaborando con los funcionarios de la industria nuclear estadounidense en su proceso de adopción de las disposiciones anteriormente citadas.

La cooperación bilateral entre gobiernos en este ámbito es otro instrumento para garantizar que los Estados operacionales disponen de las herramientas

²⁷ Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos 2019.

que necesitan. Los EE. UU., por su parte, proporcionan un amplio abanico de ayudas bilaterales y multilaterales en materia de seguridad física nuclear. Durante decenios, el Departamento de Energía estadounidense y los expertos técnicos de la NRC han colaborado con asociados extranjeros para garantizar la seguridad física de las instalaciones nucleares de los socios y tiene previsto que este tipo de cooperación siga avanzando a medida que aparezcan diseños de nuevos reactores. Los EE. UU. participan de forma bilateral con socios cooperativos nucleares en su estudio del potencial de las tecnologías de reactores avanzados. En abril de 2021, la Casa Blanca anunció la iniciativa estadounidense más reciente a este respecto en la Cumbre del Clima de los Líderes: el programa Infraestructura Fundacional para un Uso Responsable de la Tecnología de Reactores Modulares Pequeños (FIRST). El programa FIRST ofrece apoyo en materia de creación de capacidad coherente con el enfoque de los hitos del OIEA para que los países asociados puedan beneficiarse de tecnologías nucleares avanzadas y conseguir sus objetivos de energía limpia de conformidad con las normas más rigurosas de seguridad tecnológica y física nuclear, y no proliferación.

8.3.2. Función del OIEA

Además de las asociaciones bilaterales entre gobiernos, y entre el sector nuclear público y el privado descritas anteriormente, el OIEA también deberá desempeñar una función integral a la hora de ayudar a los Estados, a petición de estos, a cumplir con sus obligaciones en materia de seguridad física en instalaciones de reactores avanzados.

El OIEA también deberá estar preparado para ofrecer servicios de asesoramiento a través de las misiones que llevan a cabo el Servicio Internacional de Asesoramiento sobre Protección Física (IPPAS) y el Servicio Internacional de Asesoramiento sobre Seguridad Física Nuclear (INSServ). Deberá ofrecer asimismo formación a los Estados Miembros interesados sobre los retos específicos que se hayan identificado en relación con los diseños de reactores avanzados. Por último, el OIEA deberá trabajar para garantizar que, a medida que los usuarios de estas nuevas tecnologías vayan ganando experiencia en todo el mundo, el organismo no sirva solamente como repositorio de ese conocimiento colectivo, sino también como ente difusor activo de orientaciones y buenas prácticas a todos los usuarios a través de actividades divulgativas. Los Estados Miembros del OIEA deben asegurarse de que el OIEA dispone de recursos suficientes para desarrollar las orientaciones necesarias y ofrecer una formación y unos servicios de asesoría adecuados a los Estados Miembros que opten por acceder a estas tecnologías.

8.4. CONCLUSIÓN

La futura llegada de tecnologías de reactores modulares pequeños y otros reactores nucleares avanzados puede suponer un desarrollo inmensamente beneficioso en la búsqueda colectiva global de la seguridad energética y el cumplimiento de los objetivos del cambio climático. Para que estas tecnologías contribuyan con éxito a conseguir dichos objetivos, todos los interesados de la comunidad mundial de cooperación nuclear civil deben implicarse de forma activa en este proceso. Afortunadamente, nuestro actual régimen jurídico relativo a la seguridad física nuclear ya cuenta con un diseño adecuado para facilitar dichos beneficios. A fin de garantizar que los Estados puedan tener acceso a estos beneficios, deben colaborar con los Estados suministradores, los proveedores y el OIEA. Solo con los esfuerzos concertados y atentos de todos los entes implicados nos aseguraremos de que cuando estos nuevos reactores lleguen al mercado, los Estados que los exploten tengan las herramientas que garanticen una adecuada seguridad física en sus instalaciones.

REFERENCIAS

- Bunn M, Holgate L, Kovchegin D, Tobey W (2020) IAEA Nuclear Security Recommendations (INFCIRC/225): The Next Generation. <https://www.stimson.org/2020/iaea-nuclear-security-recommendations-infcirc-225-the-next-generation/>. Accessed 11 October 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1975) *Protección Física de los Materiales Nucleares*, INFCIRC/225, OIEA, Viena.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2009) Development, Use and Maintenance of the Design Basis Threat, IAEA Nuclear Security Series No. 10-G (Rev. 1), IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2011) *Recomendaciones de seguridad física nuclear sobre la protección física de los materiales y las instalaciones nucleares (INFCIRC/225/Rev.5)*, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 13, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2020) *Medidas de prevención y de protección contra las amenazas de agentes internos*, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 8-G (Rev. 1), OIEA, Viena.
- United States Nuclear Regulatory Commission (2019) Physical Security for Advanced Reactors — Regulatory Basis for Public Comment.

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

9. ESTABLECIMIENTO DE UN RÉGIMEN DE SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR: PREGUNTAS QUE CONVIENE HACER

Régine Gaucher, Thomas Languin, and Erik Ducouso

Resumen En el presente capítulo se exponen algunas de las cuestiones principales que debe plantearse un Estado al considerar un programa nuclear y, por tanto, un régimen de seguridad física nuclear. En el contexto de la globalización y de la aparición de un mundo en el que los Estados son interdependientes, se reconoce que la manera en que un Estado lleva a cabo su misión de proteger los materiales y las actividades nucleares afecta también a otros Estados. En respuesta a esta situación, y a pesar de la reticencia de los Estados a revelar sus prácticas de seguridad soberana, se ha establecido un marco internacional, compuesto por instrumentos jurídicamente vinculantes o no vinculantes, con la idea de promover una mayor coherencia y ofrecer así garantías a todos los Estados. También es importante, para el Estado en cuestión, comprender el contexto nacional e internacional, más allá de la seguridad física nuclear, en el que se enmarca. Dicho Estado debe plantearse, a la luz de las cuestiones de seguridad y del principio fundamental de la soberanía del Estado, los conceptos esenciales presentes en algunos componentes del ámbito nuclear, como el posicionamiento de la autoridad competente, la protección de la información, la transparencia o la función del explotador.

Palabras clave Amenaza base de diseño (ABD) • Confidencialidad • Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN) • Enfoque basado en los resultados • Enfoque prescriptivo • Enmienda de 2005 de la CPFMN • Evaluación de la amenaza • Marco internacional • Marco legislativo y reglamentario • Régimen de seguridad física nuclear • Seguridad física nuclear • Soberanía y responsabilidad del Estado • Transporte

9.1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la energía nuclear, y más concretamente el de la energía nuclear civil, un Estado debe tener en cuenta múltiples componentes al considerar la posibilidad de establecer instalaciones o actividades nucleares con fines industriales (energía nuclear, por ejemplo), médicos o de investigación. La prevención de todo riesgo que pueda tener consecuencias inaceptables para

la población y el medio ambiente es uno de los elementos fundamentales que un Estado debe tener en cuenta en todo momento durante su programa nuclear. Este elemento fundamental consta de tres componentes: la seguridad tecnológica nuclear y la protección radiológica, la garantía del uso pacífico de las actividades nucleares (salvaguardias) y la seguridad física nuclear.

Desde un punto de vista histórico, la seguridad física nuclear cobró importancia en el contexto de la Guerra Fría, cuando la amenaza predominante era el uso de materiales nucleares para fabricar un arma nuclear. Este contexto condujo al establecimiento de un marco internacional dedicado a la lucha contra la proliferación nuclear (en particular, gracias a la firma del Tratado sobre la No Proliferación, que entró en vigor en 1970).¹ Este marco establece las obligaciones que debe cumplir un Estado para demostrar que sus instalaciones y las actividades nucleares que lleva a cabo no se utilizan de manera indebida y que los materiales nucleares no son desviados por este Estado de sus usos pacíficos. Como complemento a este principio de salvaguardias, la seguridad física nuclear se concibió en un principio para prevenir el riesgo de robo y apropiación indebida de materiales nucleares utilizados en actividades nucleares por parte de personas malintencionadas. Posteriormente, este concepto se ha ampliado para incluir todos los actos dolosos y las acciones terroristas que puedan tener consecuencias radiológicas. Esto incluye el sabotaje de materiales nucleares y otras sustancias radiactivas y de sus instalaciones y transporte, así como el riesgo de robo o apropiación indebida para la fabricación de dispositivos de dispersión radiactiva. Por lo tanto, la definición comúnmente aceptada de seguridad física nuclear abarca las medidas de prevención, detección y respuesta adoptadas para hacer frente a todo acto de robo, sabotaje, acceso no autorizado, tráfico ilícito o cualquier otra forma de acto doloso relacionados con materiales nucleares, sustancias radiactivas o instalaciones nucleares.

En las últimas décadas, la escena internacional se ha visto marcada por la universalización de los desafíos y un mundo donde los Estados son cada vez más interdependientes económica, política y socialmente. Por lo tanto, el multilateralismo es un paso necesario para afrontar algunos de estos desafíos.

Ello reviste especial interés para el ámbito nuclear debido a dicha universalización y a los riesgos de que se rebase el marco estricto de las fronteras de un Estado. El terrorismo es un modo de actuar y, a veces, un objetivo. Ningún Estado puede eludirlo. Por consiguiente, todo el mundo debe estar preparado para esta amenaza tan cambiante, que está pendiente de los más mínimos avances tecnológicos y se aprovecha de ellos. La industria nuclear puede ser un blanco primordial para este tipo de acciones, no solo por sus consecuencias, sino también

¹ Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares, abierto a la firma el 1 de julio de 1968, en vigor desde el 5 de marzo de 1970 (TNP).

por su impacto en la población. Por ello, el terrorismo nuclear puede adoptar diversas formas.

Debido a la universalización de los desafíos nucleares, se reconoce en general que la forma en que un Estado lleva a cabo su misión de proteger los materiales nucleares, las sustancias radiactivas o las instalaciones nucleares concierne también a otros Estados. Por ese motivo, en las últimas tres décadas se han elaborado varios instrumentos internacionales (jurídicamente vinculantes, como la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN) y su Enmienda de 2005,² o no vinculantes, como los códigos de conducta o la serie de recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica [OIEA] sobre seguridad física nuclear). Este marco internacional tiene por objeto ayudar a los Estados a fortalecer su régimen de seguridad física nuclear y ofrecer garantías a los demás. Para ello es necesario prestar especial atención a la coherencia de las disposiciones establecidas para este ámbito de grandes desafíos.

Sin embargo, cabe señalar que lo que se circunscribe al ámbito de la seguridad nacional se corresponde con el principio fundamental de la soberanía de un Estado. Las medidas de seguridad física nuclear implantadas por un Estado, aunque también pretenden cumplir objetivos internacionales, en un principio forman parte de un enfoque nacional para proteger a sus poblaciones y su entorno, con arreglo a su contexto local. Por tanto, el concepto fundamental de soberanía, que responde a los principios del sistema westfaliano subyacentes al actual sistema internacional, sigue siendo un elemento esencial en el desarrollo del marco internacional y en la labor que se lleva a cabo en los distintos foros multilaterales.

El objetivo de este capítulo es presentar los importantes pasos que debe tener en cuenta un Estado que desee establecer un programa nuclear para crear un régimen de seguridad física nuclear que responda, por un lado, a su contexto y desafíos nacionales y, por otro, a las recomendaciones y buenas prácticas establecidas en virtud del marco internacional.

² Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN), abierta a la firma el 3 de marzo de 1980, en vigor desde el 8 de febrero de 1987. Enmienda de la CPFMN, en vigor desde el 8 de mayo de 2016.

9.2. SOBERANÍA Y RESPONSABILIDAD DEL ESTADO

9.2.1. ¿Qué lugar ocupa la seguridad física nuclear en el sistema de seguridad global de un Estado?

La comunidad internacional reconoce que la responsabilidad de la seguridad física nuclear recae plenamente en un Estado, en virtud de dos principios de la Enmienda de 2005 de la CPFMN³:

PRINCIPIO FUNDAMENTAL A: Responsabilidad del Estado

El establecimiento, la aplicación y el mantenimiento de un régimen de protección física en el territorio de un Estado es responsabilidad exclusiva de ese Estado.

PRINCIPIO FUNDAMENTAL B: Responsabilidades durante el transporte internacional

La responsabilidad de un Estado de asegurar que los materiales nucleares estén adecuadamente protegidos abarca el transporte internacional de los mismos, hasta que esa responsabilidad sea transferida adecuadamente a otro Estado, según corresponda.

La seguridad física nuclear es un componente importante de la seguridad nacional y, como tal, compete fundamentalmente a cada Estado. Desde al menos el siglo XIX, los Estados tienen una comprensión cada vez más global de la defensa y la seguridad, dados los vínculos intrínsecos entre la guerra y la economía.

De modo parecido, ya no es posible desvincular la seguridad interna de la externa. Los acontecimientos recientes no hacen sino confirmar que las acciones exteriores tienen una gran influencia en la seguridad interior y viceversa. Por ejemplo, el aumento de la amenaza terrorista en Francia en los últimos años está inextricablemente ligado al contexto internacional y, en particular, a las acciones de Al-Qaida y del autoproclamado Estado Islámico, así como a la política francesa contra estas organizaciones.

Por lo tanto, existe un espectro continuo entre la delincuencia, el terrorismo y las amenazas al Estado, y estos distintos componentes de las amenazas pueden tener fuertes vínculos entre ellos.

³ Enmienda de la CPFMN, véase la nota 1, artículo 2 A, párr. 3.

En este contexto, los materiales, las instalaciones y el transporte nucleares, así como el desarrollo de un programa nuclear, pueden constituir blancos importantes. A modo de ejemplo, podemos mencionar el ataque informático realizado con el gusano Stuxnet en 2010 contra una instalación de enriquecimiento de uranio en la República Islámica del Irán, o la lectura del manifiesto de Anders Breivik,⁴ que llama a utilizar las centrales nucleares europeas como arma de destrucción masiva.

Por consiguiente, un Estado que desee desarrollar un programa nuclear tendrá que considerar con la suficiente antelación las repercusiones de este programa en su defensa y seguridad nacional.

La primera cuestión que conviene plantear es la aceptación del riesgo con respecto a la energía nucleoelectrónica. En este sentido, el establecimiento de un régimen de seguridad física nuclear contribuirá de forma esencial a gestionar las amenazas y los riesgos. Conviene tener presente que cuanto menor sea el riesgo que un Estado esté dispuesto a aceptar, mayor será el nivel de protección y, por tanto, más caro resultará. Además, este nivel de riesgo aceptable, que representa una elección claramente política, debe contrastarse de forma periódica con la evolución de las amenazas. Así, en Francia, durante los últimos años, el efecto combinado de una mayor demanda de control del riesgo por parte de la población y un elevado nivel de amenaza ha provocado un aumento muy considerable del nivel de seguridad necesario y, por consiguiente, de los esfuerzos humanos y financieros, tanto por parte del Estado como de los explotadores nucleares. No hay que subestimar este aspecto porque el costo de la seguridad física puede ser considerable y, por tanto, debe tenerse en cuenta en la rentabilidad de un proyecto.

El Estado ya cuenta con leyes, reglamentos e instituciones que se ocupan de la seguridad física nacional. Por lo tanto, tendrá que determinar cómo integrar la seguridad física nuclear en este contexto (véase la sección 9.5.3) para establecer su régimen. Por ejemplo, en Francia, la seguridad física nuclear se rige por el Código de Defensa,⁵ que incluye aspectos relativos a la protección física de los materiales nucleares, sus instalaciones y su transporte (artículo 1333) y aspectos relativos a la protección de instalaciones de importancia vital (artículo 1332), que atañen a la defensa de la economía. Por consiguiente, la seguridad física nuclear se trata por separado de la seguridad tecnológica nuclear, que se rige por el código medioambiental en lo que respecta a la prevención de la contaminación y los riesgos medioambientales.

⁴ Breivik, 2011.

⁵ Código de Defensa, 2021, págs. 236 a 252. <https://codes.droit.org/PDF/Code%20de%20la%20d%C3%A9fense.pdf>. Consultado el 30 de agosto de 2021.

El hecho de que la seguridad física nuclear sea ante todo un asunto que compete a los Estados es significativo porque impone limitaciones especiales que son menos comunes para la seguridad tecnológica nuclear. De hecho, mientras que la responsabilidad de la implantación de la seguridad tecnológica puede recaer por completo en los explotadores, no ocurre lo mismo con la seguridad física, que siempre requiere recursos del Estado. Las decisiones que tomen los Estados tendrán una gran influencia en el desarrollo de la cooperación internacional (véase la sección 9.4), el marco legislativo y reglamentario (véanse las secciones 9.5.3 y 9.6) y la comunicación (véase la sección 9.9).

9.3. LA AMENAZA: EVALUACIÓN DE LA AMENAZA Y AMENAZA BASE DE DISEÑO

9.3.1. ¿Contra qué hemos de protegernos?

Uno de los principales indicadores de la soberanía de un Estado en el ámbito de la seguridad física nuclear es su amenaza base de diseño (ABD). Por lo general, se trata de información nacional y confidencial sobre seguridad física, que recibe la debida protección.

Independientemente de que un sistema de protección para actividades nucleares deba cumplir obligaciones de medios (enfoque prescriptivo) o de resultado (enfoque basado en los resultados), el propósito es siempre el mismo: proteger contra una amenaza detectada y definida.

Entre las muchas responsabilidades de un Estado, será primordial detectar las amenazas a las que se enfrenta el país y que, por tanto, podrían afectar a sus actividades. Para realizar dicho análisis es necesaria la participación de los servicios y organismos gubernamentales encargados de la seguridad nacional (por ejemplo, policía, servicio de inteligencia, ciberseguridad). El análisis debe basarse en hechos de los que se tenga conocimiento en el país, pero también debe incluir lo que ocurre en el extranjero.

9.3.2. ¿Qué carga de seguridad física debe asignarse al explotador? ¿Qué nivel de amenaza hay que tener en cuenta para los reglamentos de seguridad física nuclear?

A la hora de proteger actividades concretas, como las relacionadas con el sector nuclear, que revisten particular importancia para la amenaza terrorista, el Estado ha de tomar una decisión política. Cuesta imaginar, teniendo en cuenta la exhaustividad de las amenazas detectadas, que un Estado decida que la protección de las actividades nucleares recaiga exclusivamente en sus explotadores. Por

consiguiente, el Estado puede decidir si asume la responsabilidad exclusiva o si adopta un enfoque complementario entre las autoridades públicas y los explotadores. La adopción de la primera opción por parte de un Estado llevaría a una desvinculación completa de los explotadores, lo que no tendría sentido.

No puede haber una seguridad física efectiva sin contar con los conocimientos y la experiencia de los explotadores, especialmente cuando se trata de instalaciones tan complejas desde un punto de vista técnico y organizativo como las que encontramos en el sector nuclear (por ejemplo, las interrelaciones entre la seguridad física y otros riesgos inherentes a la instalación). La amenaza interna es un ejemplo pertinente que pone de manifiesto el importante papel que desempeñan los explotadores tanto para prevenir la aparición de una amenaza de este tipo dentro de su propia organización, como para protegerse de ella con la mayor eficacia posible (medidas anticipatorias). Es cierto que el Estado desempeña un papel fundamental, sobre todo en el marco de un programa de probidad, pero actuando solo no sería eficaz.

Por lo tanto, en general la comunidad internacional asume que es preferible adoptar un enfoque complementario para asegurar la protección de una actividad nuclear. Esto se refleja especialmente en los planes de seguridad física, en que se definen las estrategias adoptadas para detectar y reducir la amenaza, detener su progresión y neutralizarla. En este contexto, el Estado debe decidir cuáles son las amenazas previamente detectadas a las que debe poder responder el explotador con sus propios recursos. Este proceso suele denominarse la amenaza base de diseño, o ABD, que se emplea para el diseño y la evaluación de los sistemas de protección en las recomendaciones del OIEA.

9.3.3. ¿Cómo tener en cuenta la amenaza desde la fase de diseño?

Para que sea eficaz, la seguridad física nuclear debe tenerse en cuenta lo antes posible en el diseño de un proyecto (tanto si se trata de una nueva actividad como de la modificación de una actividad existente).

Esto implica que los Estados deben empezar por definir una ABD cuando deseen emprender un programa nuclear. A esta ABD deben añadirse las disposiciones legislativas y reglamentarias nacionales aplicables. Este conjunto de elementos es fundamental para todo Estado que desee promover un enfoque de “seguridad física desde el diseño”. Este enfoque se consigue combinando un diseño intrínsecamente seguro con características inherentes a la instalación que ayuden a reducir el número de blancos, permitan mitigar mejor las posibles consecuencias de las demás vulnerabilidades y, por tanto, ofrezcan una protección física proactiva para subsanar las vulnerabilidades de la instalación. Este enfoque de seguridad física desde el diseño se considera un enfoque integrado, ya que

incluye aspectos de seguridad tecnológica y mantenimiento, además de la seguridad física nuclear.

Los modos de actuación y medios relativos a las amenazas evolucionan con el tiempo. El concepto de seguridad física desde el diseño ayuda a tener en cuenta las amenazas vigentes y a prever su evolución durante la vida útil de una instalación. Por ejemplo, puede diseñarse un espacio para sistemas adicionales de protección física. A lo largo de la evolución continua de la amenaza, conviene que un Estado prevea la revisión periódica de su ABD y de las obligaciones que se derivan de ella en virtud del marco legislativo y reglamentario.

Como ya se ha indicado, esta ABD se aplica al explotador, pero también constituye un elemento esencial para las fuerzas de seguridad interna del Estado en cuestión. Como parte de un enfoque complementario, las fuerzas de seguridad interna del Estado pueden intervenir en la instalación para ayudar a las fuerzas del explotador a proteger la zona, o para poner fin a la crisis de seguridad.

Los ciberataques o incluso los sobrevuelos de drones son algunas de las amenazas de que disponen las personas malintencionadas para dificultar, o incluso impedir, la intervención de las fuerzas de seguridad interna del Estado. Por tanto, convendrá determinar qué prácticas interdisciplinarias son adecuadas para responder con eficacia en todas las circunstancias y definir estrategias coordinadas para hacer frente a posibles actos dolosos.

9.4. EL MARCO INTERNACIONAL

9.4.1. ¿Cómo encaja la seguridad física nuclear a nivel internacional?

El objetivo del derecho nuclear, tal y como figura en la bibliografía,⁶ es proporcionar un marco jurídico para llevar a cabo actividades relacionadas con la energía nuclear y la radiación ionizante protegiendo debidamente a las personas, los bienes y el medio ambiente. Como ya se ha señalado, a raíz de la universalización de las cuestiones nucleares civiles se han elaborado diversos instrumentos internacionales, tanto para ayudar a reforzar la protección física como para promover una mayor coherencia en las disposiciones del ámbito nuclear. No obstante, la seguridad física nuclear, al igual que los demás componentes del ámbito nuclear, integra varios instrumentos (jurídicamente vinculantes o no), tanto a nivel internacional como nacional (véase la sección 9.5.3). A nivel internacional, cada uno de estos componentes responde a una lógica específica y pretende alcanzar objetivos más amplios relacionados con la seguridad física, o incluso con otros ámbitos estrechamente vinculados con la seguridad

⁶ Stoiber *et al.*, 2003.

física nuclear, sin que ello sea su principal interés. Por lo tanto, es necesario que un Estado pueda conocer y comprender estas importantes interrelaciones con el fin de adoptar una política que atienda las necesidades y expectativas nacionales, a la vez que responde a los diversos intereses internacionales.

Para comprender el marco internacional de la seguridad física nuclear, es necesario empezar por las Naciones Unidas, cuya historia está ligada a la de la energía nucleoelectrónica. La primera resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas, aprobada el 24 de enero de 1946,⁷ tenía por objeto la creación de un comité para tratar los problemas que habían surgido a raíz del descubrimiento de la energía atómica y otras cuestiones conexas. En virtud de su función normativa en la lucha contra el terrorismo, las Naciones Unidas han adoptado un gran número de decisiones, a menudo en forma de resoluciones. Entre estas diversas resoluciones, algunas están relacionadas con la seguridad física nuclear. Por ejemplo, la Resolución 1540 (2004) del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas,⁸ aunque se ocupa principalmente de prevenir la proliferación de armas nucleares, hace referencia a las medidas “requeridas por la Convención sobre la protección física de los materiales nucleares y las recomendadas por el Código de Conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas del Organismo Internacional de Energía Atómica”. Dicha resolución pide a los Estados que “establezcan y mantengan medidas eficaces apropiadas de protección física”. En virtud de su resolución 51/210 de diciembre de 1996,⁹ las Naciones Unidas iniciaron tres tratados internacionales relacionados con el marco internacional para la seguridad física nuclear: el Convenio Internacional para la Represión de los Atentados Terroristas Cometidos con Bombas, el Convenio Internacional para la Represión de la Financiación del Terrorismo y el Convenio Internacional para la Represión de los Actos de Terrorismo Nuclear.¹⁰

El principal objetivo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) es promover, junto con sus Estados Miembros, el uso de las tecnologías y aplicaciones nucleares con fines pacíficos y en condiciones de seguridad tecnológica y física. Para ello, alienta a los Estados Miembros a que ratifiquen los convenios y códigos de conducta de los que es depositario. También lleva a cabo

⁷ Asamblea General de las Naciones Unidas, 1946.

⁸ Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, 2004, págs. 2 y 3.

⁹ Asamblea General de las Naciones Unidas, 1997.

¹⁰ Convenio Internacional para la Represión de los Atentados Terroristas Cometidos con Bombas, abierto a la firma el 12 de enero de 1998, en vigor desde el 23 de mayo de 2001. Convenio Internacional para la Represión de la Financiación del Terrorismo, abierto a la firma el 10 de enero de 2002, en vigor desde el 10 de abril de 2002. Convenio Internacional para la Represión de los Actos de Terrorismo Nuclear, abierto a la firma el 14 de septiembre de 2005, en vigor desde el 7 de julio de 2007.

una amplia evaluación de las necesidades, prioridades y amenazas en materia de seguridad física nuclear, especialmente las relacionadas con el terrorismo. El OIEA apoya así el establecimiento de alianzas y redes internacionales. También elabora instrumentos jurídicamente no vinculantes, a saber, recomendaciones, guías y procedimientos técnicos u operacionales, que conforman la *Colección de Seguridad Física Nuclear*. El OIEA también ofrece servicios a los Estados, como el Servicio Internacional de Asesoramiento sobre Seguridad Física Nuclear (INSServ). Este servicio tiene por objeto ayudar a los Estados a establecer y mantener regímenes eficaces de seguridad física nuclear. Cabe mencionar también el programa del Servicio Internacional de Asesoramiento sobre Protección Física (IPPAS), elemento fundamental de la estrategia de seguridad física nuclear del OIEA. El programa presta asistencia a los Estados Miembros que lo soliciten en la evaluación de sus regímenes de protección física. La evaluación incluye un examen, a nivel nacional, del marco jurídico y reglamentario, así como de las medidas y los procedimientos aplicados en las instalaciones y durante el transporte en cumplimiento de los requisitos reglamentarios. La evaluación se basa en los requisitos establecidos en los instrumentos internacionales, así como en las recomendaciones y orientación del OIEA. Entre ellos figuran los principales documentos ya mencionados, junto con todos los demás documentos pertinentes del OIEA, incluidas las publicaciones de la *Colección de Seguridad Física Nuclear* u otras orientaciones/recomendaciones: la CPFMN y su Enmienda de 2005, los Objetivos y principios fundamentales en materia de protección física (GOV/2001/41, OIEA)¹¹ y el Código de Conducta del OIEA sobre la Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas¹², así como la *Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA* N° 20, 13 y 14.¹³

La CPFMN es un tratado internacional aprobado el 26 de octubre de 1979. Entró en vigor el 8 de febrero de 1987.¹⁴ Es uno de los muchos instrumentos internacionales contra el terrorismo y sigue siendo el único instrumento jurídicamente vinculante dedicado a la protección física de los materiales nucleares. Sus disposiciones técnicas atañen a la protección de los materiales nucleares durante el transporte internacional, mientras que sus disposiciones penales, y las relativas a la cooperación judicial, son también aplicables a los materiales nucleares que se utilizan, almacenan o transportan en territorio nacional. En 2005 se aprobó una enmienda de la Convención con la finalidad de ampliar su ámbito de aplicación a los materiales nucleares que se

¹¹ Objetivos y principios fundamentales en materia de protección física (GOV/2001/41, OIEA).

¹² OIEA, 2004.

¹³ OIEA, 2011a y b y 2013.

¹⁴ CPFMN, véase la nota 1.

utilizan, almacenan y transportan en territorio nacional. La Enmienda también incluye los doce principios fundamentales de la protección física (responsabilidad del Estado, responsabilidades durante el transporte internacional, marco legislativo y reglamentario, autoridad competente, responsabilidad del titular de la licencia, cultura de la seguridad física, amenaza, enfoque graduado, defensa en profundidad, garantía de calidad, planes de contingencia y confidencialidad). Por consiguiente, cuando un Estado estudie la posibilidad de emprender un programa nuclear civil, se recomienda encarecidamente que se haga parte en estos dos instrumentos internacionales: la CPFMN y su Enmienda.

9.4.2. ¿Cómo gestionar las interrelaciones?

Esta breve introducción, que define los principales instrumentos que componen el marco internacional de la seguridad física nuclear, muestra que la seguridad física nuclear está intrínsecamente vinculada a un conjunto mucho más amplio de normas internacionales que abordan cuestiones específicas y que a veces pueden trascender el sector nuclear.

La seguridad física nuclear es solo una parte de las cuestiones nucleares. Sucede lo mismo con la seguridad tecnológica nuclear y la protección radiológica, así como con las salvaguardias. Estos distintos componentes, si bien responden al objetivo común de proteger a la población y al medio ambiente de los riesgos que plantea la energía nuclear, tienen sus propios objetivos y, por tanto, su propia lógica. Por ello, conviene determinar y evaluar las interrelaciones necesarias para que cada uno de los componentes pueda alcanzar su objetivo fundamental sin comprometer la finalidad global. La actual estructura internacional permite el desarrollo de un marco internacional específico para cada componente del sector nuclear bajo la supervisión de una única organización, el OIEA. Dicho organismo ha establecido una estructura mediante la cual los expertos de los distintos Estados Miembros pueden crear y desarrollar de forma eficiente el marco internacional relacionado con su ámbito de especialización. De esta manera, pueden tenerse en cuenta las consideraciones de otros ámbitos conexos ajenos al sector nuclear, al tiempo que se proporcionan los vínculos necesarios para determinar y gestionar de manera eficiente las interrelaciones con los demás componentes del ámbito nuclear. Este enfoque evita que todas las cuestiones nucleares se engloben en un único marco internacional. Si bien este enfoque podría entenderse desde el punto de vista de la gestión de las interrelaciones, puede tener inconvenientes que no convendría pasar por alto.

Uno de los principales riesgos sería adoptar un enfoque nuclear restrictivo, dejando de lado a expertos procedentes de un ámbito concreto para favorecer perfiles generalistas. Dicha situación no permitiría que se establecieran las relaciones necesarias con otros componentes conexos. A largo plazo, esto podría

contribuir a aislar al sector nuclear del contexto más amplio en el que está integrado y con el que son indispensables las interrelaciones.

9.4.3. ¿Cómo equilibrar las cuestiones internacionales y nacionales?

Como ya se ha mencionado, la seguridad física nuclear es un componente, a veces muy importante, de la seguridad nacional de un Estado. El contexto actual se caracteriza por la universalización de los problemas y un mundo en el que los Estados son cada vez más interdependientes. Esto no significa que hayan desaparecido algunos principios importantes que han regido las relaciones internacionales durante muchas décadas, como la soberanía de los Estados, el interés propio de los Estados (siendo la crisis sanitaria derivada de la COVID-19 un ejemplo concreto y reciente), o las tensiones entre Estados que evolucionan con el tiempo. En este contexto, la seguridad física nuclear ha de abordarse en el ámbito internacional con suma cautela. El principio fundamental de confidencialidad, incluido en la Enmienda de 2005 de la CPFMN, desempeña un papel destacado en el marco de relaciones multilaterales establecido con el fin de hacer frente a los desafíos que plantea la amenaza mundial para el sector nuclear, aunque su alcance sea principalmente nacional. Un elemento fundamental es, por ejemplo, garantizar la confidencialidad de la información sensible del sistema de protección física.

En otros ámbitos nucleares (como la seguridad tecnológica nuclear o la protección radiológica), la transparencia asociada a la convergencia de prácticas que representan la tecnología de vanguardia tiene sentido. Los riesgos a los que han de responder las medidas en estos ámbitos son los peligros climáticos, las fallas estructurales o el resultado de acciones humanas sin intención dolosa. Sin duda, estos evolucionan, pero no se adaptan a la situación a la que se enfrentan. Este enfoque normalizado permite, pues, responder de manera eficiente al objetivo de un alto nivel de protección compartido por todos y a la necesidad de confiar en su aplicación tal como solicitan los distintos Estados y la sociedad civil. Las consecuencias de un accidente nuclear tendrán inevitablemente un efecto transfronterizo, radiológico, económico o social.

En el ámbito de la seguridad física nuclear, y de la seguridad física en general, la amenaza a la que se enfrentan los Estados es capaz de adaptarse, ya que por definición es un acto humano doloso. Por tanto, a diferencia de los objetivos en ámbitos en que es posible la transparencia, cabe pensar que cualquier intento de avanzar hacia una mayor transparencia y convergencia en las prácticas comunes en materia de seguridad física nuclear puede ser sospechoso de falsa ingenuidad por parte de algunos Estados, o incluso de manipulación, con el fin de obtener información. En este contexto, el principio fundamental de la confidencialidad es especialmente importante para los Estados y hace referencia a la importancia, en

el ámbito de la seguridad física, de encontrar el equilibrio adecuado entre lo que puede compartirse y lo que ha de saber solo quien convenga.

La aparición de tratados internacionales en las últimas décadas obedece a la creciente adhesión a diversos elementos de la sociedad internacional. Los intereses comunes de los Estados, que se enfrentan a problemas que no pueden resolver solos, impulsan la necesidad de abordar las cuestiones en un marco multilateral. Como ya se ha señalado en el presente capítulo, los desafíos actuales en materia de seguridad física nuclear son de carácter mundial. Por lo tanto, es sumamente necesario que los Estados interactúen con la comunidad internacional para abordar estas cuestiones. Las convenciones, como la CPFMN y su Enmienda, son los instrumentos más adecuados. Alentar a los Estados a ratificar estos instrumentos y a participar en las conferencias de examen es el primer paso, y sin duda el más importante, para garantizar un fortalecimiento de la seguridad física nuclear a nivel mundial. No obstante, hay diferentes grados de aplicación de estos instrumentos. Por un lado, existe un aspecto político, cuyo objetivo es garantizar que los Estados partes compartan una comprensión común de los desafíos y de los esfuerzos necesarios para hacerles frente. Por otro lado, existe un aspecto técnico, cuyo objetivo es garantizar que los instrumentos internacionales puedan tener un efecto concreto en las medidas de protección física adoptadas por los Estados partes.

Ambos aspectos ponen de manifiesto el principio básico del cumplimiento de todo tratado internacional, que se basa en la buena fe de los Estados partes y su inverificabilidad intrínseca. Esto refleja la necesidad de que haya confianza (entendida en el sentido de poder confiar en la palabra dada) entre las partes, lo cual es fundamental para el concepto de buena fe. Lo anterior reviste especial importancia cuando se examinan instrumentos como la CPFMN y su Enmienda desde una perspectiva técnica. En el marco de un foro multilateral, resulta difícil poder verificar, de forma concreta y cualitativa, que las medidas adoptadas por los Estados les permiten alcanzar un nivel de seguridad física suficiente con respecto a la amenaza a la que se enfrentan. Los principios de confidencialidad y soberanía de los Estados en el ámbito de la seguridad física limitarán los intercambios, por lo que será necesaria la confianza entre los Estados. Tal vez podrían eliminarse algunas barreras en intercambios más limitados, por ejemplo, a nivel regional o incluso bilateral, cuando se compartan intereses comunes y pueda establecerse una relación de confianza. Estas limitaciones se tienen debidamente en cuenta en las misiones de examen por homólogos del OIEA (IPPAS), en las que el país receptor puede elegir, entre un grupo de expertos internacionales de varios países, a expertos de países con los que mantiene una relación adecuada.

Habiéndose elaborado a lo largo de muchos años bajo el liderazgo del OIEA, el marco internacional de seguridad física nuclear ha alcanzado tal nivel de madurez que resulta difícil encontrar necesidades de mejora estructural a

corto plazo. Esta observación concuerda con la necesidad de seguir estrechando las relaciones a nivel regional, e incluso bilateral. Aun así, es necesario que el OIEA siga desempeñando un papel central a la hora de coordinar la cooperación internacional. Ello se traduce concretamente en la prestación de asistencia a los Estados por medios como la organización de cursos de formación y misiones de examen por homólogos (IPPAS) o la prestación de servicios como INSServ.

El OIEA debe seguir facilitando la cooperación internacional para que los Estados puedan mantener un nivel adecuado de seguridad física nuclear a largo plazo. Además, los talleres, conferencias y actividades de otro tipo permiten establecer o mantener una red internacional de especialistas, en la que cada Estado puede encontrar asociados adecuados cuando desea compartir y obtener información de referencia sobre un tema concreto. El papel del OIEA es también fundamental para poder establecer los vínculos que resultan indispensables a la hora de definir y gestionar de manera adecuada las interrelaciones entre los tres componentes del sector nuclear, garantizando al mismo tiempo el respeto de su singularidad para la correcta integración de las consideraciones de sus ámbitos conexos que trascienden los intereses del sector nuclear.

9.5. EL MARCO LEGISLATIVO Y REGLAMENTARIO

Otra importante responsabilidad del Estado es establecer el marco legislativo y reglamentario, tal como se reitera en el Principio Fundamental C de la CPFMN¹⁵:

PRINCIPIO FUNDAMENTAL C: Marco legislativo y reglamentario

El Estado tiene la responsabilidad de establecer y mantener un marco legislativo y reglamentario que regule la protección física. Dicho marco debe prever el establecimiento de requisitos de protección física aplicables e incluir un sistema de evaluación y concesión de licencias, u otros procedimientos para conceder autorización. Este marco debe incluir un sistema de inspección de instalaciones nucleares y del transporte para verificar el cumplimiento de los requisitos y condiciones aplicables de la licencia u otro documento de autorización, y crear los medios para hacer cumplir los requisitos y condiciones aplicables, incluidas sanciones eficaces.

¹⁵ Enmienda de la CPFMN, véase la nota 1, artículo 2 A, párr. 3.

9.5.1. ¿Cuál es la mejor manera de integrar la seguridad física nuclear en el marco nacional global?

La reglamentación sobre seguridad física nuclear forma parte de un amplio marco legislativo y reglamentario ya existente. Como nos recuerda el *Manual de derecho nuclear* del OIEA,¹⁶ conviene observar que no existe un único modelo definitivo de reglamentación nuclear. Esto es especialmente cierto en el caso de la seguridad física nuclear, teniendo en cuenta sus numerosas interrelaciones regulatorias con otros reglamentos:

- la protección de la información;
- la protección de infraestructuras vitales;
- la protección de sistemas de información;
- las profesiones reguladas, vinculadas a la seguridad nacional, para las que pueden exigirse averiguaciones administrativas o la verificación de antecedentes;
- el régimen de tenencia y uso de armas;
- la regulación y limitación del espacio terrestre, aéreo y marítimo, y
- la gestión de crisis.

En vista de las interrelaciones mencionadas y como se indica en la sección 9.2, la seguridad física nuclear es un componente de la seguridad nacional. Como tal, formará parte del debate público sobre la seguridad y su equilibrio con las libertades públicas.

Por ejemplo, es necesario realizar una investigación sobre la probidad para determinar situaciones en que las personas puedan presentar vulnerabilidades que no les permitan acceder a los emplazamientos nucleares o realizar funciones sensibles en el ámbito nuclear. En Francia, el explotador solicita dicha investigación a la autoridad administrativa competente. Las investigaciones pueden parecer intrusivas y contrarias a las libertades. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que las normas que se imponen son públicas y conocidas por todos y ofrecen la posibilidad de recurso a quienes consideren que han sido excluidos injustamente de puestos sensibles a los que se hayan presentado. Las libertades no son absolutas, sino que se ejercen dentro del marco legislativo y reglamentario pertinente. La autoridad administrativa remite al explotador una opinión sobre la vulnerabilidad que pueda plantear una persona. La decisión de permitir el acceso dependerá, por tanto, del explotador.

Por ello, es indispensable definir, con el máximo rigor, el concepto de puesto sensible o información sensible para garantizar un equilibrio adecuado

¹⁶ Stoiber *et al.*, 2003.

que responda a los desafíos en materia de seguridad física. Por ejemplo, es posible que intervengan muchas personas en la preparación del transporte de material nuclear, ya que requiere una logística compleja. Esto podría dar lugar a la organización de controles sobre un gran número de personas, por lo que hay que tener en cuenta la cuestión de la viabilidad y proporcionalidad de las medidas con respecto a sus consecuencias para las libertades públicas.

La importancia de los desafíos de seguridad física es tal que los legisladores han decidido someter el acceso a las instalaciones o a la información a un procedimiento de investigación de probidad o a un procedimiento de autorización en el ámbito de la defensa nacional, basado en una investigación de probidad más estricta. Así ocurre con la industria nuclear. El procedimiento de autorización debe aplicarse a los puestos de trabajo que figuren en un catálogo establecido por el ministerio competente. La ausencia de un procedimiento de autorización es causa de despido.

En respuesta a las amenazas, surge inevitablemente la cuestión de una respuesta armada. La tenencia y el uso de armas responden a factores culturales y, por tanto, varían mucho entre los países. En Francia, están muy regulados y, aparte de las fuerzas del Estado, el código de seguridad interna solo los permite en casos muy concretos. En el sector nuclear, los explotadores pueden disponer de un servicio armado interno o, más recientemente, pueden recurrir al servicio armado de una fuente externa.¹⁷ Esto responde a la necesidad de poder dar una primera respuesta a la amenaza, lo que requiere una reacción rápida.

9.5.2. ¿Cómo elegir entre un régimen administrativo especializado y uno común que incluya otras áreas?

¿Qué lugar debe ocupar la seguridad física nuclear en el marco regulador de un Estado? Sin duda, es posible integrar la seguridad física nuclear en los procesos existentes en materia de seguridad tecnológica, protección medioambiental, instalaciones de importancia crucial, defensa, seguridad nacional, protección radiológica, etc. Sin embargo, existe el riesgo de que no se atiendan debidamente las especificidades de la seguridad física nuclear, de que no se detecten algunos conflictos relativos a objetivos o medios, y de que no sea posible elegir entre las distintas opciones. Por ello, Francia ha optado por un régimen específico de seguridad física nuclear y ha decidido asignar esa responsabilidad a una autoridad estatal.

¹⁷ Decreto N° 2017-1844, de 29 de diciembre de 2017, y Decisión Ministerial de 15 de noviembre de 2019, dictada para dar cumplimiento al artículo 35 del Decreto.

9.5.3. ¿Enfoque prescriptivo o enfoque basado en los resultados? ¿Qué enfoque debería preferir un Estado?

Un enfoque prescriptivo consiste en establecer con gran precisión las obligaciones de un explotador y, en particular, los medios que deben utilizarse. Este enfoque tiene la ventaja de ser más completo, haciendo que sea más fácil de aplicar por el explotador y más fácil de controlar por la autoridad competente.

Este enfoque se adapta bien a la hora de establecer un nivel mínimo de requisitos, incluso en un contexto en el que los explotadores no están familiarizados con la cultura de la seguridad física; en Francia, se utiliza para la seguridad física de las fuentes radiactivas y en el caso de materiales nucleares durante su transporte e instalaciones de menor riesgo (categorías III e inferiores). Sin embargo, tiene limitaciones ya que los requisitos pueden quedar obsoletos a corto o medio plazo a raíz de cambios en la tecnología y en relación con la amenaza. También hay que tener especial cuidado para evitar cualquier conflicto con los requisitos de otros ámbitos, como la seguridad tecnológica nuclear y la protección radiológica. Por ejemplo, en el caso de las fuentes radiactivas, en un principio se consideraba sensible la información relativa al lugar de su retención y, por tanto, debería haberse restringido. Sin embargo, desde el punto de vista de la protección radiológica, que exige la notificación de cualquier posible peligro relacionado con una fuente, esta información debe darse a conocer ampliamente.

Un enfoque basado en los resultados consiste en establecer objetivos basados en los resultados para el explotador y dejar que este determine los medios para alcanzarlos. Este enfoque permite alcanzar niveles de protección más elevados, pero requiere una gran pericia por parte de los explotadores y de las personas encargadas del control.

Este enfoque tiene la ventaja de poder adaptarse con mayor facilidad a las distintas instalaciones, a los regímenes de explotación, a la ubicación, etc., pero también a los avances tecnológicos y a los cambios de la amenaza. También permite el desarrollo de soluciones originales, específicas para cada explotador y, por tanto, menos conocidas. Por último, no necesita ser revisado con frecuencia para mantenerlo al día. En Francia, este es el enfoque imperante para las instalaciones nucleares de alto riesgo. Los requisitos establecidos en 2009 siguen siendo válidos a pesar de los cambios, la información sobre los resultados y las lecciones aprendidas a raíz de las amenazas informáticas, los ataques de drones, etc.

El enfoque basado en los resultados también permite alcanzar niveles de seguridad física muy elevados, ya que obliga al explotador a diseñar un sistema de seguridad física nuclear muy eficaz y muy bien adaptado a lo que debe protegerse. En particular, la evaluación de los resultados permite determinar cuáles son las vulnerabilidades residuales y planificar los refuerzos

necesarios. Por lo general, en Francia, este enfoque ha contribuido a lograr avances sustanciales. Había recursos de seguridad física que, si bien al principio parecían muy sólidos, resultaron ser insuficientes: una lección muy importante fue demostrar que no bastaba con reunir un enorme conjunto de recursos para ser eficaz. A raíz de ello, varios explotadores han cambiado su estrategia de seguridad y han diseñado medios diferentes y, a menudo, de mayor relevancia para lograr los resultados previstos.

Un enfoque de este tipo requiere una gran pericia, tanto por parte de los explotadores como de las autoridades. Para ello ha sido necesario aumentar la capacitación técnica y el personal de la autoridad competente. De hecho, la evaluación de los logros se realiza durante el examen de las solicitudes de autorización, tanto en la tramitación de la solicitud inicial como a la hora de realizar revaluaciones periódicas o cuando se introducen cambios en la infraestructura o los procedimientos operativos.

Por ello, en los últimos cinco años, la autoridad francesa ha establecido un proceso de autorización especial denominado “examen técnico en profundidad”. Con arreglo a este, en primer lugar, se determinan cuáles son las cuestiones técnicas más importantes de la demostración de seguridad física de un explotador y, en segundo lugar, la autoridad remite la cuestión a su apoyo técnico (en Francia, el IRSN),¹⁸ que examinará las cuestiones que hayan surgido con el explotador y proporcionará a la autoridad las recomendaciones pertinentes. Según la naturaleza de las solicitudes de peritaje y la complejidad de los temas, este análisis puede durar varios meses, o incluso años. Este proceso incluirá reuniones en las que la autoridad resolverá posibles diferencias de opinión entre el explotador y el IRSN.

Por supuesto, este examen documental es solo una parte de la evaluación. La autoridad también lleva a cabo una serie de inspecciones *in situ* para comprobar la estrategia del explotador. Estas comprobaciones pueden llevar a cuestionar soluciones que parecían sólidas sobre el papel. También pueden solicitarse ensayos, incluso de carácter destructivo, que respalden la demostración del explotador, por ejemplo para probar la resistencia de las barreras que impidan el paso o frente a la destrucción mediante explosivos. Por último, también se realizan ejercicios para evaluar la seguridad general, con el fin de detectar puntos débiles en la demostración de seguridad física del explotador.

Este enfoque es el que permite responder mejor a los cambios. Ello supone un desafío si se tiene en cuenta que las instalaciones nucleares tienen una vida útil de varias décadas. Por lo tanto, es necesario tener una visión que vaya más allá de las condiciones existentes. Conviene tener una visión de futuro que prevea los cambios que puedan ir surgiendo.

¹⁸ IRSN: Instituto de Radioprotección y Seguridad Nuclear.

9.6. LA AUTORIDAD DE SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR

La seguridad física nuclear, para ser efectiva, debe ser controlada por una autoridad competente, con arreglo a lo dispuesto en el Principio D de la CPFMN¹⁹:

PRINCIPIO FUNDAMENTAL D: Autoridad competente

El Estado debe establecer o designar una autoridad competente encargada de la aplicación del marco legislativo y reglamentario, dotada de autoridad, competencia y recursos humanos y financieros adecuados para cumplir las responsabilidades que se le hayan asignado. El Estado debe adoptar medidas para garantizar una independencia efectiva entre las funciones de la autoridad competente del Estado y las de cualquier otra entidad encargada de la promoción o utilización de la energía nuclear.

9.6.1. ¿Una autoridad dedicada a la seguridad física nuclear?

Puede surgir entonces la cuestión de crear una autoridad distinta de la encargada de la seguridad tecnológica nuclear, por ejemplo.

El principio adoptado en Francia es el de regular la seguridad tecnológica nuclear y la seguridad física nuclear en el marco de una única autoridad, el ministerio encargado de la energía, que cuenta con dos departamentos diferentes: uno encargado de la seguridad tecnológica, la Dirección General de Prevención de Riesgos (DGPR), y otro encargado de la seguridad física, el Departamento del Alto Funcionario de Defensa y Seguridad Física/Departamento de Seguridad Física Nuclear (SHFDS/DSN). Por ley, también se ha designado a una autoridad independiente del Gobierno,²⁰ la Autoridad de Seguridad Nuclear (ASN), para controlar la aplicación de los reglamentos de seguridad tecnológica por parte de los explotadores.

No es posible establecer una autoridad independiente del Gobierno para la seguridad física, ya que el control no solo concierne a los explotadores, sino también a los servicios gubernamentales que contribuyen a la seguridad física nuclear, como ya se ha señalado. La ventaja de este sistema es que garantiza una

¹⁹ Enmienda de la CPFMN, véase la nota 1, artículo 2 A, párr. 3.

²⁰ Autoridad administrativa independiente: entidad del Estado, sin ninguna obligación jurídica pero con poder propio, encargada de una de las siguientes misiones: velar por la protección de los derechos y libertades de los ciudadanos, asegurar el buen funcionamiento de la administración en sus relaciones con los ciudadanos, o participar en la regulación de determinados sectores de actividad.

visión global y un alto grado de coherencia entre los distintos actores, ya sean autoridades estatales o privadas.

Muchos países, sobre todo al empezar a planificar el establecimiento de un régimen de seguridad física nuclear, estarán interesados en la creación de una autoridad que se encargue de todos los aspectos de la energía nuclear. Por supuesto, esto suele tener mucho sentido, especialmente desde un punto de vista práctico. Sin embargo, no debemos olvidar todas las cuestiones mencionadas anteriormente.

Será indispensable que la autoridad de seguridad física nuclear tenga fuertes vínculos con los ministerios y otros organismos. A este respecto, no debe haber ningún malentendido sobre el carácter independiente de la autoridad. En materia de seguridad física nuclear, esta independencia solo puede ser relativa. Cuesta imaginar que una autoridad independiente del Gobierno pueda evaluar la respuesta proporcionada por los ministerios que se ocupan de la seguridad física nacional. No obstante, como ya se ha señalado, la seguridad física nuclear no debería limitarse únicamente a las instalaciones de los explotadores. En cualquier caso, es importante que la elección de una autoridad estatal no contravenga el Principio Fundamental D: es preciso que haya independencia con respecto a las organizaciones responsables de la promoción y utilización de la energía nuclear.

9.6.2. ¿Cómo garantizar el nivel de exigencia aplicable a esta autoridad?

La razón principal para exigir la independencia con respecto a la promoción de las actividades nucleares es garantizar que la autoridad no pueda verse influida en su proceso de decisión por cuestiones políticas o económicas.

Una opción es limitar el papel de la autoridad competente estrictamente a tareas de control y contar con un órgano regulador que también deba cumplir el objetivo de independencia. En estas condiciones, la autoridad encargada del control no es la que establece las normas; solo garantiza la aplicación del marco legislativo y reglamentario. Si el marco establece que la autoridad competente deberá actuar en caso de que se incumplan las normas, esta autoridad no estará en condiciones de modificar las normas para tomar una decisión a favor del explotador. Por lo tanto, tendrá que actuar debidamente con arreglo al marco legislativo y reglamentario nacional.

Sin embargo, no basta con una organización de ese tipo. Las autoridades nacionales considerarán adecuada reglamentación nacional con objetivos que no se ajustan a los requisitos mínimos establecidos en virtud del marco internacional (la CPFMN, su Enmienda y las guías de aplicación), sin que se garantice un nivel de seguridad física suficiente. Por tanto, el cumplimiento del marco internacional constituye una protección muy importante. Para ello, es necesario un proceso que promueva la universalización de la CPFMN y su Enmienda

de 2005. Mediante este proceso, se invita a todos los Estados a que demuestren el cumplimiento del marco internacional a través de la información solicitada en virtud del artículo 14.1 de la CPFMN, alentándoles a utilizar las misiones IPPAS para garantizar que su régimen se ajusta a la Convención y para demostrar su compromiso al resto de la comunidad internacional.

Si bien los requisitos de la CPFMN deben entenderse como el nivel mínimo exigido, no siempre bastan para un Estado, que deberá contrastar este nivel con las amenazas que haya evaluado. En el caso de los Estados con instalaciones nucleares de alto riesgo, el presente análisis vuelve a abogar por la aplicación de un enfoque basado en los resultados (véase la sección 9.5.3).

La capacidad de un Estado para tener un alto nivel de seguridad física dependerá de la capacidad de sus servicios para evaluar de forma sencilla y sincera la eficiencia del sistema que ha establecido. Ello requiere valentía, si bien las expectativas suelen tender más a tranquilizar a los políticos y a la población que a concienciar sobre los desafíos, con el fin de demostrar eficiencia y competencia en lugar de señalar las limitaciones y la necesidad de progreso. Para que la evaluación sea eficiente es necesario realizar ejercicios o simulaciones a escala real, que combinen la respuesta por parte de los recursos del explotador y del Estado y que se basen en escenarios acordes con el nivel de amenaza pertinente. Se necesitan, por supuesto, escenarios inesperados. No hay nada peor que un ejercicio preparado con mucha antelación, en el que todo el mundo supone lo que va a suceder y ha podido planificar cómo reaccionar, para que luego se represente el “escenario”. Existen otros métodos de evaluación a través de simulaciones (a escala reducida o con herramientas numéricas), pero también a través de la valoración de la experiencia.

9.6.3. ¿Cómo garantizar el nivel de competencia de la autoridad?

A nivel técnico, la seguridad física nuclear requiere un amplio abanico de competencias que no siempre quedan recogidas en el marco de la autoridad de seguridad física nuclear. Por ejemplo, en el ámbito de los drones o de la seguridad informática, la autoridad de seguridad física nuclear debe recurrir a menudo a la pericia adquirida por otros servicios del Estado. Si las especificidades de la industria nuclear pueden reducirse a determinar los blancos que hay que proteger, la evaluación de las capacidades ofensivas de la amenaza y los medios para hacerles frente son comunes a todos los ámbitos (bancario, penitenciario, etc.). Pueden encontrarse especialistas en otros organismos relacionados con la seguridad nacional. En Francia, por ejemplo, podemos mencionar la Agencia Nacional de la Seguridad de los Sistemas de Información (ANSSI).²¹

²¹ Esta agencia depende del Primer Ministro.

A raíz de la cooperación fundamental antes indicada, es necesario que, en materia de seguridad física nuclear, haya una autoridad situada a un nivel jerárquico adecuado a nivel institucional que pueda establecer el marco legislativo y reglamentario correspondiente.

De este modo, las distintas competencias se coordinarán bajo la dirección de la autoridad de seguridad física nuclear. Los distintos actores podrán participar en la aplicación de las medidas de control. Ello permitirá, por ejemplo, que la policía o el ejército controlen las medidas de respuesta armada de los explotadores, o que las agencias de ciberseguridad controlen la protección de los sistemas de información.

En Francia, se ha decidido no introducir requisitos adicionales para la seguridad física nuclear aparte de los ya existentes en el marco regulador general para la seguridad de los sistemas de información. Por consiguiente, se está colaborando con la ANSSI para estudiar maneras concretas de aplicar este marco general a la cuestión específica de la seguridad física nuclear y aprovechar las sinergias y complementariedades de los enfoques, especialmente en el contexto del control de los explotadores (inspecciones y ejercicios).

9.7. RESPONSABILIDAD DE LOS EXPLOTADORES

Otro principio fundamental establecido en virtud de la CPFMN es la responsabilidad de los explotadores²²:

PRINCIPIO FUNDAMENTAL E: Responsabilidad del titular de la licencia

Las responsabilidades por la aplicación de los distintos elementos de protección física en un Estado deben determinarse claramente. El Estado debe asegurar que la responsabilidad principal por la aplicación de la protección física de los materiales nucleares, o de las instalaciones nucleares, radique en los titulares de las respectivas licencias u otros documentos de autorización (por ejemplo, en los explotadores o remitentes).

Sin embargo, en algunos modelos reguladores, como el francés, la función que desempeña el explotador en la seguridad física nuclear no es tan evidente como pueda parecer.

²² Enmienda de la CPFMN, véase la nota 1, artículo 2 A, párr. 3.

9.7.1. ¿Cuál es la función y la responsabilidad del explotador en materia de seguridad física nuclear?

El Estado debe considerar la función y la responsabilidad del explotador con respecto a las del Estado. A primera vista, en un modelo como el de Francia, no parece evidente que la seguridad física nuclear deba delegarse en un explotador. De hecho, el Código Civil,²³ uno de los textos fundamentales del derecho francés, prácticamente inalterado desde Napoleón I, establece los principios de responsabilidad:

Artículo 1241

Cada uno es responsable del daño que cause, no solo por su acción, sino también por su negligencia o su imprudencia.

Artículo 1242

Se es responsable no solo del daño que se cause por hecho propio, sino también del causado por las personas de las que se debe responder, o por las cosas que estén bajo la guarda de uno.

La responsabilidad de un explotador en materia de seguridad tecnológica nuclear puede entenderse como la aplicación de los principios mencionados al caso concreto del ámbito nuclear: el explotador tiene una instalación nuclear bajo su responsabilidad. El explotador está a cargo del funcionamiento de una instalación nuclear que presenta riesgos que pueden causar daños muy graves, y es su responsabilidad aplicar medidas que sean proporcionales a esos riesgos.

Sin embargo, ¿qué pasa con la seguridad física nuclear? Los principios mencionados implican que no se es responsable de los daños causados por los actos que otros cometan. Así lo ilustra el fallo *Franck* de 2 de diciembre de 1941,²⁴ conocido por haber sentado una importante jurisprudencia. En este caso, el Sr. Franck había dejado el coche a su hijo. El coche fue robado y el ladrón, cuya identidad se desconocía, atropelló mortalmente a un empleado de correos. El tribunal dictaminó que el Sr. Franck no era responsable de los daños causados al empleado de correos.

Por lo tanto, volviendo al ámbito nuclear, ¿se considera responsable al explotador si una persona malintencionada ataca de modo deliberado a un

²³ La traducción al inglés procede de Cartwright *et al.*, 2016.

²⁴ Asamblea Plenaria del Tribunal de Casación, *Connot c. Franck*, 2 de diciembre de 1941, N° N, Bull. civ., n.º 292, pág. 523. <https://www.doctrine.fr/d/CASS/1941/JURITEXT000006953144>.

explotador para dañar sus instalaciones? Si volvemos al marco internacional, y a las condiciones relativas a la responsabilidad por daños nucleares, vemos que los principios mencionados, que se establecen especialmente en el Convenio de París,²⁵ se adaptan a los casos de accidentes debidos a un problema de seguridad tecnológica nuclear. Sin embargo, su aplicación en el caso de actos dolosos, especialmente los actos terroristas, parece menos evidente.

Por consiguiente, en Francia, la seguridad física nuclear se basa en las condiciones que deben cumplir los explotadores para llevar a cabo sus actividades nucleares. Su responsabilidad en este ámbito no queda comprometida de manera automática. Se limita estrictamente a la aplicación de lo dispuesto en virtud de los reglamentos. Se trata de una diferencia fundamental con respecto a la seguridad tecnológica nuclear, en la que la responsabilidad del explotador queda comprometida de forma sistemática y en la que este debe determinar los medios necesarios para garantizar dicha seguridad.

9.7.2. ¿Por qué es necesaria la responsabilidad del explotador?

En primer lugar, el Estado debe preguntarse cuál es la responsabilidad del explotador en el ámbito de la seguridad física nuclear. ¿Por qué la seguridad física nuclear debería ser responsabilidad del explotador en vez del Estado? Pueden argumentarse varias razones.

Por lógica, las medidas de seguridad física nuclear son más eficaces cuanto más cerca estén de los materiales e instalaciones que hay que proteger. Por lo tanto, deben incorporarse en la estructura del explotador y coordinarse con otros requisitos, en particular los relativos a la seguridad tecnológica nuclear. Solo el explotador puede garantizar su integración adecuada. Ello es aplicable en particular a la gestión de crisis de seguridad, donde tal vez sea necesario hacer frente a personas malintencionadas y, al mismo tiempo, a las consecuencias de sus acciones para la seguridad tecnológica nuclear. Por consiguiente, la participación del explotador es fundamental.

Además, la seguridad física nuclear debe ser asunto de todos. En el ámbito del explotador, los empleados deben comprender la importancia de las medidas de seguridad física nuclear y contribuir a su aplicación. Esto garantiza que un acto doloso o una tentativa de acto doloso puedan detectarse lo antes posible. Este es el significado del Principio Fundamental F²⁶:

²⁵ Convenio del 29 de Julio de 1960 acerca de la Responsabilidad Civil en Materia de Energía Nuclear, enmendado por el Protocolo Adicional del 28 de Enero de 1964, y por el Protocolo del 16 de Noviembre de 1982. https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_31788/paris-convention-full-text. Consultado el 30 de agosto de 2021.

²⁶ Enmienda de la CPFMN, véase la nota 1, artículo 2 A, párr. 3.

PRINCIPIO FUNDAMENTAL F: Cultura de la seguridad física

Todas las organizaciones que intervienen en la aplicación de la protección física deben conceder la debida prioridad a la cultura de la seguridad física, a su desarrollo y al mantenimiento necesarios para garantizar su eficaz aplicación en toda la organización.

La amenaza interna constituye una vulnerabilidad importante para la seguridad física nuclear. Debido a la proximidad y a la relación jerárquica con el personal, que podría ser responsable de actos dolosos o facilitarlos, el explotador desempeña un papel fundamental. El explotador debe organizarse para prevenir esta amenaza, así como para detectarla y afrontarla.

Por ello, incluso en un país como Francia, en el que desde hace tiempo se considera que la seguridad física es prerrogativa del Estado, no es posible aplicar un buen nivel de seguridad física nuclear sin la participación y la contribución destacada de los explotadores. Aun así, la función del Estado seguirá siendo importante y decisiva en todo momento.

9.7.3. ¿Cuáles son las obligaciones del explotador en materia de seguridad física nuclear?

En la práctica, la seguridad física nuclear implica responsabilidades complementarias entre el Estado y el explotador. Por lo tanto, los reglamentos nacionales deben especificar cuál es la responsabilidad del explotador.

Si el Estado opta por un enfoque basado en los resultados, el explotador establece su sistema de protección con arreglo a las amenazas base de diseño (ABD). Si el Estado considera que los explotadores deben poder hacer frente, por sí mismos, a todas las amenazas detectadas que ha de afrontar el país, las ABD deberían incluir todas esas amenazas. Sin embargo, un Estado puede considerar inadecuado exigir a los explotadores que hagan frente a todas las amenazas por sí solos. En Francia, se considera que las fuerzas armadas del explotador no pueden gestionar una crisis por sí solas, sino que darán tiempo a las fuerzas del Estado para intervenir. Se trata de una respuesta complementaria y coordinada. En este caso, las ABD podrán asumir solo una parte de las amenazas que haya detectado el Estado. Por ejemplo, en el caso francés, la directiva de seguridad nacional para el subsector nuclear civil, en la que se describen las ABD específicas del sector nuclear, establece claramente qué misiones son responsabilidad de los explotadores y cuáles son responsabilidad del Estado.

9.7.4. ¿Cómo es la cooperación con otros departamentos gubernamentales?

El papel del explotador está limitado por las prerrogativas y los medios que pueden concederse a un particular, por ejemplo:

- la posibilidad de recopilar información y recabar inteligencia;
- la posibilidad de utilizar armas, en particular armas de guerra;
- la posibilidad de intervenir con armas en el espacio público o únicamente en la propiedad privada;
- el uso de cámaras, detectores, etc., fuera de la propiedad privada (más allá del perímetro de los recintos, por mar y aire, en accesos a la propiedad privada, etc.);
- la posibilidad de controlar a las personas, de detenerlas, etc., y
- la posibilidad de regular los objetos que se introducen en la propiedad privada y de registrar a una persona o un vehículo, etc.

Todas estas cuestiones ya suelen estar reguladas en un país e influirán en gran medida en la forma en que las funciones en materia de seguridad física nuclear se distribuyen entre el Estado y el explotador.

Dado que estos medios están muy regulados y controlados en los países comprometidos con las libertades individuales, el Estado sigue desempeñando un papel preponderante en materia de seguridad física nuclear, por ejemplo, en lo que atañe a la inteligencia, la lucha contra el terrorismo (la interrupción de actos dolosos antes de que se cometan), la seguridad aérea y marítima, la respuesta armada en caso de atentado terrorista, investigaciones judiciales y sanciones penales, etc.

9.8. ELECCIÓN DE OPCIONES TECNOLÓGICAS, EMPLAZAMIENTOS Y RUTAS DE TRANSPORTE

9.8.1. ¿Cómo puede integrarse la seguridad física nuclear en la elección de tecnología?

Cuando un Estado se plantea poner en marcha un programa nuclear, la seguridad física nuclear debe ser una de las primeras cuestiones de que se ocupe, del mismo modo que deben tenerse en cuenta otras cuestiones como la seguridad tecnológica nuclear. El concepto de seguridad física desde el diseño mencionado anteriormente tiene en cuenta la amenaza base de diseño (ABD) para definir

mejor las medidas de protección de una instalación, que deben adaptarse a su funcionamiento.

Este enfoque puede hacer que se elija una tecnología en lugar de otra, sobre todo después de haber evaluado las distintas opciones tecnológicas existentes en relación con el marco nacional y la ABD aplicable.

La dificultad a la que puede enfrentarse un Estado atañe al hecho de compartir información sensible desde el punto de vista de la defensa nacional (ABD) con una entidad extranjera. Siempre es bueno recordar la cita de Alexandre Dumas: “Los amigos de hoy son enemigos mañana”, y viceversa.

Por lo tanto, es normal que un Estado se plantee qué está dispuesto a compartir con una entidad extranjera, aunque la decisión de elegir una tecnología en concreto pueda obedecer a una relación de confianza con el fabricante, o incluso con el Estado del que procede el fabricante.

Como se menciona anteriormente, la ABD es el resultado de la decisión de un Estado de exigir que un explotador sea capaz de proteger sus instalaciones contra algunas de las amenazas a las que el propio Estado tiene que hacer frente.

Al evaluar una tecnología extranjera, el Estado puede optar por definir una norma con un nivel adecuado de información que pueda compartirse sin comprometer la integridad de su seguridad nacional, garantizando al mismo tiempo su responsabilidad complementaria en la protección de la instalación.

9.8.2. ¿Cuáles son las cuestiones relativas al transporte?

La seguridad física desde el diseño puede ampliarse también a toda la cadena necesaria para el funcionamiento de la actividad nuclear y su seguridad física. Por lo general, es difícil que una actividad nuclear pueda existir por sí misma, ya que depende de otras actividades relacionadas con su ciclo de vida, como el suministro de combustible o materiales necesarios para su funcionamiento, el reprocesamiento de combustible gastado, el almacenamiento de los materiales, etc.

Estas actividades de diversa índole pueden llevarse a cabo cerca o lejos unas de otras (en particular, en respuesta a los desafíos de ordenación del territorio, que suelen suscitar un interés político, pero que tienen consecuencias considerables en materia de seguridad física). Con ello se plantea la cuestión del transporte de materiales nucleares y otras sustancias radiactivas, lo cual conlleva riesgos inherentes. Huelga decir que para ello es necesario contar con disposiciones especiales para la protección física de estos transportes, tanto a nivel nacional como internacional, cuando el Estado tenga que importar o exportar dichos productos.

En lo que respecta a los materiales nucleares, la CPFMN, antes de ampliar su alcance a las instalaciones nucleares en virtud de su enmienda, ya

establecía obligaciones relativas al transporte. La aplicación de estos requisitos internacionales se especifica en recomendaciones reconocidas por la comunidad internacional, jurídicamente no vinculantes, que figuran en la circular informativa INFCIRC/225/Rev.5.²⁷ El objetivo de estos transportes es llevar materiales nucleares u otras sustancias radiactivas a una instalación. Por consiguiente, también es importante, desde la fase de diseño de una instalación nuclear, tener en cuenta este componente de transporte (llegada/salida) y encontrar la forma más adecuada de protegerlo.

9.8.3. ¿Cómo puede integrarse la seguridad física con respecto al emplazamiento elegido y su entorno?

Los desafíos en materia de ordenación territorial se han indicado anteriormente y se hacen eco del importante principio de la seguridad física desde el diseño: la elección del emplazamiento de la instalación en que se desarrollará la actividad nuclear. Esta elección puede responder a menudo a intereses que no están relacionados con la seguridad física: consideraciones políticas, económicas o sociales (sobre todo en relación con la aceptabilidad del proyecto por parte de la población local), limitaciones operacionales, etc.

Sin embargo, no hay que descuidar la seguridad física en las decisiones que se tomen. En el ámbito de la seguridad física, no hay una solución única (una solución de seguridad física estandarizada) que pueda adaptarse sin tener en cuenta el contexto local. Las estrategias de protección deben ser diferentes para poder adaptarlas de manera óptima a la instalación y, en particular, a su entorno. Los modos de operación y las tácticas del adversario dependerán de la ubicación de la instalación. Ello requiere un sistema de protección adecuado para la instalación, así como por parte del Estado, que debe dimensionarse debidamente.

Ilustrémoslo con un ejemplo ajeno al sector nuclear que demuestra que estos conceptos no son tan nuevos. El ejemplo concreto del Palacio Garnier (uno de los dos teatros de ópera de París) ilustra estos dos componentes del principio de la seguridad física desde el diseño. El 14 de enero de 1858, Napoleón III fue víctima de un atentado con bomba frente a la ópera, situada por aquel entonces en la calle Le Peletier. A raíz de ello, decidió construir un nuevo teatro de ópera, más prestigioso pero también más seguro. Se trata de uno de los monumentos más famosos de París que tenemos hoy en día, el Palacio Garnier. Por consiguiente, la seguridad fue una de las principales preocupaciones a la hora de construir el edificio. Sobre la base de la información recabada tras el atentado, se pensó en una ruta corta, rápida y segura entre el lugar de residencia del emperador y el nuevo teatro de ópera. El resultado fue la creación de la avenida de la Ópera,

²⁷ OIEA, 2011a.

que era lo suficientemente grande y conectaba ambos lugares en línea recta para dificultar la planificación de un atentado durante el trayecto.

Ello refleja muy bien la necesidad de contar con una evaluación integrada del contexto industrial en torno a la instalación nuclear y la necesidad de tener en cuenta el transporte desde el principio, durante la fase de reflexión sobre la ubicación de la actividad. Otro elemento interesante del diseño original del Palacio Garnier es el pabellón del emperador. Esta construcción ofrece un acceso seguro reservado al emperador, puesto que proporciona una protección eficaz contra cualquier ataque a distancia.

Con ello, se pone de manifiesto la importancia de esta fase de transición, que a veces puede presentar vulnerabilidades considerables de no preverse, cuando un transporte de materiales nucleares o sustancias radiactivas llega a una instalación.

9.9. CONFIDENCIALIDAD, TRANSPARENCIA Y COMUNICACIÓN

La confidencialidad es uno de los doce principios fundamentales de la seguridad física nuclear incluidos en la Enmienda de 2005²⁸:

PRINCIPIO FUNDAMENTAL L: Confidencialidad

El Estado debe establecer requisitos para proteger la confidencialidad de la información cuya revelación no autorizada podría comprometer la protección física de los materiales nucleares e instalaciones nucleares.

Como se menciona varias veces en el presente capítulo, los Estados aplican este principio tanto a nivel nacional como internacional, sobre todo en la elaboración y redacción de instrumentos internacionales. Dicho principio también interactúa con otros elementos específicos del sector nuclear, como el principio de transparencia, o de la gestión de una crisis radiológica y la comunicación conexas necesarias.

9.9.1. ¿Cuáles son los desafíos en materia de comunicación frente al terrorismo?

En el ámbito de la seguridad física, la amenaza se caracteriza generalmente por una motivación (una ideología, un motivo personal, etc.), una capacidad (recursos materiales y humanos accesibles, conocimiento del ámbito pertinente,

²⁸ Enmienda de la CPFMN, véase la nota 1, artículo 2 A, párr. 3.

etc.), y un blanco, el cual resulta atractivo para el adversario. Este último aspecto abarca la dimensión simbólica que representa el blanco. En la actualidad, la principal amenaza contra la que se protegen los Estados es el terrorismo. Sin querer dar una definición universal de este concepto difícil de calificar, es interesante citar a Raymond Aron, quien define el terrorismo del siguiente modo: se considera terrorista una acción violenta cuyos efectos psicológicos no guardan proporción con los resultados puramente físicos.²⁹ Otra forma de calificar el terrorismo, que refleja el simbolismo que puede tener un blanco potencial, es el siguiente proverbio: es mejor matar a uno y ser visto por mil que matar a mil y ser visto por uno. Cuando se piensa en una actividad nuclear, especialmente en algunos países muy nuclearizados, el aspecto simbólico es evidente. Por ello, en caso de producirse un acto terrorista, la cuestión de la comunicación y la aceptación de la energía nuclear será fundamental, y los Estados deben estar debidamente preparados.

9.9.2. ¿Por qué es necesario proteger la información?

A un nivel más pragmático, el atractivo de un blanco se caracteriza por el hecho de que puede ser alcanzado con los medios de que dispone el adversario. Entre las diversas medidas que pueden adoptarse para que resulte más difícil alcanzar un blanco está el principio de la disuasión. Hay varias maneras de lograrlo: prever sanciones en el marco legislativo nacional, poner de manifiesto el elevado nivel de seguridad de la instalación (p. ej., instalando barreras, un gran número de cámaras), establecer patrullas aleatorias de guardias y de fuerzas de intervención dentro y fuera de la zona restringida de una instalación nuclear, etc. Sin embargo, la disuasión no requiere una transparencia total, lo que claramente facilitaría la planificación de un acto doloso por parte de un adversario. Por lo tanto, es necesario evaluar cuidadosamente la información que conviene proteger.

9.9.3. ¿Cómo equilibrar la protección de la información con el principio de transparencia en el sector nuclear?

En el sector nuclear, la transparencia suele constituir un valor fundamental. En Francia, la principal ley en el ámbito nuclear se denomina Ley de Transparencia y Seguridad Nuclear,³⁰ que define la transparencia como todas las medidas adoptadas para garantizar el derecho del público a acceder a una

²⁹ Aron, 1962, pág. 276.

³⁰ En esta ley, la seguridad nuclear abarca la seguridad tecnológica nuclear, la protección radiológica y la prevención de actos dolosos, así como medidas de seguridad civil en caso de accidente.

información fidedigna en materia de seguridad nuclear. Por lo tanto, este principio interactúa con los objetivos de confidencialidad relativos a la seguridad física nuclear antes mencionados. Es necesario encontrar un equilibrio adecuado entre lo que puede comunicarse y lo que debe saber solo quien convenga. Esto pone de manifiesto la importancia de las interrelaciones entre la seguridad tecnológica nuclear y la seguridad física nuclear en materia de comunicación, sobre todo desde una perspectiva técnica. Por ejemplo, cuando ocurre un suceso importante en materia de seguridad tecnológica o protección radiológica en Francia, hay una comunicación conexa. Esta comunicación se clasifica según la importancia del suceso y su alcance. La comunicación puede, por tanto, seguir siendo de ámbito local, o ser de ámbito nacional o incluso internacional. En cumplimiento de los objetivos de la ley antes mencionada, en las comunicaciones pueden incluirse detalles técnicos sobre el origen y las consecuencias del suceso. La información puede generar vulnerabilidades para la instalación en cuestión y puede ser utilizada indebidamente por algunas personas. El Alto Comité para la Transparencia y la Información sobre la Seguridad Nuclear (HCTISN) de Francia es un órgano encargado de la información pública y la organización de consultas y debates sobre los riesgos asociados a las actividades nucleares. A raíz de los numerosos debates celebrados en el seno de esta institución, se han formulado orientaciones para definir mejor la información que ha de protegerse con respecto a la seguridad física nuclear.

9.9.4. ¿Cómo proteger la información durante la gestión de una crisis?

Las disposiciones relativas a la transparencia también se aplican a la gestión de una crisis de seguridad. La comunicación debe ser equilibrada, sabiendo que habrá presión mediática para cubrir el suceso e informar al público.

En el caso de que el origen de la crisis sea la seguridad física, hay comunicaciones o comportamientos que pueden interferir en el buen desarrollo de las actuaciones de las fuerzas de seguridad del Estado. Francia se vio afectada por atentados de gran envergadura en 2015. Es posible que algunos comportamientos de los medios de comunicación perturbaran las operaciones de seguridad durante la crisis. La misión informativa de los medios de comunicación podría haberles llevado a comunicar información que fue utilizada por los terroristas. Por ejemplo, uno de los terroristas utilizaba con frecuencia un ordenador para ver diferentes canales de noticias con el fin de mantenerse informado de la situación en el exterior (en particular, de la organización de las fuerzas de seguridad del Estado presentes en el lugar). De nuevo, en este contexto, destacamos la importancia de gestionar las interrelaciones con todos los actores, teniendo en cuenta las diferencias en sus objetivos.

En Francia, toda crisis importante es gestionada a nivel nacional en un marco único, independientemente de su origen, ya sea nuclear (por causas tecnológicas, naturales, dolosas, etc.), terrorista o de cualquier otro tipo. La gestión corre a cargo de una sola autoridad. Una crisis nuclear provocada será gestionada principalmente por las autoridades que suelen ocuparse de la lucha contra el terrorismo (servicios del Primer Ministro y del Ministerio del Interior). Las autoridades encargadas de la seguridad tecnológica nuclear y la seguridad física nuclear³¹ proporcionarán asesoramiento y actualizaciones de la situación en su ámbito de competencia, pero no tendrán ningún papel decisorio. Cabe señalar que las autoridades decisorias no suelen participar directamente en la labor que realiza el OIEA. Por lo tanto, la interrelación se asegura a nivel nacional mediante los expertos de la autoridad de seguridad nuclear sobre los asuntos relacionados con su ámbito de competencia. Estos expertos utilizarán preferentemente los canales de comunicación internacionales establecidos con arreglo a sus necesidades y objetivos. Ello pone de manifiesto la importancia del papel del OIEA en la coordinación del desarrollo de instrumentos que respondan a los desafíos específicos del sector nuclear.

9.10. CONCLUSIÓN

El presente capítulo no pretende resumir en unas pocas páginas todo el proceso necesario para establecer un régimen de seguridad física nuclear, sino más bien ofrecer una visión general de algunas de las principales cuestiones que un Estado debe tener en cuenta a la hora de planificar la puesta en marcha de un programa nuclear y, por consiguiente, el desarrollo de un régimen de seguridad física nuclear.

Es indispensable que el Estado comprenda que la seguridad física nuclear forma parte de un contexto de intensa cooperación nacional, especialmente en ámbitos que están estrechamente interrelacionados, como la inteligencia, el cribado, la cooperación con las fuerzas de seguridad del Estado y la seguridad informática. Por ello, es crucial establecer una gobernanza nacional. La autoridad competente en materia de seguridad física nuclear, cuya posición está adaptada al entorno de seguridad nacional, debe participar, según convenga, en esta coordinación con el fin de contribuir a la coherencia del marco nacional e internacional para la seguridad física nuclear. Esta autoridad también interactúa con los demás componentes del sector nuclear y con la sociedad civil. Por

³¹ En Francia, la autoridad de seguridad se encarga de los reglamentos y de controlar su aplicación. Por lo tanto, es el interlocutor privilegiado en organismos multilaterales como el OIEA.

regla general, la transparencia es un valor fundamental que está reñido con la necesidad de confidencialidad o protección de la información. Para evitar el posible aislamiento de la autoridad competente de todos sus asociados, es necesario encontrar un equilibrio óptimo entre la protección y el intercambio de información.

La amenaza a la que se enfrenta un explotador es otra particularidad de la seguridad física nuclear, ya que el acto doloso es un acto humano capaz de adaptarse, mientras que el explotador debe tener en cuenta los sucesos naturales o no intencionados en el ámbito de la prevención de riesgos. En los procesos de diseño y autorización, es fundamental que el explotador y la autoridad competente realicen su análisis desde el punto de vista de la persona malintencionada. Este cambio de paradigma no es intuitivo, ya que el razonamiento en la evaluación del riesgo suele hacerse desde el punto de vista del “defensor”. Algunas medidas encaminadas a proteger una actividad nuclear se han diseñado en un principio para garantizar funciones de seguridad tecnológica nuclear. Por lo tanto, es imprescindible garantizar que estas medidas sean eficaces y sólidas contra uno o varios individuos con intención dolosa. Esto también nos permite detectar algunos modos de operación o escenarios en que se actúe con fines dolosos que son difíciles de predecir de otro modo.

Conviene recordar en todo momento que, a pesar de la responsabilidad soberana de los Estados, la seguridad física nuclear forma parte de las cuestiones de seguridad mundial. Las amenazas terroristas suelen ser de carácter internacional y requieren una cooperación internacional eficaz para combatirlas. Dadas las consecuencias de los actos dolosos para las actividades nucleares, cada Estado se interesa por la forma en que otros Estados abordan las cuestiones de seguridad física nuclear.

La seguridad física nuclear, como ámbito relacionado con la seguridad nacional, presenta aspectos muy específicos, sobre todo en lo que atañe a la soberanía y protección de la información, que la distinguen de otros componentes del sector nuclear. Está vinculada a un conjunto más amplio de normas de derecho internacional que responde a intereses específicos, a través de su propia lógica y objetivos. Esta situación también se da en el caso de la seguridad tecnológica nuclear y las salvaguardias. Un enfoque demasiado centrado en el ámbito nuclear podría tener el efecto de dejar de lado a expertos temáticos para favorecer perfiles transversales; esto no garantizaría la coherencia con los entornos conexos más allá de los intereses del sector nuclear, por ejemplo, la seguridad en un sentido amplio tanto a nivel nacional como internacional. Siguiendo este razonamiento, el OIEA desempeña un papel de coordinación fundamental facilitando el establecimiento de los vínculos indispensables para determinar y tratar debidamente las interrelaciones entre los tres componentes del sector nuclear, garantizando al

mismo tiempo el mantenimiento de su singularidad para la correcta integración de las consideraciones antes mencionadas.

La cooperación internacional es esencial para el intercambio de buenas prácticas entre los especialistas en seguridad física nuclear y para la formulación de recomendaciones que sean reconocidas por la comunidad internacional.

En este sentido, el OIEA ocupa un lugar central, ya sea a través de su *Colección de Seguridad Física Nuclear*, los numerosos cursos de capacitación, talleres y conferencias que organiza, o los diversos servicios que ofrece a los Estados.

No obstante, conviene tener presente que en muchos ámbitos también puede ser conveniente recurrir a las relaciones regionales o bilaterales. A modo de ejemplo, existe una asociación de autoridades de seguridad física nuclear integrada por varios países europeos que lleva por nombre Asociación de Reguladores de la Seguridad Física Nuclear de Europa (ENSRA). La Asociación ofrece la oportunidad de debatir cuestiones específicas e intercambiar información con mayor libertad que en el marco más abierto del OIEA. Además, los Estados suelen concertar acuerdos bilaterales de cooperación con otros Estados, que incluyen normas de confidencialidad.

9.11. YENDO MÁS LEJOS...

Aunque la CPFMN puede considerarse ante todo un instrumento político (los Estados partes dicen que respetan las obligaciones de la Convención sin detallar las modalidades de su aplicación), esto no significa que los Estados partes no actúen de buena fe en el cumplimiento de sus compromisos. Algunos Estados partes adoptan un punto de vista distinto y consideran que el objetivo de la Convención es asegurar, de manera muy concreta, que otros Estados protejan de manera efectiva sus instalaciones y les ofrezcan garantías de ello. Cabría esperar de estos Estados el establecimiento de un mecanismo de verificación. Sin embargo, esta visión choca con los principios antes mencionados.

La posibilidad de que los Estados partes convoquen una conferencia en virtud del artículo 16 de la CPFMN y su Enmienda es un método de evaluación que se basa de nuevo en el principio de buena fe. En general, se acepta que los Estados deben confiar en la exactitud y exhaustividad de la información proporcionada por cada parte para este tipo de actividad. La energía nuclear civil es un tema delicado tanto a nivel nacional como internacional, ya que esta tecnología preocupa realmente a la sociedad civil. Ello plantea la siguiente pregunta: ¿hasta qué punto un Estado está dispuesto a compartir en la escena internacional, de forma muy transparente, cualquier debilidad en sus instalaciones

u organización? Aunque el público no tenga acceso a esta información, mantener una buena reputación es una consideración importante para los Estados.

Debido a estas limitaciones, parece difícil que la conferencia sea el instrumento más adecuado para garantizar a todos los Estados, de forma concreta y pertinente, el respeto de las obligaciones de la Convención desde un punto de vista técnico.

Como ya se ha mencionado, el OIEA cuenta con un programa IPPAS para evaluar el régimen de protección física de un Estado sobre la base de las obligaciones de la CPEMN, su Enmienda de 2005 y la circular informativa INFCIRC/225/Rev.5. La evaluación incluye un examen detallado, a nivel nacional, del marco legislativo y reglamentario, así como de las medidas y los procedimientos aplicados por el Estado en virtud de lo dispuesto en el marco internacional. El programa IPPAS, propuesto por el OIEA, ofrece un marco seguro para el examen por homólogos, que se adapta perfectamente a la seguridad física nuclear. Los países interesados pueden utilizarlo para recibir un informe detallado, tras un análisis minucioso por parte de un equipo de expertos internacionales reconocidos. Aunque la información más sensible no puede compartirse con los expertos, este instrumento se adapta bien al objetivo de garantía que algunos Estados partes tal vez quieran asignar a la Convención. Por lo tanto, conviene alentar a todos los Estados partes a que acojan una primera misión IPPAS y a que prevean solicitar misiones periódicas posteriores.

REFERENCIAS

- Aron R (1962) *Paz y guerra entre las naciones*, Alianza, Madrid.
- Breivik A (2011) 2083—A European Declaration of Independence. <https://info.publicintelligence.net/AndersBehringBreivikManifesto.pdf>. Accessed 20 August 2021
- Cartwright J, Fauvarque-Cosson B, Whittaker S (2016) The Law of Contract, The General Regime of Obligations, and Proof of Obligations, The New Provisions of the Code Civil Created by Ordonnance n° 2016-131 of 10 February 2016 Translated into English. http://www.textes.justice.gouv.fr/art_pix/THE-LAW-OF-CONTRACT-2-5-16.pdf, <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000032004939/>. Accessed 20 August 2021
- Code de la Défense (2021). <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000006071307/>
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2004) *Código de Conducta sobre Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas*, IAEA/CODEOC/200, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2011a) *Recomendaciones de seguridad física nuclear sobre la protección física de los materiales y las instalaciones nucleares (INFCIRC/225/Rev.5)*, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 13, OIEA, Viena.

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2011b) *Recomendaciones de seguridad física nuclear sobre materiales radiactivos e instalaciones conexas*, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 14, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2013) *Objetivo y elementos esenciales del régimen de seguridad física nuclear de un Estado*, Nociones Fundamentales de Seguridad Física Nuclear, Colección de Seguridad Física Nuclear N° 20, OIEA, Viena.
- Stoiber C, Baer A, Pelzer N, Tonhauser W (2003) *Manual de derecho nuclear*, OIEA, Viena.
- Asamblea General de las Naciones Unidas (1946) *Creación de una Comisión que se encargue de estudiar los problemas surgidos con motivo del descubrimiento de la energía atómica*, Resolución 1(I). [https://undocs.org/en/A/RES/1\(I\)](https://undocs.org/en/A/RES/1(I)). Consultado el 20 de agosto de 2021
- Asamblea General de las Naciones Unidas (1997) Resolución 51/210, A/RES/51/210. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N97/761/65/PDF/N9776165.pdf>. Consultado el 20 de agosto de 2021
- Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas (2004) Resolución 1540, S/RES/1540. [https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/RES/1540%20\(2004\)](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/RES/1540%20(2004)). Consultado el 20 de agosto de 2021

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

10. SALVAGUARDIAS DEL OIEA: CORRECCIÓN Y EXHAUSTIVIDAD DE LAS DECLARACIONES DE SALVAGUARDIAS DE LOS ESTADOS

Laura Rockwood

Resumen En vista de los desafíos puntuales que, en los últimos años, se han planteado al concepto de la autoridad legal del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para verificar la corrección y la exhaustividad de las declaraciones de los Estados en virtud de los acuerdos de salvaguardias amplias, el presente capítulo analiza tanto la legislación como la práctica relacionada con esta cuestión desde principios de los años 90 del siglo pasado, centrándose, en particular, en el derecho y la obligación del OIEA de verificar la corrección y la exhaustividad de estas declaraciones, entendido como uno de los principios primordiales de la aplicación de los acuerdos de salvaguardias amplias. El capítulo ofrece un detallado análisis textual e histórico del que se desprende que, en el cumplimiento de esa obligación, el OIEA no se limita a acceder a la información sobre los materiales nucleares que ha declarado el Estado, o a los lugares en los que se ha declarado al Organismo la presencia de tales materiales. Optar por una interpretación en sentido contrario devolvería al OIEA a un enfoque en materia de verificación anterior a 1991, que ponía el acento, principalmente, en los materiales nucleares declarados, lo que provocó que el OIEA no lograra detectar el programa nuclear no declarado del Iraq.

Palabras clave acuerdos de salvaguardias amplias • actividades nucleares no declaradas • corrección y exhaustividad • Director General del OIEA • Junta de Gobernadores del OIEA • materiales nucleares en actividades declaradas • Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) • protocolo adicional • salvaguardias • Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP)

10.1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de las salvaguardias internacionales, pocas cuestiones de índole jurídica han sido objeto de debates tan animados como la autoridad del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para verificar la corrección y la exhaustividad de las declaraciones de los Estados en virtud de los acuerdos de salvaguardias amplias. Más concretamente, la cuestión es si el

OIEA tiene el mandato y la autoridad para verificar que los materiales nucleares declarados no se desvíen hacia fines prohibidos y que no haya materiales o actividades nucleares no declarados en un Estado que ha concertado un acuerdo de este tipo.¹

Si bien la legislación y la práctica a este respecto han permitido consolidar una respuesta afirmativa desde principios del decenio de 1990, conviene, en vista de los desafíos puntuales a los que, en los últimos años, ha tenido que hacer frente el concepto de autoridad legal, recordar los principios primordiales de la aplicación de los acuerdos de salvaguardias amplias: que el OIEA tiene el derecho y la obligación de verificar la corrección y la exhaustividad de las declaraciones de un Estado y que ese derecho y esa obligación dimanen de los propios acuerdos.

10.2. PERSPECTIVA HISTÓRICA

El Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP)² encomendó al OIEA la tarea de verificar el cumplimiento por los Estados no poseedores de armas nucleares de las obligaciones contraídas en virtud del tratado “con miras a impedir que la energía nuclear se desvíe de usos pacíficos hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos”. Con ese fin, el TNP establece que cada Estado no poseedor de armas nucleares debe concertar con el OIEA un acuerdo para la aplicación de salvaguardias a todos los materiales básicos o materiales fisiónables especiales en todas las actividades nucleares con fines pacíficos realizadas en el territorio de dicho Estado, bajo su jurisdicción, o efectuadas bajo su control en cualquier lugar; es lo que se conoce como acuerdo de salvaguardias “totales” o “amplias” (acuerdo de salvaguardias amplias).

Con la entrada en vigor del TNP en 1970, los Estados Miembros del OIEA negociaron, en un comité de composición abierta de la Junta de Gobernadores (el Comité 22), el documento en el que se basan todos los acuerdos de salvaguardias amplias: el documento INFCIRC/153, *Estructura y contenido de los acuerdos entre los Estados y el Organismo requeridos en relación con el Tratado sobre*

¹ Buena parte del material de este capítulo procede, previa autorización, de distintas publicaciones escritas, por ella sola o en colaboración, por Laura Rockwood, que durante 28 años fue la Asesora Jurídica Superior especializada en todos los aspectos de la negociación, la interpretación y la aplicación de las salvaguardias del OIEA, y que fue la autora principal del documento que daría lugar al Modelo de Protocolo Adicional. Entre estas publicaciones están Rockwood y Johnson 2015; Rockwood 2014. La autora también ha utilizado material de Albright et al. 2012.

² El Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) se abrió a la firma el 1 de julio de 1968 y entró en vigor el 5 de marzo de 1970.

la no proliferación de las armas nucleares. Todos los acuerdos de salvaguardias amplias concertados por el OIEA desde entonces han tomado como punto de partida ese documento y el acuerdo modelo que de él se deriva, transcrito en el documento GOV/INF/276.³

El OIEA llevaba 20 años aplicando salvaguardias con arreglo a los acuerdos de salvaguardias amplias cuando descubrió el programa nuclear oculto del Iraq en 1991. Durante esos dos decenios, las actividades de salvaguardias del Organismo se habían centrado principalmente, más por cuestiones prácticas que por falta de autoridad legal, en verificar los materiales nucleares declarados presentes en instalaciones declaradas. En lugar de examinar al Estado en su conjunto, la aplicación y la evaluación de las salvaguardias se llevaba a cabo instalación por instalación. De resultados de este enfoque, aunque el Organismo trataba, por lo general, de verificar la ausencia de actividades de producción de materiales nucleares no declaradas en instalaciones declaradas, en particular en reactores de investigación, no tenía como objetivo verificar la presencia de materiales nucleares no declarados en otros lugares del Estado.

Las deficiencias de este enfoque se hicieron evidentes con el descubrimiento, en 1991, de las actividades nucleares no declaradas y del programa clandestino de armas nucleares del Iraq. Este hallazgo llevó a reevaluar la, a la sazón, creencia convencional, aunque infundada, de que la autoridad legal que conferían al OIEA los acuerdos de salvaguardias amplias se limitaba a la verificación de los materiales e instalaciones nucleares declarados por el Estado.

Los Estados Miembros del OIEA dejaron claro que el OIEA debería, y podía, hacer más para ofrecer garantías no solo de la no desviación de materiales nucleares declarados, sino de la ausencia de materiales y actividades nucleares no declarados en tales Estados. Junto con la Secretaría del OIEA, la Junta de Gobernadores volvió a examinar la atención que prestaba el Organismo a los materiales nucleares declarados y concluyó que, basándose en la autoridad legal prevista en el documento INFCIRC/153, el OIEA tenía el derecho y la obligación de verificar la corrección y la exhaustividad de las declaraciones de los Estados.

Como se detalla más adelante en este capítulo, entre 1991 y 1993, la Junta de Gobernadores y la Conferencia General del OIEA adoptaron una serie de decisiones en las que reafirmaban el derecho y la obligación de garantizar que, en un Estado con un acuerdo de salvaguardias amplias, no se desviaran materiales, ni declarados, ni no declarados, hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos. Conviene señalar que todas estas decisiones se adoptaron mucho antes de que el Organismo contemplara siquiera la posibilidad de ampliar su autoridad legal, y que los órganos rectores del OIEA han confirmado este derecho y obligación desde principios del decenio de 1990.

³ OIEA 1974.

Al final de 1993, la Secretaría del OIEA, a petición de la Junta de Gobernadores, inicio un ambicioso programa para definir un conjunto exhaustivo de medidas encaminadas a fortalecer las salvaguardias: el Programa 93+2. Esas medidas, que se presentaron a la Junta en febrero de 1995,⁴ se dividían en dos grupos. El primero constaba de medidas que podían aplicarse con arreglo a la autoridad legal prevista en los acuerdos de salvaguardias amplias. La más importante de estas medidas era un cambio profundo en la evaluación por el OIEA de la información de que disponía sobre un Estado. En lugar de evaluar los resultados de sus actividades de verificación de manera aislada para cada una de las instalaciones del Estado, el OIEA abordaría el programa nuclear del Estado de manera coherente e integrada analizando el Estado como un todo. El segundo grupo constaba de medidas cuya adopción proponía la Secretaría sobre la base de un nuevo instrumento jurídico. Estas medidas acabaron dando lugar al Modelo de Protocolo Adicional, que la Junta aprobó en mayo de 1997.⁵

La negociación del Modelo de Protocolo Adicional se produjo en otro comité de composición abierta de la Junta de Gobernadores, el Comité 24. Este instrumento se concibió como un modelo para los protocolos que deben concertarse con los Estados que ya cuentan con un acuerdo de salvaguardias amplias, a fin de fortalecer la capacidad del OIEA de cumplir sus obligaciones contraídas en virtud de ese acuerdo proporcionando al Organismo la potestad complementaria de solicitar acceso, como algo más corriente, a información y lugares adicionales relacionados con el ciclo del combustible nuclear de un Estado.

Hemos avanzado mucho desde entonces, pero persisten las preguntas acerca de los fundamentos jurídicos de las acciones del Organismo. Algunas de estas dudas se deben a la inexperiencia y a la falta de familiaridad de algunas personas con estas cuestiones y con su historia; otras obedecen al deseo de limitar la potestad del OIEA para adoptar medidas. Sea cual sea el motivo, es importante dejar clara esa autoridad.

10.3. INTERPRETACIÓN DEL TRATADO

En la obra *Nuclear Non-Proliferation in International Law, Volume II: Verification and Compliance* puede encontrarse un análisis detallado de la aplicación de las normas generales de interpretación de los tratados.⁶ Lo que sigue se basa en ese análisis.

⁴ OIEA 1995, anexos 1 a 4.

⁵ OIEA 1997.

⁶ Rockwood y Johnson 2015, págs. 57-94.

De conformidad con las normas generales de interpretación codificadas tanto en la Convención de Viena sobre el Derecho de los Tratados como en la Convención de Viena sobre el Derecho de los Tratados entre Estados y Organizaciones Internacionales o entre Organizaciones Internacionales (denominadas colectivamente las “Convenciones de Viena sobre el Derecho de los Tratados”),⁷ estos acuerdos de salvaguardias deben interpretarse de buena fe conforme al sentido corriente que haya de atribuirse a los términos de los acuerdos en su contexto y a la luz de su objeto y finalidad. También debe tenerse en cuenta cualquier acuerdo posterior entre las partes relativo a la interpretación de los acuerdos o a la aplicación de sus disposiciones, así como toda práctica posterior respecto de la aplicación del tratado que establezca el acuerdo de las partes en cuanto a la interpretación de este.

De una primera lectura del documento INFCIRC/153 se desprende claramente que los acuerdos de salvaguardias amplias imponen al OIEA la obligación de ofrecer garantías de que todos los materiales nucleares declarados de un Estado están sometidos a salvaguardias y de que el Estado ha declarado y sometido a salvaguardias todos los materiales nucleares que debe declarar. Los párrafos 1 y 2 del documento INFCIRC/153 se refieren, respectivamente, al compromiso básico del Estado de aceptar salvaguardias (párrafo 1) y al derecho y a la obligación del OIEA de aplicar salvaguardias (párrafo 2). Todos los acuerdos de salvaguardias amplias contienen artículos que se corresponden con estos párrafos.

De conformidad con el párrafo 1 del documento INFCIRC/153, el Estado debe “aceptar salvaguardias [...] sobre *todos* los materiales básicos o materiales fisionables especiales en todas las actividades nucleares con fines pacíficos realizadas en su territorio, bajo su jurisdicción, o efectuadas bajo su control en cualquier lugar, a efectos únicamente de verificar que dichos materiales no se desvían hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos” (énfasis añadido).

El párrafo 2 del documento INFCIRC/153 estipula que el Organismo tiene “*el derecho y la obligación de cerciorarse de que las salvaguardias se aplicarán [...] a todos los materiales básicos o materiales fisionables especiales en todas las actividades nucleares con fines pacíficos realizadas en el territorio del Estado, bajo su jurisdicción, o efectuadas bajo su control en cualquier lugar, a efectos únicamente de verificar que dichos materiales no se desvían hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos*” (énfasis añadido). Los responsables de

⁷ La Convención de Viena sobre el Derecho de los Tratados se abrió a la firma el 23 de mayo de 1969 y entró en vigor el 27 de enero de 1980; la Convención de Viena sobre el Derecho de los Tratados entre Estados y Organizaciones Internacionales o entre Organizaciones Internacionales se abrió a la firma el 21 de marzo de 1986 y todavía no ha entrado en vigor.

redactar el documento INFCIRC/153 convinieron esta formulación del párrafo 2 tras un examen detallado y después de rechazar de manera explícita la propuesta de un Estado Miembro, que proponía que el texto dijera que “las actividades de salvaguardias e inspección... se ocuparán exclusivamente del material comunicado por el Estado en cuestión”.⁸

El examen de otras disposiciones del documento INFCIRC/153 refuerza si cabe esta interpretación.

De conformidad con lo enunciado en ese documento, tras la entrada en vigor de su acuerdo de salvaguardias amplias, el Estado debe presentar al OIEA un informe inicial relativo a todos los materiales nucleares que han de quedar sometidos a salvaguardias, así como información respecto de todas las instalaciones nucleares existentes.⁹ Asimismo, autoriza al OIEA a solicitar acceso para verificar dicha información por medio de inspecciones (*ad hoc*, ordinarias y especiales) y de la verificación de la información sobre el diseño.

Las inspecciones *ad hoc* sirven, entre otras cosas, para verificar la información contenida en la declaración inicial del Estado relativa a los materiales nucleares [párrafo 71 a)]. El párrafo 76 a) dispone que pueden llevarse a cabo inspecciones *ad hoc* para tales fines “en cualquier punto en que el informe inicial o cualquier inspección del Organismo realizada en conexión con [el informe inicial] indiquen que se encuentran materiales nucleares” (énfasis añadido), lo que permite al OIEA solicitar acceso no solo a los lugares declarados por el Estado en su informe inicial, sino a otros lugares no declarados por el Estado.

Las inspecciones ordinarias se llevan a cabo en instalaciones, así como en lugares situados fuera de las instalaciones (LFI) en las que suelen utilizarse materiales nucleares, a fin de verificar la coherencia de los informes del Estado en relación con los registros; “la ubicación, identidad, cantidad y composición de todos los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del Acuerdo”, y las posibles causas de determinadas diferencias. De conformidad con lo dispuesto en el párrafo 76 c) del documento INFCIRC/153, el acceso para llevar a cabo inspecciones ordinarias se limita a los puntos estratégicos acordados y a los registros que se mantenga con arreglo al acuerdo de salvaguardias amplias. Los párrafos 78 a 82 limitan el número, la frecuencia y el rigor de las inspecciones ordinarias.

El párrafo 73 b) del documento INFCIRC/153 autoriza al Organismo a efectuar inspecciones especiales, entre otros motivos, si “estima que la información facilitada por el Estado, incluidas las explicaciones dadas por el Estado y la información obtenida mediante las inspecciones ordinarias, *no es adecuada para que el Organismo desempeñe sus funciones en virtud del Acuerdo*”

⁸ International Energy Associates Ltd 1984, págs. 33-44.

⁹ OIEA 1972, párrs. 62 y 42.

(énfasis añadido). Como se indica en el párrafo 2 del documento INFCIRC/153, estas responsabilidades incluyen cerciorarse de que las salvaguardias se aplicarán a *todos* los materiales nucleares que el Estado debe declarar. El párrafo 73 dispone explícitamente que se considerará que una inspección es especial cuando, o bien es adicional a las actividades ordinarias de inspección estipuladas en los párrafos 78 a 82, o bien “*implica el acceso a información o lugares adicionales además del acceso especificado en el párrafo 76 para las inspecciones ad hoc y ordinarias, o bien cubre ambos casos*” (énfasis añadido).

El párrafo 19 del documento INFCIRC/153 prevé que “si la Junta, después de examinar la información pertinente que le transmita el Director General, llega a la conclusión de que el Organismo no está en condiciones de verificar que no se ha producido ninguna desviación hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos de los materiales nucleares *que tienen que ser sometidos a salvaguardias en virtud del Acuerdo*”¹⁰ (énfasis añadido), “podrá presentar los informes previstos en el párrafo C del artículo XII del Estatuto y podrá, asimismo, adoptar, cuando proceda, las demás medidas que se prevén en dicho párrafo”.¹¹ La formulación del párrafo 19 reafirma el derecho del Organismo a garantizar no solo que no haya habido desviación de materiales nucleares declarados hacia usos prohibidos, sino que no se desvían materiales nucleares, declarados o no declarados, hacia tales fines.¹²

Como se señala en el párrafo 28 del documento INFCIRC/153, el objetivo de las salvaguardias en el marco de los acuerdos de salvaguardias amplias es doble:

El acuerdo debe estipular que el objetivo de las salvaguardias es *descubrir prontamente la desviación* de cantidades importantes de materiales nucleares adscritos a actividades nucleares pacíficas hacia la fabricación de armas nucleares

¹⁰ OIEA 1972.

¹¹ El artículo XII.C del Estatuto del OIEA dispone que el Director General transmitirá a la Junta de Gobernadores los incumplimientos observados. “Prevé, además, que la Junta pedirá al Estado o a los Estados beneficiarios que procedan inmediatamente a poner fin a cualquier incumplimiento cuya existencia se compruebe. La Junta pondrá este incumplimiento en conocimiento de todos los miembros, así como del Consejo de Seguridad y de la Asamblea General de las Naciones Unidas”.

¹² El documento INFCIRC/153 contiene muchas más disposiciones que ponen de manifiesto la clara intención de los autores del documento. Sus párrafos 7, 8, 11, 12, 13 y 18 se refieren a “materiales nucleares sometidos a salvaguardias”, expresión que el Comité interpretó que se refería no solo a los materiales que se estaban sometiendo a salvaguardias, sino a los que tenían que someterse a ellas. Según Myron Kratzer, el jefe del grupo de los Estados Unidos encargado de negociar el documento INFCIRC/153, en el párrafo 19 se optó por la expresión “materiales nucleares que tienen que someterse a salvaguardias”, más explícita, porque, “aunque su significado era, tal vez, más claro, no difería del de la expresión “materiales nucleares sometidos a salvaguardias””, International Energy Associates Ltd. 1984.

o de otros dispositivos nucleares explosivos o con fines desconocidos, y *disuadir de tal desviación ante el riesgo de su pronto descubrimiento* (énfasis añadido).

Como se señaló en el análisis al que se ha hecho alusión anteriormente, el objetivo de los términos empleados en el documento INFCIRC/153 y en los acuerdos de salvaguardias amplias concertados por el OIEA a partir de ese texto, tanto en lo que respecta a su contexto como en vista de su objeto y su finalidad, “era que se pudiera verificar que no se estaba dando un uso indebido a los materiales nucleares, declarados o no declarados, en un Estado. Si algo deja aún más claro el texto del documento INFCIRC/153 es que los acuerdos basados en dicho documento prevén que el OIEA verificará la corrección y la exhaustividad de las declaraciones de los Estados”.¹³

Es evidente que impedir al OIEA verificar que no haya materiales nucleares que han escapado al alcance de las salvaguardias y que están disponibles para actividades proscritas contradiría claramente el objeto y la finalidad mismos de dichos acuerdos de salvaguardias.

Según lo estipulado en las Convenciones de Viena sobre el Derecho de los Tratados, al interpretar un tratado también debe tenerse en cuenta cualquier acuerdo posterior entre las partes relativo a la interpretación de los tratados o a la aplicación de sus disposiciones, así como toda práctica subsiguiente respecto de la aplicación del tratado que establezca el acuerdo de las partes en cuanto a la interpretación de este. En la siguiente sección se describen los acuerdos y las prácticas posteriores que, tomados colectivamente, reafirman esta interpretación.

10.4. NOCIONES FUNDAMENTALES DE LAS SALVAGUARDIAS AMPLIAS

10.4.1. En virtud de un acuerdo de salvaguardias amplias, un Estado debe declarar al Organismo todos los materiales nucleares; no hacerlo es incompatible con esa obligación

De una primera lectura tanto del documento INFCIRC/153 como de las decisiones de la Junta de Gobernadores se desprende que un Estado, en virtud del párrafo 1 de su Acuerdo de Salvaguardias Amplias, debe declarar *todos* sus materiales e instalaciones nucleares al Organismo, y que no hacerlo es incompatible con esa obligación.

- a) INFCIRC/153: Con arreglo al párrafo 1 del documento INFCIRC/153, un Estado debe “aceptar salvaguardias, de conformidad con los términos

¹³ Rockwood y Johnson 2015, págs. 57-94.

del acuerdo, sobre *todos* los materiales básicos o materiales fisiónables especiales en todas las actividades nucleares con fines pacíficos realizadas en su territorio, bajo su jurisdicción, o efectuadas bajo su control en cualquier lugar, a efectos únicamente de verificar que dichos materiales no se desvían hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos” (énfasis añadido). El párrafo 62 también estipula que el Estado debe presentar un informe inicial relativo a “todos los *materiales nucleares* que han de quedar sometidos a salvaguardias”.

La palabra “todos” también figura, por ejemplo, en los párrafos 7, 31 y 32 (relativos a la obligación del Estado de organizar y mantener un sistema de fiscalización y control de “todos los materiales nucleares sometidos a salvaguardias”) y en el párrafo 41 (que establece que el Organismo debe abrir un solo inventario de “todos los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del Acuerdo en el Estado”).

La historia de la negociación del documento INFCIRC/153 muestra claramente que la referencia a los materiales nucleares “en actividades nucleares con fines pacíficos” se introdujo teniendo en cuenta que el TNP permite el uso de materiales nucleares en actividades militares no proscritas (no explosivas), y que los materiales nucleares que deben someterse a salvaguardias en virtud del acuerdo podrían escapar al alcance de este sobre la base de arreglos que habrán de concertarse con el Organismo.

Dicha referencia no estaba pensada para que un Estado pudiera excluir material nuclear de sus declaraciones simplemente adscribiéndolo a actividades militares o con fines no pacíficos, y no debería interpretarse en ese sentido. Considerar que el párrafo 1 excluye los materiales nucleares que se emplean en actividades militares iría en contra del objeto y el fin fundamentales de los acuerdos de salvaguardias amplias, en contravención del artículo 31 1) de las Convenciones de Viena sobre el Derecho de los Tratados.

- b) Decisiones de la Junta: Que un Estado está obligado a declarar al OIEA todos sus materiales nucleares en virtud de un acuerdo de salvaguardias amplias, y que no hacerlo constituye una violación de esa obligación, es

una cuestión que la Junta de Gobernadores ha confirmado en numerosas ocasiones, por ejemplo:

- En su primer informe sustantivo a la Junta sobre los resultados del OIEA en el Iraq, de julio de 1991,¹⁴ el Director General puso en conocimiento de la Junta que el Iraq no había declarado materiales nucleares de conformidad con lo dispuesto en su Acuerdo de Salvaguardia Amplias, y concluyó que el Iraq había incumplido las obligaciones dimanantes de su Acuerdo de Salvaguardias, “en particular con respecto a la obligación de aceptar la aplicación de salvaguardias a todos los materiales nucleares presentes en todas las actividades nucleares con fines pacíficos”. Sobre la base de ese informe, el 18 de julio de 1991 la Junta aprobó la resolución GOV/2532¹⁵, en la que condenaba el incumplimiento por parte del Iraq de su obligación de aceptar la aplicación de salvaguardias a todos los materiales nucleares presentes en todas las actividades nucleares con fines pacíficos como consecuencia de no haber declarado determinados materiales y actividades nucleares al Organismo. En septiembre de 1991, la Junta tomó conocimiento de que el Iraq seguía incumpliendo sus obligaciones en materia de presentación de declaraciones¹⁶ y pidió al Director General que informara de ese incumplimiento al Consejo de Seguridad.
- En junio de 1992, la Junta, a través de un resumen del Presidente, tomó nota del informe del Director General sobre el incumplimiento en que había incurrido el antiguo régimen de Rumania al no declarar actividades relacionadas con el reprocesamiento de una pequeña cantidad de plutonio en 1985¹⁷ (cuestión que el posterior Gobierno del país señaló a la atención del OIEA), y solicitó al Director General que notificara ese incumplimiento al Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas “con fines informativos”¹⁸.
- El 25 de febrero de 1993, la Junta de Gobernadores aprobó la resolución GOV/2636¹⁹, relativa a la República Popular Democrática de Corea (RPDC), en la que, tomando nota de las discrepancias entre las declaraciones de la RPDC y las conclusiones de la Secretaría que habían dado lugar a dudas sobre la cabalidad de las declaraciones

¹⁴ OIEA 1991f.

¹⁵ OIEA 1991g.

¹⁶ OIEA 1991h, párrs. 46 y 47.

¹⁷ Findlay 2015.

¹⁸ OIEA 1992a.

¹⁹ OIEA 1993a.

iniciales sobre materiales nucleares de la RPDC, recordaba su reunión de diciembre de 1992, en la que la Junta había subrayado “la fundamental importancia de verificar la corrección y evaluar la cabalidad del Informe Inicial [de la RPDC]”, y decidía que el acceso a la información adicional y a los dos lugares adicionales solicitado por el Director General, conforme a las disposiciones relacionadas con las inspecciones especiales, “constituyen pasos indispensables y urgentes para resolver las discrepancias y asegurar la verificación del cumplimiento del INFCIRC/403”.

- Después de que la RPDC no accediera a facilitar el acceso solicitado, el 1 de abril de 1993 la Junta aprobó la resolución GOV/2645²⁰, en la que decidía, de conformidad con el artículo 19 del Acuerdo de Salvaguardias de la RPDC, informar al Consejo de Seguridad sobre la incapacidad del Organismo de verificar que no se había producido ninguna desviación del material nuclear que debía estar sometido a salvaguardias, conforme a lo establecido en el Acuerdo, hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, así como sobre el incumplimiento por la RPDC.
- En septiembre de 2003, la Junta aprobó la resolución GOV/2003/69 (con fecha del 12 de septiembre de 2003)²¹, en la que recordaba el informe del Director General de fecha 6 de junio de 2003 (GOV/2003/40)²² en el que este había expresado preocupación por las veces que el Irán había dejado de notificar los materiales, las instalaciones y actividades que estaba obligado a declarar de conformidad con su Acuerdo de Salvaguardias Amplias, y exhortaba a ese país a garantizar que no se volverían a “dejar de notificar los materiales, instalaciones y actividades que el Irán está obligado a declarar de conformidad con su Acuerdo de Salvaguardias Amplias”.
- En noviembre de 2003, la Junta aprobó otra resolución en la que, observando con gran preocupación que en varias ocasiones durante un intervalo prolongado de tiempo, el Irán no había “cumplido sus obligaciones emanadas de su [Acuerdo de Salvaguardias Amplias] con respecto a la notificación de los materiales nucleares, y su procesamiento y utilización, y con respecto también a la declaración de las instalaciones en que esos materiales han sido procesados y almacenados”, “observando en particular, con la más profunda preocupación, que el Irán efectuó el enriquecimiento de uranio y

²⁰ OIEA 1993b.

²¹ OIEA 2003a.

²² OIEA 2003b.

separación de plutonio en instalaciones no declaradas, en ausencia de salvaguardias del OIEA” y subrayando la necesidad de contar con salvaguardias eficaces para impedir la utilización de materiales nucleares con fines prohibidos, en contravención de los [acuerdos de salvaguardias amplias], pedía al Director General que adoptase “todas las medidas necesarias para confirmar que la información suministrada por el Irán sobre sus actividades nucleares anteriores y actuales es correcta y completa, y que resuelva las cuestiones que siguen pendientes” (párrafo 4).

Así pues, es incuestionable que, en un Estado con un acuerdo de salvaguardias amplias, la presencia de materiales, instalaciones o actividades nucleares no declarados que deben declararse al Organismo en virtud del acuerdo de salvaguardias amplias constituye un incumplimiento de las obligaciones contraídas por el Estado de conformidad con el acuerdo.

10.4.2. El Organismo debe, con arreglo a lo dispuesto en un acuerdo de salvaguardias amplias, verificar que, en efecto, las salvaguardias se apliquen a todos los materiales de este tipo

De una simple lectura del documento INFCIRC/153, así como de las decisiones de la Junta de Gobernadores y de la Conferencia General, se desprende que, en virtud de lo dispuesto en el párrafo 2, el Organismo debe verificar no solo la corrección, sino también la exhaustividad de las declaraciones de los Estados relativas a los materiales, instalaciones y actividades nucleares:

- a) INFCIRC/153: Según lo indicado en el párrafo 2 del documento INFCIRC/153, el Organismo tiene el derecho y la obligación de cerciorarse de que las salvaguardias se aplican a “todas” las actividades nucleares con fines pacíficos. En efecto, como se ha señalado, durante el proceso de negociación del documento INFCIRC/153, se propuso limitar la obligación del Organismo a los materiales nucleares notificados por el Estado; esta propuesta fue rechazada y se optó por la palabra “todos”. En ese contexto, la Secretaría señaló que “la omisión deliberada por parte de un Estado de informar al Organismo acerca de sus materiales nucleares también podría interpretarse como una desviación”. La palabra “todos” figura también, por ejemplo, en el párrafo 72 b) (en virtud del cual el Organismo puede efectuar inspecciones ordinarias a fin de “verificar la ubicación, identidad, cantidad y composición de todos los *materiales nucleares* sometidos a salvaguardias”) y en el párrafo 74 b) (en el que se autoriza al Organismo

a efectuar mediciones independientes de “todos los *materiales nucleares* sometidos a salvaguardias”).

El párrafo 76 a), que se refiere a las inspecciones *ad hoc*, prevé específicamente la posibilidad de que el Organismo acceda a lugares que no se hayan indicado en el informe inicial del Estado, siempre y cuando el Organismo también pueda llevar a cabo inspecciones de esa índole en cualquier lugar donde, según una inspección realizada en conexión con el informe inicial, meramente se “indique” que hay materiales nucleares.

Como se ha indicado anteriormente, el párrafo 19 dispone que “si la Junta, después de examinar la información pertinente que le transmita el Director General, llega a la conclusión de que el Organismo no está en condiciones de verificar que no se ha producido ninguna desviación hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos de los *materiales nucleares que tienen que ser sometidos a salvaguardias en virtud del Acuerdo*” (énfasis añadido), “podrá presentar los informes previstos en el párrafo C del artículo XII del Estatuto y podrá, asimismo, adoptar, cuando proceda, las demás medidas que se prevén en dicho párrafo”.²³ La frase “que tienen que ser sometidos a salvaguardias” que se emplea en el párrafo 19²⁴ no es sino una formulación más clara y más explícita del término.

b) Junta y Conferencia General:

- En septiembre de 1991, los Estados Miembros del OIEA, en resoluciones aprobadas por la Junta de Gobernadores²⁵ y por la Conferencia General²⁶, solicitaron al Director General que verificara

²³ El artículo XII.C del Estatuto del OIEA dispone que el Director General transmitirá a la Junta de Gobernadores los incumplimientos observados. Prevé, además, que la Junta “pedirá al Estado o a los Estados beneficiarios que procedan inmediatamente a poner fin a cualquier incumplimiento cuya existencia se compruebe. La Junta pondrá este incumplimiento en conocimiento de todos los miembros, así como del Consejo de Seguridad y de la Asamblea General de las Naciones Unidas”.

²⁴ La misma expresión se utiliza en el párrafo 14, relativo a la no aplicación de las salvaguardias a los materiales nucleares que vayan a utilizarse en actividades con fines no pacíficos. El párrafo 14 prescribe determinados procedimientos “en caso de que el Estado proyecte ejercer su facultad discrecional de utilizar *materiales nucleares que deban estar sometidos a salvaguardias* en virtud del Acuerdo en una actividad nuclear que no exija la aplicación de salvaguardias en virtud del Acuerdo” (énfasis añadido).

²⁵ OIEA 1991a. El proyecto de resolución, presentado por Zaire en nombre del Grupo de África, se aprobó sin someterlo a votación.

²⁶ OIEA 1991b.

la “corrección y exhaustividad del inventario de instalaciones y materiales nucleares de Sudáfrica” en virtud de su Acuerdo de Salvaguardias Amplio recientemente aprobado.

- En febrero de 1992, la Junta, a través de un resumen del Presidente, reafirmó el derecho del OIEA con arreglo a los acuerdos de salvaguardias amplias a cerciorarse de que todos los materiales nucleares en todas las actividades con fines pacíficos están sometidos a salvaguardias²⁷.
- En febrero de 1993, el Director General presentó un informe a la Junta de Gobernadores en el que le comunicaba una anomalía que la Secretaría había descubierto en la RPDC. La anomalía había suscitado dudas sobre la exhaustividad del informe inicial del país relativo a sus materiales nucleares previsto en el Acuerdo de Salvaguardias Amplias. Basándose en el informe del Director General y en la detallada información facilitada en una reunión informativa organizada por la Secretaría, la Junta aprobó una resolución en la que subrayaba la “fundamental importancia de verificar y evaluar la cabalidad” del informe inicial de la RPDC y decidía que el acceso a la información adicional y a los lugares adicionales solicitado por el Director General constituían “pasos indispensables y urgentes para resolver las discrepancias y asegurar la verificación del cumplimiento” por la RPDC de su Acuerdo de Salvaguardias Amplias.²⁸
- En octubre de 1993, en el marco de un nuevo punto del orden del día sobre el fortalecimiento de las salvaguardias, la Conferencia General aprobó una decisión en la que se tomaba conocimiento de las decisiones adoptadas por la Junta a lo largo de los últimos 12 meses con el objetivo de fortalecer las salvaguardias y en la que se instaba a los Estados Miembros a que cooperaran para aplicarlas.²⁹

Todas estas medidas se adoptaron mucho antes de que se anunciara el Programa 93+2 en diciembre de 1993.

En febrero de 1995, el Director General presentó un panorama general de las medidas propuestas para fortalecer el sistema de salvaguardias de manera sistemática e integrada y proporcionó información sobre cada una de ellas, incluidos los costos, los beneficios y la existencia o no de una base jurídica

²⁷ OIEA 1992b, párrs. 48, 83 y 84.

²⁸ OIEA 1993a. El proyecto de resolución se aprobó sin someterlo a votación. El OIEA no ha publicado el informe del Director General ni las actas oficiales de las deliberaciones de la Junta, que se reunió a puerta cerrada.

²⁹ OIEA 1993c.

para que la Secretaría aplicara esa medida o si sería necesario dotarla de autoridad adicional.

Al término de su examen del informe, la Junta de Gobernadores decidió aprobar el resumen del Presidente de las deliberaciones de la Junta, en el que:

[reiteraba] que la finalidad de los acuerdos de salvaguardias amplias, en cuya virtud las salvaguardias se aplican a todos los materiales nucleares presentes en todas las actividades nucleares efectuadas dentro del territorio de un Estado parte en un acuerdo de ese tipo, bajo su jurisdicción o realizadas bajo su control en cualquier lugar, consiste en verificar que esos materiales no se desvíen hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos. Con ese fin, el sistema de salvaguardias destinado a aplicar *acuerdos de salvaguardias amplias debe tener por objeto la verificación por el Organismo de la corrección y la exhaustividad de las declaraciones de los Estados, de modo que exista una garantía verosímil de que los materiales nucleares no se desvíen de las actividades declaradas y de que no existan actividades nucleares no declaradas* (énfasis añadido).

10.4.3. En el cumplimiento de sus obligaciones, el Organismo no limita su acceso a los materiales nucleares o a los lugares declarados

En el cumplimiento de su obligación de verificar la corrección y la exhaustividad de las declaraciones de los Estados con arreglo a lo dispuesto en los acuerdos de salvaguardias amplias, el OIEA no se limita a acceder a la información sobre los materiales nucleares declarada por el Estado, o a los lugares en los que se ha declarado al Organismo la presencia de tales materiales:

- a) INFCIRC/153: Las disposiciones relativas a las inspecciones *ad hoc* establecen el derecho de acceso del Organismo no solo a los materiales nucleares declarados por el Estado, sino también a los lugares donde hay indicios de presencia de materiales nucleares. Se considera que una inspección es especial cuando implica el acceso a información o lugares adicionales además del acceso estipulado para las inspecciones *ad hoc* y ordinarias, aunque no haya indicios de la presencia de materiales nucleares en esos lugares.
- b) Decisiones de la Junta: En la resolución de 25 de febrero de 1993 relativa a la RPDC aprobada por la Junta de Gobernadores (GOV/2636) se decidió que el acceso a la información adicional y a los dos lugares adicionales solicitado por el Director General conforme a las disposiciones relacionadas con las inspecciones especiales constituían “pasos indispensables y urgentes para resolver las discrepancias y asegurar la verificación del cumplimiento

del INFCIRC/403”. Los dos emplazamientos no se habían declarado anteriormente al OIEA. Además, no se había solicitado el acceso a los dos emplazamientos porque hubiera sospechas de la presencia de materiales nucleares no declarados en ellos, sino porque el Organismo necesitaba acceder a ellos para tomar muestras de desechos con miras a determinar si se habían llevado a cabo actividades de reprocesamiento no declaradas en la RPDC y, en caso afirmativo, en qué medida.

10.4.4. Al evaluar la corrección y la exhaustividad de las declaraciones de un Estado, el Organismo está autorizado a utilizar toda la información de que disponga

El Organismo está autorizado a utilizar toda la información de que disponga al evaluar si un Estado ha declarado efectivamente todos los materiales nucleares que tienen que someterse a salvaguardias en virtud de lo dispuesto en su acuerdo de salvaguardias amplias.

- a) INFCIRC/153: En su análisis de 1991 de las inspecciones especiales que figura en el documento GOV/2554, el Director General definió las categorías de información que deberían ponerse a disposición del OIEA, a saber: 1) la información recopilada en el transcurso de las actividades ordinarias de salvaguardias; 2) la información pública, y 3) la información que los Estados Miembros hayan obtenido por medios nacionales.³⁰

En su declaración ante la Junta de 5 de diciembre de 1991, el Director General afirmó que el elemento crucial para fortalecer la capacidad del sistema de salvaguardias de detectar actividades nucleares clandestinas en Estados con un acuerdo de salvaguardias amplias era la información. En una declaración extensa recogida en las actas oficiales de la Junta, añadió:

Si el propio Estado oculta una actividad nuclear, el cuerpo de inspectores debe, como sucedió en el caso del Iraq, disponer de información adicional sobre dónde debería buscar. Ningún cuerpo de inspectores puede “recorrer todo el territorio de un Estado en una búsqueda a ciegas de instalaciones nucleares no declaradas”. Por estos motivos, señaló, debía introducirse una modificación fundamental en las prácticas del Organismo, tanto para hacer un mayor uso de la información al respecto que ya obraba en posesión del Organismo como para estar preparados para aceptar información examinada de manera crítica que podría facilitar al Organismo una fuente externa. Se ha dicho que el Organismo debería tener en cuenta únicamente la información

³⁰ OIEA 1991c.

transmitida a través de canales oficiales y que otra información (ya proviniera de los medios de comunicación o de los servicios nacionales de inteligencia) era cuestionable. A juicio del Director General, toda la información, oficial o no oficial, debía examinarse de forma crítica. El Director General reconoció el riesgo de que pudiera facilitarse información por motivos ulteriores, y sería un error fiarse de ella. No obstante, más grave sería negarse a aceptar cualquier otra información. Eso no significa que, a raíz de esa información, hubiera que pedir automáticamente explicaciones a los Estados en cuestión. La información debería evaluarse detenidamente y con espíritu crítico, y correspondería al Director General decidir si aceptaba o rechazaba la sugerencia de que la información amerita una inspección especial.³¹

Conviene señalar que el artículo VIII.A prevé que los Estados Miembros pongan a disposición del Organismo toda información que a su juicio pueda ser de utilidad para este.

b) Decisiones de la Junta:

El ejemplo más arquetípico de un caso en que la Junta concedió su aprobación implícita para el uso por el Organismo de la información proporcionada por un Estado Miembro que no fuera el Estado sometido a salvaguardias es el de la RPDC en febrero de 1993. Sobre la base del informe del Director General, la Junta aprobó, sin someterla a votación, una resolución en la que decidía que el acceso a información adicional y a lugares adicionales en condiciones de una inspección especial constituían “pasos indispensables y urgentes”. El Director General expresó claramente que, si bien el Organismo había descubierto la anomalía gracias a sus propias actividades de verificación, se había valido de imágenes satelitales obtenidas por “medios técnicos nacionales” para identificar los lugares respecto de los cuales consideraba que sería útil obtener acceso para ayudar a resolver las cuestiones pendientes relacionadas con los materiales nucleares no declarados por la RPDC.

Conviene recordar también que el motivo por el que el Organismo trató de obtener acceso a los lugares en cuestión no era porque creyera que había materiales nucleares no declarados en esos lugares, sino porque el acceso para tomar muestras de los desechos almacenados en esos lugares ayudaría a esclarecer la anomalía.

³¹ OIEA 1992c; OIEA 1992d, párrs. 131 y 132.

10.4.5. Verificar la exhaustividad de las declaraciones de un Estado es un derecho y una obligación del Organismo dimanantes de los acuerdos de salvaguardias amplias

El hecho de que la Junta adoptara decisiones en las que solicitaba al Organismo que verificara la exhaustividad de las declaraciones mucho antes de que el OIEA contemplara siquiera la posibilidad de dotarse de autoridad legal adicional demuestra el reconocimiento de que la obligación del Organismo de verificar la exhaustividad de las declaraciones de un Estado emana del propio acuerdo de salvaguardias amplias, y no depende de que exista un protocolo adicional. Si bien el OIEA busca indicios de materiales y actividades nucleares no declarados en todos los Estados con un acuerdo de salvaguardias amplias, opta por una política de no informar de la ausencia de materiales nucleares no declarados en un Estado sin las garantías adicionales que ofrecen las medidas enunciadas en un protocolo adicional.

En muchas ediciones del *Informe sobre la Aplicación de las Salvaguardias*, que se edita cada año, y en otras publicaciones del Organismo se señala que el protocolo adicional pone a nuestro alcance instrumentos adicionales para desempeñar esa labor mejor y de manera más rutinaria. La Junta nunca ha puesto en entredicho esa idea.

10.5. RESUMEN

Resulta sencillamente falso afirmar, como han hecho recientemente algunos Estados, que los ejemplos de decisiones de la Junta y de la Conferencia General no son pertinentes para la cuestión de la autoridad que confieren al OIEA los acuerdos de salvaguardias amplias, ya sea porque estaban relacionados con la aplicación de salvaguardias en Estados concretos o porque la aceptación del resumen de un Presidente no constituye una decisión formal.³² Los Acuerdos de Salvaguardias de Sudáfrica y de la RPDC son, como todos los acuerdos de salvaguardias amplias, sustancialmente idénticos. Además, en muchas ocasiones la Junta ha adoptado decisiones a través del mecanismo del resumen del Presidente de las deliberaciones de la Junta, incluidas decisiones sobre temas tan

³² OIEA 2014, párrs. 25 a 160.

delicados como, por ejemplo, el del incumplimiento. Así fue en los casos del Iraq y Rumania.³³

Es también falso sostener que la obligación del OIEA de verificar la exhaustividad de las declaraciones, con arreglo a lo dispuesto en el acuerdo de salvaguardias amplias, emana exclusivamente del protocolo adicional. La insistencia de los Estados Miembros para que el OIEA ofrezca garantías acerca de la ausencia de materiales y actividades nucleares no declarados en virtud de esos acuerdos —y, en efecto, las decisiones de la Junta y de la Conferencia General que confirman la autoridad del OIEA para hacerlo— es anterior a que se contemplara siquiera la posibilidad de dotar al Organismo de nueva autoridad legal.

Algunos Estados cuestionan la necesidad de un protocolo adicional dado que el OIEA ya tiene derecho a verificar la exhaustividad de las declaraciones de un Estado en virtud de un acuerdo de salvaguardias amplias. La respuesta es muy sencilla: el derecho y la obligación del OIEA de verificar la corrección y la exhaustividad de las declaraciones dimanan de los acuerdos de salvaguardias amplias, pero los instrumentos que se ofrecen en tales acuerdos son limitados, como las inspecciones especiales. Un protocolo adicional garantiza al OIEA un acceso más amplio a la información y a los lugares de manera más rutinaria, previsible y fiable. Ello permite al Organismo detectar indicios de materiales y actividades nucleares no declarados más temprano y de manera más eficaz de lo que lo haría sin un protocolo.

Otro desafío al que ha tenido que hacer frente la autoridad del OIEA para verificar la ausencia de materiales y actividades nucleares no declarados en un Estado es la imposibilidad de probar algo negativo. En uno de sus informes a la Junta sobre el Programa 93+2, Hans Blix reconoció que “[n]ingún sistema de salvaguardias, por exhaustivas que sean las medidas que contemple, puede ofrecer garantías absolutas de que no se ha producido desviación alguna de materiales nucleares o de que no existan actividades nucleares no declaradas en un Estado”.³⁴ El OIEA insistió en esta cuestión en 2003 en sus informes al Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas sobre el Iraq, en los que reconoce

³³ En julio y septiembre de 1991, la Junta determinó que el hecho de que el Iraq no hubiera declarado materiales e instalaciones nucleares relacionados con sus programas clandestinos de enriquecimiento de uranio y de separación de plutonio constituía un incumplimiento de su Acuerdo de Salvaguardias Amplias y solicitó al Director General que notificara este asunto al Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas. La primera decisión se adoptó mediante una resolución, y la segunda, por medio del mecanismo de aprobación por consenso del resumen del Presidente de las deliberaciones de la Junta. OIEA 1991d, e.

³⁴ OIEA 1995, anexo 1, párr. 15.

que es imposible probar algo negativo, incluso con la autoridad que le confieren las resoluciones del Consejo de Seguridad.³⁵

Con todo, el OIEA puede buscar indicios de actividades no declaradas. En el caso del Iraq en 2003, tras haber buscado esos indicios y no haber encontrado ninguno, el Organismo pudo concluir con un alto grado de confianza que el Iraq no había reanudado su programa de armas nucleares. El OIEA resultó estar en lo cierto.

Algunos críticos sostienen que, si bien el OIEA tiene derecho a hacer un seguimiento de los indicios de materiales y actividades nucleares no declarados, no lo tiene a buscar esos indicios. Una vez más, ese argumento es falso. Si no buscamos algo, es probable que no lo encontremos. ¿Acaso quienes critican las gestiones encaminadas a verificar la exhaustividad de las declaraciones concluirían que el OIEA no debería siquiera intentar determinar si existen tales indicios? Blix se pronunció al respecto en 1995, poniendo como ejemplo a una persona “que busca cerca de una farola encendida una llave que perdió y que, cuando le preguntan si tiene la certeza de haberla perdido allí, responde: ‘No, pero es más fácil buscarla aquí’”.³⁶

Como señalé en una publicación que he citado anteriormente, la repercusión práctica más inmediata de admitir esa reinterpretación sería que un Estado que ha concertado un acuerdo de salvaguardias amplias pero no un protocolo adicional tenga la capacidad para impedir que el OIEA investigue indicios de materiales y actividades nucleares no declarados en ese Estado. Si esa reinterpretación no se aborda de manera directa y se rechaza explícitamente, las salvaguardias podrían sufrir un retorno al enfoque en materia de verificación anterior a 1991, que ponía el acento, principalmente, en los materiales nucleares declarados, motivo por el cual el OIEA no logró detectar el programa nuclear no declarado del Iraq. Todas las partes deben comprender qué se ha alcanzado en lo que respecta al fortalecimiento de las salvaguardias para que no sea necesario reinventar esos logros.

³⁵ “Es importante subrayar que el proceso de verificación tiene siempre cierto margen de error, y que no se pueden ofrecer garantías absolutas de que no existan actividades nucleares en pequeña escala, como ejercicios de simulación en computadoras personales o trabajos de laboratorio llevados a cabo por algunos científicos (o, en efecto, la adquisición directa por un Estado de material nuclear apto para la fabricación de armas). [...] No obstante, un sistema de inspección intrusivo [como el que lleva a cabo el OIEA en el Iraq] puede reducir al mínimo los riesgos de que se produzcan actividades prohibidas sin detectar y disuadir, ante el riesgo de una detección temprana, de la reanudación de un programa de armas nucleares”. Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, 2003 (documento en que figura el programa de trabajo del OIEA en el Iraq con arreglo a la resolución 1284 del Consejo de Seguridad).

³⁶ OIEA 1995, anexo 3, párr. 49.

REFERENCIAS

- Albright D, Heinonen O, Kirtzie O (2012) Understanding the IAEA's Mandate in Iran: Avoiding Misinterpretations. https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/Misinterpreting_the_IAEA_27Nov2012.pdf. Accessed 14 September 2021
- Findlay T (2015) Proliferation Alert! The IAEA and Non-Compliance Reporting. <https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/proliferationalert-web.pdf>. Accessed 14 September 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1972) *Estructura y Contenido de los Acuerdos entre los Estados y el Organismo Requeridos en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares*, INFCIRC/153.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1974) *Texto Estándar de los Acuerdos de Salvaguardia en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares*, GOV/INF/276, Anexo A.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1991a) *Salvaguardias: Proyecto de Resolución Presentado por Egipto, Marruecos, Nigeria y Túnez en Representación del Grupo Africano*, GOV/2547/Rev.1.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1991b) *Capacidades nucleares de Sudáfrica*, GC(XXXV)/RES/567.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1991c) *Fortalecimiento de las Salvaguardias del Organismo: Suministro y Utilización de Información sobre el Diseño*, GOV/2554.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1991d) *Incumplimiento por parte del Iraq de sus Obligaciones de Salvaguardias*, GC(XXXV)/978.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1991e) *Incumplimiento por parte del Iraq de sus Obligaciones de Salvaguardias*, GC(XXXV)/978/Add.1.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1991f) *Informe del Director General sobre el No Cumplimiento por el Iraq de sus Obligaciones en virtud del Acuerdo de Salvaguardias Concertado con el Organismo*, GOV/2530.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1991g) *Incumplimiento por parte del Iraq de sus Obligaciones de Salvaguardias*, GOV/2532.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1991h) Acta de la 763a Sesión, GOV/OR.763.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1992a) Acta de la 783a Sesión, GOV/OR.783.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1992b) Acta de la 776a Sesión, GOV/OR.776.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1992c) *Extractos de las Declaraciones Hechas por el Director General en relación con el Punto del Orden del Día Titulado "Fortalecimiento de las Salvaguardias del Organismo" en la Reunión de la Junta de Diciembre de 1991*, GOV/INF/646, Anexo 1.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1992d) *Acta de la 768ª Sesión*, GOV/OR.768.

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1993a) *Informe sobre la Puesta en Práctica del Acuerdo Concertado entre el Organismo y la República Popular Democrática de Corea para la Aplicación de Salvaguardias en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares*, GOV/2636.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1993b) *Informe del Director General sobre la Aplicación de la Resolución Aprobada por la Junta el 25 de febrero de 1993 (GOV/2636) y del Acuerdo Concertado entre el Organismo y la República Popular Democrática de Corea para la Aplicación de Salvaguardias en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (INFCIRC/403)*, GOV/2645.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1993c) *Fortalecimiento de la eficacia y aumento de la eficiencia del sistema de salvaguardias*, GC(XXXVII)/RES/619.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1995) *Fortalecimiento de la Eficacia y Aumento de la Eficiencia del Sistema de Salvaguardias: Informe del Director General a la Conferencia General*, GC(39)/17.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1997) *Modelo de Protocolo Adicional a(l) (a los) Acuerdo(s) entre el (los) Estado(s) y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias*, INFCIRC/540 (Corregido).
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2003a) *Aplicación del Acuerdo de Salvaguardias en relación con el TNP en la República Islámica del Irán*, GOV/2003/69.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2003b) *Aplicación del Acuerdo de Salvaguardias en relación con el TNP en la República Islámica del Irán: Informe del Director General*, GOV/2003/40.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2014) *Comisión Plenaria: Acta de la Séptima Sesión*, GC(57)/COM.5/OR.7.
- International Energy Associates Ltd (1984) *Review of the Negotiating History of the IAEA Safeguards Document*, INFCIRC/153, US Arms Control and Disarmament Agency.
- Rockwood L (2014) *The IAEA's State-Level Concept and the Law of Unintended Consequences*, *Arms Control Today* 44:25–30.
- Rockwood L, Johnson L (2015) *Verification of Correctness and Completeness in the Implementation of IAEA Safeguards: The Law and Practice*. In: Black-Branch J, Fleck D (eds) *Nuclear Non-Proliferation in International Law, Volume II: Verification and Compliance*, Springer/TM Asser Press, Heidelberg/New York.
- Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas (2003) *Carta de fecha 19 de marzo de 2003 dirigida al Presidente del Consejo de Seguridad por el Secretario General*, S/2003/342.

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

11. SALVAGUARDIAS PARA EL FUTURO

Trevor Findlay

Resumen Las salvaguardias han evolucionado como consecuencia de las nuevas circunstancias, instituciones, tecnologías y prácticas, incluidos los fenómenos culturales. El presente capítulo examina las salvaguardias desde una perspectiva histórica como resultado de un proceso político que dio lugar a la negociación de instrumentos de salvaguardia. En particular, trata de las salvaguardias del OIEA desde una perspectiva según la cual adaptar el marco jurídico de las salvaguardias es necesario y, a menudo, difícil. Solo se producirán cambios de importancia mediante un proceso político, y no jurídico, en el que participen los Estados Miembros del OIEA. Facilitarán esos cambios se facilitarán la función que desempeña la Secretaría del OIEA en el fortalecimiento de la aplicación de las salvaguardias, ejerciendo las facultades y responsabilidades que le han sido conferidas; el avance de las tecnologías y las técnicas entendido como elemento esencial de este proceso; y los aspectos no tecnológicos de las salvaguardias, en particular el componente humano.

Palabras clave Acuerdos de salvaguardias amplias • Capacitación en salvaguardias • Estatuto del OIEA • Protocolo adicional • Protocolo sobre pequeñas cantidades • Sistema de salvaguardias del OIEA • Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP)

11.1. INTRODUCCIÓN

El sistema de salvaguardias nucleares que gestiona el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) es uno de los logros más importantes del derecho internacional. Concebidas para impedir, mediante la detección temprana, la desviación hacia fines militares de materiales nucleares adscritos a fines pacíficos, las salvaguardias nucleares son un intento sin parangón de prevenir la proliferación de armas nucleares hacia los Estados que no las poseen. Con su sistema de salvaguardias, el OIEA ha sido pionero en la inspección *in situ* internacional de carácter intrusivo, la supervisión y la presentación de informes, que posteriormente se han replicado en otros ámbitos.

Las salvaguardias son, por supuesto, el resultado de un proceso político que culmina en la negociación del derecho convencional, con todas las imperfecciones que generan las soluciones de avenencia, la ambigüedad creativa y las limitaciones materiales. Las salvaguardias nucleares también se resienten, al

igual que la mayoría de las disposiciones jurídicas, del paso del tiempo, dado que surgen nuevas circunstancias, instituciones, tecnologías y prácticas, incluso fenómenos culturales, que no se habían previsto. La adaptación es necesaria y a menudo difícil. El presente capítulo examina las salvaguardias nucleares del Organismo desde esta perspectiva, teniendo en cuenta que solo se producirán cambios de importancia a través de un proceso político, y no jurídico, en el que participen los Estados Miembros del OIEA. Entretanto, la Secretaría del OIEA puede, y debe, reforzar la aplicación de las salvaguardias ejerciendo el amplio abanico de facultades y responsabilidades que le han sido conferidas. Si bien el avance de las tecnologías y técnicas es un elemento esencial de este proceso, el presente capítulo se centra en los aspectos no tecnológicos de las salvaguardias, en particular en el componente humano.

11.2. LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS SALVAGUARDIAS DEL OIEA

Las salvaguardias nucleares se apoyan en dos pilares jurídicos internacionales básicos: el Estatuto del OIEA de 1957 y el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) de 1968.¹ En virtud de su Estatuto, corresponde al OIEA “establecer y aplicar salvaguardias destinadas a asegurar que los materiales fisionables especiales y otros, así como los servicios, equipo, instalaciones e información” no sean utilizados “de modo que contribuyan a fines militares”.² Las salvaguardias pueden aplicarse tanto a los materiales y actividades del OIEA como a los arreglos bilaterales o multilaterales a solicitud de las partes. De conformidad con el artículo III del TNP, los Estados Miembros del OIEA acordaron un sistema de acuerdos de salvaguardias amplias (ASA) de cumplimiento obligatorio y jurídicamente vinculantes aplicables a los Estados no poseedores de armas nucleares (ENPAN) que son Partes en el Tratado.³ Antes del TNP, solo se aplicaban, voluntariamente, salvaguardias específicas a cantidades concretas de material nuclear o instalaciones nucleares.⁴ A partir de la entrada en vigor del TNP, los ASA pasarían a comprender todos los materiales e instalaciones nucleares declarados de un Estado. Para ayudar a disipar las preocupaciones de que los Estados poseedores de armas nucleares (EPAN) que son Partes en el TNP fueran sometidos a restricciones en sus industrias nucleares asignadas a fines pacíficos, se negociaron acuerdos de ofrecimiento voluntario

¹ OIEA 1989; Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares, abierto a la firma el 1 de julio de 1968, en vigor desde el 5 de marzo de 1970 (TNP).

² OIEA 1989, artículo III.5.

³ OIEA 1972.

⁴ OIEA 1965 (en su versión prorrogada provisionalmente en 1966 y en 1968).

que imponen salvaguardias de alcance limitado a cada uno de esos Estados.⁵ Además, se ha negociado una serie de tratados regionales sobre zonas libres de armas nucleares que obligan a los Estados partes a adoptar las salvaguardias nucleares del OIEA. En el caso de los ENPAN con escaso o ningún material nuclear, en 1971 se aprobó un protocolo sobre pequeñas cantidades (PPC) en relación con los ASA, que permite a los Estados suspender indefinidamente la aplicación de la mayoría de sus obligaciones de salvaguardias.⁶

Cuando se descubrió en 1991 la violación por el Iraq de su Acuerdo de Salvaguardias y del TNP (se había construido una instalación nuclear no declarada además de la declarada por el país), se produjo una “revolución” en las salvaguardias del OIEA, cuyas repercusiones siguen manifestándose hasta el día de hoy. Aquello llevó al OIEA a reformar el sistema a través de dos procesos jurídicos: la definición y el uso de las facultades jurídicas con las que ya contaba, pero que no se aprovechaban al máximo; y la negociación de una adición voluntaria a los ASA que vino a denominarse protocolo adicional.⁷ El protocolo adicional, que los Estados comenzaron a adoptar a partir de 1997, obliga a los Estados a proporcionar mayor información sobre sus actividades y existencias nucleares. También concede al Organismo mayores facultades de recopilación de datos e inspección, en particular el acceso complementario a lugares de interés.

11.3. LA BÚSQUEDA DE LA UNIVERSALIDAD

Desde el punto de vista jurídico, uno de los desafíos constantes es inducir a todos los ENPAN que son Partes en el TNP a poner en vigor un ASA. Ninguno de los Estados que actualmente no tienen un ASA en vigor tiene capacidades ni ambiciones nucleares conocidas y, a excepción de Somalia, todos son pequeños países en desarrollo.⁸ Sin embargo, siguen sin cumplir con el TNP. Muchos Estados con escasa o nula actividad nuclear, a la vez que han concertado un ASA, han adoptado también un PPC, que deja en suspenso la mayoría de los requisitos de presentación de informes y verificación contemplados en el ASA. En la actualidad esto se considera poco mejor que no tener un ASA.

En 2005, se introdujo un PPC modificado que aumenta el número de obligaciones de salvaguardias que un Estado con un PPC está obligado a

⁵ <https://www.iaea.org/topics/safeguards-legal-framework/more-on-safeguards-agreements>. Consultado el 30 de septiembre de 2021.

⁶ *Ibid.*

⁷ IAEA 1997.

⁸ OIEA 2021a.

cumplir, aunque no haya adquirido aún capacidades nucleares considerables.⁹ Se trata de la presentación de informes periódicos, la pronta notificación de la intención de construir una instalación nuclear (en lugar del aviso con 180 días de antelación a la entrada de material nuclear en la instalación) y la posibilidad de realizar inspecciones *ad hoc* y especiales. El nuevo PPC contribuye de manera significativa a colmar una laguna jurídica, ya que, en virtud del acuerdo anterior, los Estados podían eludir las salvaguardias hasta que estuvieran ya muy avanzados en el proceso de adquisición de grandes cantidades de material nuclear y hubieran construido una instalación nuclear. Los Estados con un PPC se han ido inclinando cada vez más por la nueva versión. No obstante, entre los 31 que aún no han adoptado esta nueva versión se encuentran los Estados, de importancia no menor, de la Arabia Saudita, Kirguistán, Mongolia, Myanmar, Namibia, Sierra Leona, Suriname y Zambia.¹⁰ El Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, escribió a los 31 Estados en septiembre de 2020 para solicitarles que adoptaran un PPC enmendado y advertirles que el OIEA tenía cada vez menos posibilidades de extraer una conclusión anual de salvaguardias creíble y bien fundamentada respecto de esos Estados.¹¹ Hasta ahora Maldivas y el Sudán son los únicos dos Estados que han atendido a su llamamiento.¹² Pero, además, tres Estados, a saber, Lituania, la República Árabe Siria y los Emiratos Árabes Unidos, han indicado que desean rescindir completamente sus PPC.

Un desafío aún más formidable es lograr la universalidad del protocolo adicional. Desde 1997 ha aumentado de manera constante, aunque a un ritmo lento, el número de Estados que han adoptado un protocolo adicional, y 137 Estados, además de la Euratom, tienen un protocolo adicional en vigor. No obstante, casi un cuarto de siglo después de que se abriera a la firma y, a pesar de que se hable del protocolo adicional como la “regla de oro” de las salvaguardias, todavía quedan varios casos atípicos importantes, con infraestructura nuclear ya existente (la Argentina, el Brasil, la República Democrática de Corea (RPDC) y la República Árabe Siria) o que tienen planes de adquirirla (Egipto, Malasia y la Arabia Saudita).¹³ La República Islámica del Irán es un caso especial, ya que ha acordado voluntariamente aplicar su Protocolo Adicional sin adoptarlo de manera oficial (aunque en la actualidad no cumple íntegramente con todos los aspectos).¹⁴ La Argentina y el Brasil, que tienen un

⁹ OIEA 2006.

¹⁰ OIEA 2021a.

¹¹ <https://www.iaea.org/newscenter/pressereleases/iaea-director-general-steps-up-efforts-to-strengthen-safeguards-implementation>. Consultado el 30 de septiembre de 2021.

¹² OIEA 2021b.

¹³ OIEA 2021c.

¹⁴ <https://www.iaea.org/iaea-director-generals-introductory-statement-to-the-board-of-governors-7-june-2021>. Consultado el 15 de junio de 2021.

acuerdo bilateral de salvaguardias y un órgano de verificación específico, la Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC),¹⁵ alegan circunstancias especiales, aunque eso no los exime de su obligación, como miembros responsables de la comunidad internacional, de predicar con el ejemplo.

En 2001 la Secretaría adoptó un plan de acción para convencer a más Estados de que asumieran sus obligaciones de salvaguardias, el cual se ha prorrogado de manera periódica, más recientemente en 2018.¹⁶ En 2019 el Auditor Externo del OIEA encomió a la Secretaría por los notables avances realizados y el aumento de los esfuerzos de divulgación, pero no pudo ofrecer más sugerencias acerca de cómo proceder que “proseguir”.¹⁷ Los Estados que no son miembros del OIEA, que no mantienen relaciones a nivel de trabajo con el personal del OIEA y tienen escasa o nula experiencia en relación con las actividades que debe realizar el OIEA, suponen un desafío particular. En el pasado, gracias a los talleres regionales, se ha logrado convencer a algunos Estados de que actuaran pero, conforme disminuye el número de participantes, estos eventos pueden herir el amor propio de los Estados reticentes (a menudo, el problema es la falta de comprensión o de capacidad), y se necesita un enfoque que se ajuste más a las necesidades de cada Estado, aunque exija muchos recursos, en el que se mantenga contacto personal con las autoridades nacionales pertinentes. La influencia de la Secretaría del OIEA es, por supuesto, limitada. Los Estados Miembros comprometidos, el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas y el Grupo de Suministradores Nucleares (GSN) deberían sumarse a esta empresa.

11.4. FORTALECIMIENTO DE LAS SALVAGUARDIAS

El sistema de salvaguardias ha sido un trabajo en curso desde su creación, no solo mediante la aprobación de nuevos instrumentos jurídicos, sino también mediante la modificación de los procesos y prácticas por la Secretaría del OIEA. La Junta de Gobernadores ha dado su aprobación o su aquiescencia específicas a algunos de estos instrumentos, procesos y prácticas, mientras que otros correspondían al mandato de la Secretaría de establecer y gestionar el sistema de salvaguardias. Una conjunción de diversos factores ejerce presión sobre el OIEA para que mejore la eficacia y la eficiencia de las salvaguardias. Uno de estos factores es la característica general de todos los regímenes de control

¹⁵ Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC): Verificando el uso pacífico de la energía nuclear en Argentina y Brasil.

¹⁶ OIEA 2020a.

¹⁷ OIEA 2020b.

de armamentos y verificación del desarme: la verificación del cumplimiento al 100 % es inalcanzable sin cierto grado de intrusión y a determinado costo que todos los Estados considerarían inaceptables. En cambio, ciñéndose a estas limitaciones, la verificación debe aportar un nivel aceptable de garantía del cumplimiento y confianza al respecto, y de que las infracciones se detectarán con la suficiente antelación para que la comunidad internacional pueda adoptar medidas para hacerles frente.

Un segundo factor que impulsa especialmente la búsqueda de mayor eficiencia es el creciente número de Estados con salvaguardias y de materiales nucleares e instalaciones sometidos a estas, en un tiempo en que las constantes limitaciones presupuestarias no dan señales de estar cediendo. Asimismo, los nuevos tipos de instalaciones exigen salvaguardias: las nuevas tecnologías de generación de electricidad (como los reactores pequeños y medianos, los reactores flotantes, los reactores reproductores rápidos y los reactores de fusión); las instalaciones de almacenamiento de desechos radiactivos de actividad alta y de combustible gastado; las centrales clausuradas, y las posibles nuevas tecnologías de enriquecimiento y reprocesamiento (como las tecnologías láser y de piroprocesamiento). También se solicita al OIEA periódicamente (y aleatoriamente) que asuma importantes tareas de verificación adicionales en el marco de acuerdos *ad hoc*, como en los casos del Iraq, la RPDC y la República Islámica del Irán. A raíz de estos episodios, se desvía personal y recursos fundamentales de sus funciones habituales, en ocasiones sin la adecuada financiación compensatoria.

Un tercer factor es la presión que, al igual que en todas las organizaciones del sistema de las Naciones Unidas, ejercen sobre la Secretaría los Estados Miembros que afrontan dificultades financieras para que adopte prácticas óptimas de gestión, entre ellas, la planificación estratégica y la mejora de la contratación, la capacitación, el presupuesto y las finanzas. Esto se aplica tanto al Departamento de Salvaguardias como a cualquier otra sección del Organismo.

Si bien el constante afán por reforzar la aplicación de salvaguardias supone endurecer gradualmente las restricciones a los Estados Miembros, en la práctica, algunas mejoras de las salvaguardias han dado lugar a una reducción de la carga que suponen las salvaguardias para los Estados que cumplen plenamente con sus obligaciones. Este ha sido el caso de las “salvaguardias integradas”, adoptadas tras el advenimiento del protocolo adicional. Para un Estado que cumple plenamente sus obligaciones, ello racionaliza las actividades de salvaguardias duplicadas que le han sido impuestas a lo largo de los años, lo cual se traduce en un acuerdo de salvaguardias con el OIEA simplificado, específico y más eficaz y eficiente. Por este motivo, deberían introducirse mejoras adicionales a las salvaguardias a fin de hacer partícipes a todos los Estados Miembros.

Periódicamente, ha habido peticiones de que se negociaran documentos legales adicionales para mejorar las salvaguardias, en ocasiones denominados “protocolos adicionales plus”. La última iniciativa de la Junta de Gobernadores, el Comité Asesor sobre Salvaguardias y Verificación en el marco del Estatuto del OIEA (Comité 25), creado en 2004, poco logró en este sentido (así como en cualquier otro) y se disolvió en 2007. No solo hubo división de opiniones entre los miembros del Comité 25 con respecto a la cuestión de si se justificaban nuevas medidas, sino que los Estados partidarios firmes de esas medidas no lograron formular ideas viables. Transcurrida casi una década y media, podría argumentarse que ha llegado el momento de volver a considerar esa iniciativa. Sin embargo, una de las cuestiones que hizo fracasar al Comité, el caso de incumplimiento por parte de la República Islámica del Irán, sigue pendiente y podría echar por tierra una nueva iniciativa de la Junta, al menos hasta que se decida el destino del Plan de Acción Integral Conjunto (PAIC) de 2015.

El Grupo Asesor Permanente sobre Aplicación de Salvaguardias (SAGSI), creado en 1975, ha realizado importantes contribuciones a la reforma de las salvaguardias. Ahora bien, las recomendaciones del SAGSI solo están dirigidas al Director General, sus miembros (designados por el Director General) proceden de un número reducido de Estados Miembros (en su mayoría, Embajadores retirados o personal superior de salvaguardias) y el Grupo no actúa de manera transparente. Sus informes no se hacen públicos y ni siquiera se publica su orden del día. Podría decirse que el SAGSI no ha formulado recomendaciones innovadoras desde que contribuyó a conceptualizar el protocolo adicional. El SAGSI podría transformarse en un órgano más dinámico, creativo y abierto si aumentara su número de miembros, solicitara aportaciones de contribuyentes externos y publicara sus resultados.

Durante las reuniones del Comité 25, la Secretaría propuso numerosas ideas para fortalecer las actividades de salvaguardias existentes, en lugar de instar a la creación de nuevas autoridades, lo que indica que veía suficientes posibilidades de mejora sin necesidad de recursos jurídicos.¹⁸ Desde entonces, el Departamento de Salvaguardias ha avanzado por iniciativa propia en la búsqueda de una mayor eficacia y eficiencia en los ámbitos que entran dentro de su competencia, en particular en lo relativo a la planificación estratégica, la gestión, la tecnología (especialmente la TI) y el desarrollo del personal.

¹⁸ Boureston y Ferguson 2005.

11.5. GESTIÓN DE LAS SALVAGUARDIAS

El Departamento de Salvaguardias está integrado en una organización internacional que sigue el formato de las Naciones Unidas y que determina su jerarquía y procedimientos burocráticos, sus normas de contratación y nombramiento del personal, sus disposiciones en materia de financiación y, por último, pero no por ello menos importante, su cultura institucional. No obstante, dentro de los límites impuestos, en los últimos años el Departamento ha realizado valerosos esfuerzos por mejorar la gestión de las salvaguardias. Han quedado atrás los días en que los informes de los inspectores se escribían en trozos de papel que tal vez se leían o tal vez no y que se archivaban con indiferencia. También han quedado atrás los días en que los Estados Miembros designaban candidatos para su contratación automática y la capacitación era mínima, y lo que es más importante, ha quedado atrás la mentalidad centrada en la contabilidad y la atención que se prestaba a los materiales e instalaciones declarados que permeaban la cultura de salvaguardias en los primeros tiempos.

En la actualidad, el Departamento está mejor gestionado que nunca, gracias, en parte, a las reformas que abarcan todo el OIEA, como la aplicación del enfoque de gestión basada en los resultados a la planificación, la supervisión y la presentación de informes de los programas. Según los informes, más de una década después de su implantación, el Sistema de Información de Apoyo a los Programas a nivel del Organismo (AIPS) sigue generando aumentos en términos de eficiencia gracias a la automatización de los procesos.¹⁹ La gestión financiera ha mejorado con la adopción en 2011 de las Normas Internacionales de Contabilidad del Sector Público (IPSAS) en todo el sistema de las Naciones Unidas, que “proporcionan más información sobre el activo, el pasivo, los ingresos y los gastos reales del Organismo”.²⁰ De acuerdo con los informes de la Secretaría, “aún es necesario perfeccionar, ajustar, mejorar y reforzar” tanto el AIPS como las IPSAS.²¹ En la actualidad se está “llevando a la práctica” un marco de rendición de cuentas en todo el Organismo.²²

El Departamento de Salvaguardias, además, ha adoptado sus propias medidas para lograr una mayor eficacia y eficiencia. Una iniciativa pionera, no solo desde el punto de vista organizativo, sino también en lo que respecta al fondo, es su Plan Estratégico a Largo Plazo (2012-2023), el único de su tipo en el Organismo.²³ Redactado internamente tras mantener consultas con el

¹⁹ OIEA 2019b.

²⁰ OIEA 2020d, pág. 141.

²¹ IAEA 2019b, p. 142.

²² OIEA 2020c, pág. 19.

²³ OIEA 2011, pág. 2.

personal, este plan expone una visión para el Departamento y, sistemáticamente, trata de identificar los futuros desafíos en materia de no proliferación. Aunque solo se ha dado a conocer públicamente su versión resumida, el documento es revelador. Señala que el OIEA debería aspirar a ser “el principal organismo internacional de verificación nuclear” y granjearse “la confianza y el apoyo de la comunidad internacional”.²⁴ También hace hincapié en la necesidad de hacer mejoras constantes a las salvaguardias y de proceder con eficacia y eficiencia. Entre las cuestiones de fondo, cabe destacar la advertencia novedosa de que es “fundamental [...] detectar y notificar de manera precoz todo *posible* [énfasis añadido] uso indebido de materiales y actividades nucleares”.²⁵ Tradicionalmente, las salvaguardias se basaban en el supuesto de que solo podían detectarse *a posteriori* las actividades que fueran motivo de preocupación.

Se pretende que el Plan Estratégico a Largo Plazo sea un documento dinámico que se revise y actualice cada dos años y la última vez que se ha hecho esto ha sido en 2018. Desafortunadamente, no se dispone de una versión pública del documento revisado, ni siquiera en forma resumida. El Departamento debería hacer que se haga público al menos un resumen para no dejar de garantizar su orientación estratégica. Como parte de su planificación estratégica, el Departamento también elabora con carácter bienal un Programa de Apoyo al Desarrollo y la Aplicación de la Verificación Nuclear y ha formulado el Plan de Investigación y Desarrollo a Largo Plazo 2012-2023, ambos a disposición del público.²⁶

Otra tendencia positiva en la mejora de la gestión de las salvaguardias es el sistema de gestión de la calidad (SGC) del Departamento, que funciona desde 2004.²⁷ En agosto de 2018, el Director General Adjunto (DDG), Jefe del Departamento de Salvaguardias, Massimo Aparo, publicó la versión más reciente de la política de calidad del Departamento, cuya primera versión data de 2004, con la siguiente advertencia: “[l]a calidad consiste en generar confianza en nuestras conclusiones de salvaguardias”.²⁸ Los principios de gestión de la calidad del Departamento, fundamentalmente los mismos que se establecieron en 2004, son: liderazgo; participación de las personas; enfoque de procesos; toma de decisiones con base científica; mejora (aunque por algún motivo ya no “continua” como en la versión de 2004); orientación al cliente, y gestión de las

²⁴ Esto no es tan ambicioso como parece, ya que actualmente solo existe otra, la Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (OTPCE), y aún se encuentra en la fase preparatoria.

²⁵ IAEA 2011, p. 4.

²⁶ OIEA 2020d, 2013

²⁷ IAEA 2019b, p. 130.

²⁸ IAEA 2020d, p. 96.

relaciones. Se especificaron dos objetivos relacionados con la calidad en apoyo de la política: “[p]romover una cultura de la calidad y fomentar la asunción de responsabilidades y la rendición de cuentas en relación con la calidad” y “[a]plicar nuestra política de calidad y seguir nuestros principios de gestión de la calidad en nuestra forma de trabajar”.

A pesar de estas dignas aspiraciones, el Departamento ha tenido dificultades para aplicar el SGC, como demuestra el informe anual del Director General sobre los esfuerzos por mejorarlo.²⁹ Para ser justos, esto se debe a que, por su propia naturaleza, la gestión de la calidad entraña un proceso interminable de revisión, evaluación y reforma. Los Estados Miembros reconocen que los desafíos continúan, como indica su programa de apoyo para 2020-2021. Este programa incluye un proyecto que para “fortalecer y desarrollar el sistema de gestión de la calidad del Departamento, supervisar su eficacia y presentar informes al respecto”, sobre la base de una autoevaluación interna de su “madurez” llevada a cabo en 2017.³⁰

En lo que respecta más concretamente a las salvaguardias, el Departamento también ha puesto en marcha exámenes de evaluación de la eficacia a nivel de los Estados, de los que se encarga un grupo específico de examen de evaluación de la eficacia a nivel de los Estados. El grupo de examen de evaluación de la eficacia a nivel de los Estados, integrado por expertos de varios departamentos, examina la planificación, el desarrollo, la ejecución y la conclusión de las actividades de salvaguardias. Su objetivo es proporcionar al DDG un nivel adicional de garantía sobre la corrección de las conclusiones de las salvaguardias.³¹ En 2019, el auditor externo llevó a cabo una evaluación especial para determinar en qué medida el Departamento había establecido realmente “un control de calidad eficaz en el que sustentar la aplicación de las salvaguardias”.³² Se observaron distintas respuestas al grupo de examen de evaluación de la eficacia a nivel de los Estados entre el personal del Departamento: “[a]lgunos son partidarios de él y lo consideran un aspecto importante de la evaluación de la eficacia, y a ojos de algunos otros es una duplicación de tareas y una carga adicional para su trabajo actual, especialmente en lo que se refiere a los recursos”.³³ El auditor criticó la falta de planes de acción adecuados que recogieran las actividades, fechas e hitos clave de la aplicación de las recomendaciones formuladas por el grupo.³⁴ El OIEA estuvo de acuerdo con las recomendaciones del auditor.

²⁹ *Ibid.*, pp. 43-48.

³⁰ *Ibid.* págs. 90 a 96.

³¹ OIEA 2020b, pág. 180.

³² *Ibid.*, pág. 179.

³³ *Ibid.*, pág. 181.

³⁴ *Ibid.*, pág. 180.

El experto australiano en salvaguardias John Carlson ha propuesto un enfoque algo diferente del control de calidad de las salvaguardias: propone una auditoría de las salvaguardias a cargo de un pequeño grupo de expertos de confianza, presumiblemente externo al Departamento, que informe al Director General, quien podría examinar las decisiones relacionadas con las salvaguardias y, cuando proceda, formular recomendaciones sobre el proceso.³⁵ Carlson entiende que un acuerdo de esa índole se aplicó en la década de 1980 y señala que “podría desempeñar una función útil hoy en día que los Estados esperan garantías sobre la dirección en la que evolucionan las prácticas de salvaguardias”.

En cuanto a las mejoras tecnológicas de las salvaguardias, en 2018 concluyó el proyecto de 41 millones de euros Modernización de la Tecnología de la Información de Salvaguardias (MOSAIC), que se había puesto en marcha en 2015. En el marco del proyecto, que empleaba a 150 profesionales internos, se desarrollaron más de 20 aplicaciones informáticas únicas diseñadas para lograr que las salvaguardias sean más eficaces, eficientes y seguras. Recientemente el Departamento estableció una Plataforma Analítica Colaborativa (CAP) que incorpora instrumentos de recopilación y análisis de macrodatos a la labor de salvaguardias. También ha contribuido en gran medida a la eficacia de las salvaguardias el proyecto Mejora de las Capacidades de los Servicios Analíticos de Salvaguardias (ECAS), una iniciativa plurianual que tiene por objetivo diseñar y construir nuevas instalaciones de laboratorio para los Laboratorios Analíticos de Salvaguardias de Seibersdorf, que comprenden el Laboratorio de Materiales Nucleares (NML) y el Laboratorio de Muestras Ambientales (ESL).³⁶ El NML rediseñado, que ha sido descrito como el “caballo de batalla” del análisis de muestras del OIEA, aumentó su capacidad en más de un 50 %. El proyecto, financiado mediante contribuciones voluntarias de los Estados Miembros, se concluyó en 2015 a tiempo y dentro del presupuesto. Sin embargo, el avance constante de la ciencia y la tecnología es tal que el OIEA tendrá que garantizar en todo momento que sus laboratorios sigan estando a la vanguardia para hacer frente a los futuros desafíos relacionados con la proliferación nuclear.

La resiliencia institucional ha suscitado desde hace poco un nuevo motivo de preocupación para el Departamento, especialmente debido a la pandemia de COVID-19, que amenazó con incidir de forma significativa en la aplicación de las salvaguardias. No solo el personal de la Sede tuvo que adaptarse a las condiciones de teletrabajo, con las particulares complicaciones derivadas de la confidencialidad de la información relacionada con las salvaguardias, sino que

³⁵ Carlson 2018.

³⁶ <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-safeguards-labs-more-efficient-and-accurate-thanks-to-recent-upgrades>. Consultado el 12 de julio de 2021.

también los inspectores tuvieron que hacer un esfuerzo extraordinario para llevar a cabo sus actividades *in situ* y mantener la continuidad de la verificación. El Director General Sr. Grossi declaró que “la aplicación de las salvaguardias no se detuvo ni un solo minuto”.³⁷ Se encontraron formas creativas para que tanto la labor en la Sede como sobre el terreno continuara sin interrupciones, pese a las restricciones de viaje y de cuarentena. Gracias al apoyo de los Estados Miembros, el OIEA pudo, por primera vez, contratar servicios de vuelos chárter para el transporte de los inspectores a sus destinos cuando fue necesario. En general, el OIEA ha demostrado, hasta la fecha, un grado tranquilizador de solidez institucional a la hora de hacer frente a los efectos de la COVID-19. El OIEA concluyó un análisis de la repercusión de las actividades (BIA)³⁸ para detectar vulnerabilidades en las actividades de salvaguardias que pudieran presentarse ante futuras emergencias mundiales. El enfoque de gestión del riesgo que ha adoptado el Organismo en sus actividades es digno de elogio.

11.6. TRANSPARENCIA Y APERTURA

En los debates sobre la falta de transparencia en el OIEA suelen conjugarse tres cuestiones diferentes: la transparencia interna dentro de la Secretaría; la transparencia entre la Secretaría y los Estados Miembros, y la transparencia de cara al público. Cada uno de estos desafíos exige enfoques distintos. Durante su mandato, el Director General Mohamed ElBaradei puso en marcha su campaña para la adopción de un “enfoque unitario” a fin de acabar con el flujo restringido de la información interna por el que la Secretaría tenía mala fama y animar a todos los departamentos del Organismo a remar en la misma dirección. En 2020, el Director General, Sr. Grossi, al presentar la parte correspondiente a los Servicios en materia de Políticas, Gestión y Administración de su primer Programa y Presupuesto, siguió sosteniendo que, para alcanzar los objetivos de los Estados Miembros, se requería “una coordinación eficaz que asegure la aplicación de un enfoque unitario”.³⁹ A continuación, enumeró casi todas las actividades del OIEA en las que era necesario aplicar este enfoque, incluida “la gestión de la información dentro de la Secretaría, entre esta y los Estados Miembros, y en beneficio de los medios de comunicación y del público en general”. Todos estos aspectos son importantes para la aplicación de las salvaguardias.

³⁷ <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-nuclear-verification-continued-during-the-covid-19-pandemic-safeguards-statement-2020>. Consultado el 30 de septiembre de 2021.

³⁸ OIEA 2020e, pág. 15.

³⁹ OIEA 2019b, pág. 141.

Sin embargo, como depositario de la mayor parte de la información confidencial de la que dispone el Organismo, a lo largo de los años el Departamento de Salvaguardias ha tenido, comprensiblemente, más dificultades que otros departamentos para adoptar el ideal del enfoque unitario. En efecto, el principio de confidencialidad que se establece en los acuerdos de salvaguardias está concebido explícitamente para evitar que el Departamento divulgue información. En la actualidad el lema de la confidencialidad, inusual para una organización internacional, está tan firmemente arraigado en la cultura de salvaguardias del OIEA que ha contribuido a una cultura general de opacidad sobre todas las cuestiones relativas a las salvaguardias y, en un sentido más amplio, a una falta de transparencia en el OIEA.

La transparencia dentro del Departamento de Salvaguardias ha mejorado en los últimos años como subproducto del concepto a nivel de los Estados (CNE), que exige una colaboración intensiva entre el personal directivo, los analistas y los inspectores en los Grupos de Evaluación a nivel del Estado (GEE) para extraer conclusiones de salvaguardias respecto de cada Estado, basadas en múltiples fuentes de información. Ahora bien, está claro que la mejora no ha sido suficiente ya que, con apoyo de los Estados Miembros, prosiguen los esfuerzos por aplicar el Plan Estratégico de Comunicación Interna de 2013 del Departamento con el objetivo de “mejorar las capacidades de comunicación de los directivos superiores y el personal del Departamento”.⁴⁰

En cuanto a la transparencia entre la Secretaría y los Estados Miembros, desde hace mucho se pide que el Departamento de Salvaguardias explique mejor la evolución de los enfoques de salvaguardias. Un problema particular surgió en 2012 cuando algunos Estados Miembros criticaron la falta de información y análisis sobre el concepto a nivel de los Estados por parte de los funcionarios. Aunque parte de la reacción fue un intento de sacar tajada política, existía también una genuina preocupación entre algunos Estados Miembros ante aquel ejemplo más reciente de obcecación con respecto a las salvaguardias.⁴¹

Desde hace aún más tiempo se mantiene un debate sobre el hermetismo del *Informe sobre la Aplicación de las Salvaguardias* (IAS) que se edita cada año. Desde que comenzó a publicarse en 1977, se ha convertido, en las memorables palabras de Roger Howsley, en “rico en datos y pobre en información”.⁴² Por ejemplo, la *Declaración sobre las Salvaguardias* de 2019, la versión pública y censurada del IAS, reveló, de manera útil, que un Estado había perdido su conclusión más amplia. Sin embargo, como es habitual, esto no se anunció directamente y el Estado en cuestión, Libia, no fue nombrado. El hecho solo

⁴⁰ OIEA 2020d, págs. 16 y 17, 43-48.

⁴¹ Mayhew 2020.

⁴² Howsley 2011.

se hizo patente a causa del descenso del número de Estados con la conclusión más amplia de 71 a 70. Esta era la oportunidad perfecta de imprimir una mayor transparencia en el IAS, dado que Libia estaba sumida en una guerra civil y difícilmente se la podía culpar por su falta en relación con las salvaguardias. Tras el accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi y debido a la incapacidad del Organismo para acceder a determinados lugares de Ucrania, se presentaron desafíos similares en materia de salvaguardias. En todos estos casos, el hecho de volver a extraer la conclusión más amplia “no reflejaba los hechos técnicos sobre el terreno”.⁴³ Como señaló Australia a la Junta, “el IAS debería incluir detalles suficientes para que los Estados Miembros puedan comprender el funcionamiento del sistema de salvaguardias del Organismo y evaluar la eficacia de la aplicación de las salvaguardias”.⁴⁴

Otros han alegado que el IAS debería “determinar cuándo los problemas son atribuibles al OIEA, ya sea por fallos de equipo, por cuestiones de personal o por cuestiones administrativas”.⁴⁵ En la actualidad, los Estados Miembros y el público viven en la incertidumbre, lo que contribuye a una amnesia sobre los problemas a los que se enfrentan las salvaguardias: nadie parece responsable. El Auditor Externo recomendó en 2020 que la tardanza en la presentación de las declaraciones de los Estados y sus consecuencias en la extracción de conclusiones de salvaguardias se pusieran de relieve en el IAS, comprendida la información sobre el uso (o no) del Portal de Declaraciones de los Estados (SDP), una aplicación segura basada en la Red que favorece el intercambio de datos entre el OIEA y sus Estados Miembros.⁴⁶ El ex Director General Adjunto (DDG), Jefe del Departamento de Salvaguardias, Olli Heinonen, sostiene que el IAS también debería poner de relieve los problemas emergentes en relación con las salvaguardias, que deberían tratarse asimismo en las presentaciones de información técnica a la Junta de Gobernadores.⁴⁷ También ha sugerido que la Secretaría publique informes independientes sobre los países problemáticos, en lo posible no solo después de que se haya descubierto el incumplimiento, como es la práctica actual.

El IAS de 2020 contenía algunos elementos nuevos que fueron acogidos con agrado. En la reunión anual del Instituto de Gestión de Materiales Nucleares (INMM) y la Asociación Europea de Investigación y Desarrollo de Controles de Seguridad (ESARDA) celebrada en 2020 se mencionó que “el IAS [presentaba]

⁴³ Otto 2021.

⁴⁴ <https://austria.embassy.gov.au/vien/AEIASIRJune2021.html>. Consultado el 30 de septiembre de 2021.

⁴⁵ Rockwood *et al.* 2019, pág. 29.

⁴⁶ OIEA 2020d, págs. 177 y 178.

⁴⁷ Heinonen 2013.

una mayor cantidad de datos significativos y exhaustivos” (Carrie Mathews, Presidenta), por ejemplo, nuevas tendencias y nuevos gráficos, y que este tenía una “portada nueva elegante” (Director General Adjunto Aparo). Aparo también anunció la intención del Director General de facilitar más información a los Estados Miembros sobre “cómo estamos desempeñando nuestra labor”, incluidos los datos derivados de la aplicación del enfoque de salvaguardias a nivel de los Estados (ENE), pero advirtió que el IAS no debía ser “ilegible”.⁴⁸

En cuanto a la transparencia externa o de cara al público, es probable que la situación solo cambie si se da una transformación cultural a nivel de toda la organización. Una mayor apertura del OIEA sobre cuestiones como sus objetivos estratégicos, el presupuesto y las finanzas, la reestructuración organizativa y la medición del desempeño incentivaría al Departamento de Salvaguardias a ser más abierto con respecto a la eficacia de las salvaguardias, los nuevos desafíos que se plantean en el ámbito de la proliferación y las preocupaciones generales sobre el incumplimiento por los Estados Miembros. Para empezar, Heinonen aboga por divulgar el IAS en su totalidad, a fin de poner de relieve los problemas de aplicación y cumplimiento ante todas las partes interesadas, entre ellas, investigadores y denunciantes, que podrían utilizarlo para dar a conocer y ayudar a exponer más abiertamente la conducta indebida de los Estados.⁴⁹ La propia Secretaría ha apoyado esta medida, pero se ve obstaculizada por los reparos que plantean algunos Estados Miembros.

Otra dificultad es la renuencia de la Secretaría a responder públicamente a los críticos del OIEA, lo que deja al Departamento de Salvaguardias sin defensa y vulnerable a malentendidos y nuevas críticas. El anterior Director General, yukiya Amano, tras señalar que a veces les resultaba difícil a los Estados Miembros y al público entender lo que hacía el Organismo, admitió que “también puede ser frustrante para nosotros ver que se discute información inexacta en el dominio público”.⁵⁰ La respuesta es, sin duda, lograr una mayor transparencia. En un informe del Centro de Viena para el Desarme y la No Proliferación (VCDNP), Laura Rockwood y sus colegas han recomendado que “[l]os Estados Miembros y la Secretaría refuten las afirmaciones falsas sobre la autoridad legal del OIEA”.⁵¹ Sugieren que “[l]os cuestionamientos a la autoridad del OIEA que nacen de la desconfianza de los Estados en la Secretaría pueden aliviarse mediante la transparencia, la celebración de consultas y la transmisión de mensajes en los que se subrayen una relación en la esfera de las salvaguardias caracterizada por

⁴⁸ Mathews y Aparo 2020.

⁴⁹ Heinonen 2013, pág. 5.

⁵⁰ <https://www.iaea.org/newscenter/statements/challenges-in-nuclear-verification>. Consultado el 30 de septiembre de 2021.

⁵¹ Rockwood *et al.* 2019, pág. 26.

alianzas en lugar de disputas”. También proponen asignar una función pública al Grupo Asesor Permanente sobre Aplicación de Salvaguardias (SAGSI) para ayudar a impugnar las declaraciones falsas sobre las salvaguardias y ofrecer al público y a la Junta de Gobernadores dictámenes independientes sobre las cuestiones de salvaguardias.

La comunidad de no proliferación apoya en gran medida al OIEA y su misión, y debería considerarse un “contribuyente decisivo” a la difusión de sus logros y desafíos, sobre todo teniendo en cuenta la triste falta de apoyo de algunos Estados Miembros. El Director General, Sr. Grossi, parece más dispuesto a compartir información y es más directo en sus declaraciones públicas, y hasta formula respuestas espontáneas en lugar de preparadas de antemano, pero también debe reparar las relaciones del OIEA con los medios de comunicación, el mundo académico y la sociedad civil, que se han deteriorado en los últimos años. En un gesto que resulta alentador, desde que asumió el cargo de Director General, el Sr. Grossi ha sostenido que forjar alianzas inclusivas, no solo con los Estados Miembros, sino también con las organizaciones internacionales y no gubernamentales, la industria y la sociedad civil, puede ayudar al OIEA a maximizar su capacidad de garantizar un futuro mejor para todos.⁵²

11.7. CAPACITACIÓN EN SALVAGUARDIAS

En los últimos años el Departamento de Salvaguardias ha adoptado medidas importantes para mejorar la capacitación. Su Sección de Capacitación se encarga de diseñar e impartir capacitación en salvaguardias tanto para el personal del Organismo como para el de las autoridades estatales o regionales (ANR).⁵³ Esta última función ayuda a transmitir la práctica y la cultura de salvaguardias del OIEA a las autoridades nucleares nacionales, además de permitir a la Secretaría detectar prácticas y culturas de salvaguardias disfuncionales en esas instituciones.

La capacitación de nuevos inspectores comienza con un Curso de Introducción a las Salvaguardias del Organismo (ICAS) que dura entre tres y cuatro meses. Los módulos abarcan los temas técnicos necesarios, incluidas las técnicas de análisis no destructivo, la contención y la vigilancia, la protección radiológica y la verificación de la información sobre el diseño. La capacitación incorpora, cada vez más, aptitudes interpersonales, como las aptitudes de observación, negociación y comunicación, así como técnicas de entrevista. Los participantes se familiarizan con la historia de las salvaguardias, incluidos los casos habidos de incumplimiento, y los antecedentes de los tratados y acuerdos

⁵² Grossi 2021, págs. 13 y 14.

⁵³ OIEA 2020d, pág. 97.

de salvaguardias. El curso introductorio concluye con un ejercicio amplio de inspección en un reactor de agua ligera y la presentación de un estudio de caso.

La nueva fórmula de “exhaustividad y corrección” incorporada en el sistema de salvaguardias fortalecido desde el caso del Iraq se está implantando en la cultura a través de la capacitación. Se capacita a los inspectores para que sean más curiosos y más inquisitivos respecto de sus instalaciones o Gobiernos anfitriones, así como para que se muestren más dispuestos a tomar la iniciativa sobre el terreno, en lugar de solicitar automáticamente la autorización de Viena. Un inspector experimentado que imparte un segmento del curso de capacitación introductorio ha afirmado que el nuevo enfoque está funcionando, “[p]ero además de contabilizar el material nuclear, examinar la contabilidad y auditar los libros, siempre estamos buscando signos o indicios de posibles materiales y actividades nucleares no declarados”.⁵⁴ El objetivo es enseñar a los inspectores a pensar no como los físicos, químicos o ingenieros que la mayoría son, sino como investigadores.⁵⁵ Básicamente, los inspectores deben aprender a ser denunciantes. Esto supone no solo estar preparados para descubrir pruebas de incumplimiento, sino también ser lo suficientemente resuelto como para insistir ante un supervisor superior del OIEA posiblemente escéptico cuando se haya detectado una violación.

Además de capacitar al personal nuevo, la Sección de Capacitación en Salvaguardias imparte al personal de salvaguardias incorporado desde hace tiempo cursos, que abarcan las diversas actividades de salvaguardias que se llevan a cabo en las instalaciones y en la Sede, y tienen por objetivo desarrollar “aptitudes técnicas y de comportamiento”.⁵⁶ Recientemente se han intensificado las actividades de capacitación en materia de gestión de la calidad destinadas a todo el personal de salvaguardias, incluidos los inspectores.⁵⁷ Habida cuenta de la importancia del enfoque a nivel de los Estados, es especialmente importante que todo el personal de salvaguardias reciba capacitación en el uso sistemático de nuevas técnicas analíticas, entre ellas, el pensamiento crítico y el “análisis de estructuras”.⁵⁸ La capacitación en aptitudes analíticas está concebida para ayudar a los analistas e inspectores a evitar el “pensamiento colectivo”; aplicar el análisis de hipótesis contrapuestas, que parece ser notablemente eficaz; y eliminar el sesgo individual tanto como sea posible. Se enseña a los participantes que existen tres

⁵⁴ <https://www.iaea.org/newscenter/news/training-iaea-inspectors>. Consultado el 10 de febrero de 2015.

⁵⁵ <https://www.iaea.org/newscenter/news/a-day-in-the-life-of-a-safeguards-inspector>. Consultado el 30 de septiembre de 2021.

⁵⁶ <https://www.iaea.org/newscenter/news/training-iaea-inspectors>. Consultado el 10 de febrero de 2015.

⁵⁷ OIEA, 2007, pág. 6.

⁵⁸ OIEA 2020d, pág. 104.

niveles de análisis: el análisis objetivo, con el que todos se sienten cómodos; el análisis subjetivo, en el que se requiere cierto grado de subjetividad para extraer una conclusión sobre la base de las pruebas; y el análisis político, en el que no deberían aventurarse. La Sección de Capacitación en Salvaguardias está llevando a cabo una serie de talleres de un día de duración para enseñar a los participantes que integran los Grupos de Evaluación a nivel del Estado a trabajar en equipo.⁵⁹

Aunque la capacitación tiene por objetivo cambiar la cultura de salvaguardias para dar cabida a los nuevos valores adoptados de unas salvaguardias fortalecidas, en la documentación y en los planes de capacitación en salvaguardias no se hace ninguna mención deliberada de la cultura de salvaguardias. Esto difiere marcadamente de la práctica a nivel mundial en la esfera de la seguridad nuclear tecnológica y física, en la que ningún curso introductorio respetable estaría completo sin una referencia a la cultura y al menos una clase sobre qué es y cómo mejorarla. Esta laguna debería subsanarse. Cada vez se reconoce más la necesidad de transmitir el “conocimiento tácito” que no se recoge en los manuales ni en las instrucciones, sino que es, en gran medida, cultural. Los inspectores superiores desempeñan una función clave como mentores del personal nuevo y transmisores de la cultura de salvaguardias, sobre todo ayudándoles a determinar hasta qué punto pueden ser proactivos y resueltos. Desde 2007 el OIEA lleva a cabo actividades de gestión del conocimiento para ayudar a los supervisores a determinar los conocimientos esenciales que es preciso conservar en relación con el trabajo que desempeñan los funcionarios que se jubilarán o dejarán el Departamento.⁶⁰

En cuanto a la preparación para los futuros desafíos en el ámbito de la no proliferación, el OIEA afirma que hoy en día actualiza constantemente su programa de capacitación, adaptándolo a la evolución de la aplicación de las salvaguardias.⁶¹ Por ejemplo, se impartió capacitación adicional, organizada en un breve plazo, para hacer frente a los desafíos en materia de verificación en el emplazamiento de Fukushima Daiichi en el Japón tras el accidente de 2011 y para apoyar las actividades de verificación en la República Islámica del Irán tras concertarse el Plan de Acción Integral Conjunto (PAIC), después de 2015.⁶² También se sigue impartiendo capacitación con miras a la posible reanudación de las inspecciones en la RPDC.⁶³ La Sección de Capacitación en Salvaguardias también es consciente de la necesidad de impartir formación para la llegada de

⁵⁹ *Ibid.*, pág. 107.

⁶⁰ OIEA 2007.

⁶¹ OIEA 2014a.

⁶² OIEA 2017.

⁶³ Proyecto SGCP-102, véase OIEA 2020d, pág. 98.

nuevas tecnologías, ya sean tecnologías de verificación utilizadas por el mismo OIEA o nuevas tecnologías en la industria nuclear.⁶⁴

El desafío que se ha planteado más recientemente para la capacitación eficaz en salvaguardias ha sido la pandemia de COVID-19. El aprendizaje presencial ha sido sustituido en gran medida por el aprendizaje electrónico, lo cual exige replantearse las técnicas docentes y los resultados previstos. La Sección de Capacitación en Salvaguardias considera que la experiencia puede tener efectos duraderos en la formación, dado que el énfasis en los métodos tradicionales de enseñanza (conferencias y preguntas y respuestas) se ha desplazado al “aprendizaje centrado en el estudiante”, caracterizado por una mayor interacción, una respuesta inmediata del estudiante y una mayor atención a los fines y a los métodos para lograr los objetivos pedagógicos, así como por el uso de la interpretación simultánea para los participantes que no hablan inglés.⁶⁵ La capacitación en salvaguardias en un entorno multicultural siempre se ha enfrentado a desafíos, y es probable que la pandemia haya acelerado el examen de reformas significativas.

Obviamente, ningún programa de capacitación puede ser perfecto. Un informe de 2019 encargado por la Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica señalaba ejemplos alarmantes de inspectores “que desconocen o no cumplen los requisitos de seguridad tecnológica y física en una instalación, que no tienen pleno conocimiento del marco jurídico (incluidas las restricciones al OIEA) o que simplemente tienen una mala conducta o se muestran agresivos con el explotador o el Estado”.⁶⁶ El informe llegó a la conclusión de que, aunque “afortunadamente, los ejemplos son pocos”, estos “merecen atención”. La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) sugiere que las organizaciones de tipo regulador sigan las normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO) para las inspecciones y procuren obtener acreditación.⁶⁷ El OIEA ya lo ha hecho para su Laboratorio Analítico de Salvaguardias. Dado que el OIEA considera que su sistema de salvaguardias es único, quizás no esté dispuesto a someterse a un proceso de acreditación de este tipo, aunque podría aprender de las normas que gozan de amplia aceptación.

La Sección de Capacitación en Salvaguardias admite que complican su trabajo las limitaciones presupuestarias, la rotación del personal, la dependencia de instructores externos (60 %), el aumento de las restricciones de acceso a las instalaciones para la capacitación *in situ* y la necesidad de

⁶⁴ *Ibid.*, págs., 100 y 101.

⁶⁵ Stevens *et al.* 2021.

⁶⁶ Rockwood *et al.* 2019, pág. 29.

⁶⁷ OCDE 2014; ISO 2017.

actualizar los instrumentos de gestión y capacitación.⁶⁸ Para la mayoría de los cursos de capacitación y los viajes relacionados con los cursos, así como para la contratación de expertos gratuitos que dicten algunos cursos, se necesita el apoyo extrapresupuestario de los Estados Miembros (sobre todo occidentales).⁶⁹ La dependencia de la financiación de carácter voluntario no solo complica la planificación, sino que, lamentablemente, perpetúa la idea errónea de que las salvaguardias nucleares son un proyecto occidental muy alejado de las prioridades del mundo en desarrollo. Aunque es difícil dadas las limitaciones financieras actuales, lo ideal sería ampliar las fuentes de financiación y la disponibilidad de expertos capacitadores gratuitos para hacer ver que las salvaguardias son una preocupación universal. Este podría ser un ámbito propicio a asociaciones público-privadas.

11.8. PERFECCIONAMIENTO DEL PERSONAL DE SALVAGUARDIAS

Contar con un personal de salvaguardias muy motivado, dedicado, adaptable y preparado para hacer frente a los desafíos actuales y futuros en materia de verificación debería revestir gran prioridad para el OIEA. Pese a los encomiables esfuerzos por mejorar la contratación y la capacitación, el Organismo tropieza con legados institucionales que se interponen frente a la obtención de resultados óptimos. Uno de ellos es el sistema de “rotación” del personal de las Naciones Unidas que emplea el OIEA. Concebido para evitar una carrera permanente en la Secretaría, el sistema somete a los inspectores y otros miembros del personal de salvaguardias del cuadro orgánico a contratos de una duración máxima de siete años (habitualmente un contrato inicial de tres años, seguido de dos prórrogas de dos años cada una). Después de siete años, la mayoría de ellos se ven obligados a dejar su cargo, aunque pueden volver a solicitar la contratación tras una ausencia de un año. El Director General podrá conceder la prórroga indefinida de un contrato, basándose en la disponibilidad limitada de candidatos con conocimientos especializados en materia de salvaguardias, la necesidad de maximizar el rendimiento de la inversión del OIEA en la capacitación de inspectores (hasta 240 000 euros en un período de cinco años por persona) y las disposiciones técnicas cada vez más sofisticadas y especializadas en relación con las salvaguardias. Actualmente, alrededor del 30 % del personal del cuadro orgánico del OIEA tiene contratos de larga duración, la mayoría del Departamento de Salvaguardias.⁷⁰

⁶⁸ Proyecto SGCP-102, véase OIEA 2020d.

⁶⁹ *Ibid.*

⁷⁰ OIEA 2020b, pág. 182.

La ventaja del sistema de rotación es que da a los nacionales de un mayor número de Estados Miembros la oportunidad de trabajar en el OIEA, algo que demandan constantemente los países en desarrollo. Además, permite inyectar periódicamente en el sistema “sangre fresca”, que trae nuevas ideas y habilidades. Aunque no sea un aspecto tan reconocido, también permite a la Secretaría mandar al personal de salvaguardias experimentado de vuelta a sus países de origen, donde pueden difundir las mejores prácticas y la cultura de salvaguardias en sus autoridades nacionales de salvaguardias. Por último, la política de rotación permite al OIEA liberarse del personal cuyo desempeño no llega al nivel correcto.

No obstante, la rotación adolece de graves inconvenientes. El término “rotación” no es acertado, pues da a entender que el personal entra y sale del Organismo de forma ordenada. Lo que sucede en realidad es que muchos de los inspectores mejor valorados no vuelven nunca o tardan tanto en hacerlo que necesitan readiestramiento. La constante rotación del personal hace que se pierdan conocimientos especializados y memoria institucional, así como la oportunidad de inculcar una cultura de salvaguardias sólida en la fuerza de trabajo. Los costos de repatriación del personal saliente son elevados. Al contratar personal, el OIEA no puede ofrecer una trayectoria profesional con garantías. El sistema también ayuda al personal directivo a evitar lo que debería ser un proceso estándar de evaluación del personal, en el que se documente tanto el buen como el mal desempeño del personal, “algo que, según la mayoría de los testimonios, no es una cultura generalizada en el OIEA”.⁷¹ Estas son prácticas que ninguna corporación moderna toleraría. Al mismo tiempo, el Organismo tiene dificultades para contratar personal cualificado de todas las zonas geográficas, tal como exige su Estatuto, sobre todo a medida que aumentan los requisitos de cualificación especializada. Al ofrecer contratos de duración limitada sin trayectoria profesional, el OIEA no es un empleador competitivo. Los grandes proyectos nucleares que se están llevando a cabo en diferentes países (entre ellos Bangladesh, Egipto, los Emiratos Árabes Unidos, la India y Turquía) actúan como cebo para los posibles talentos, a pesar del atractivo de Viena. Un desafío aparte es la contratación de analistas, incluidos expertos en imágenes de satélite y análisis de medios sociales (ámbito que el OIEA apenas ha empezado a explorar).

Aunque en el Estatuto del OIEA se establece el principio de “mantener un mínimo de personal permanente”,⁷² la ex Asesora Jurídica del OIEA, Laura Rockwood, afirma que no existe ningún impedimento legal para modificar la política de rotación con efectos inmediatos (idealmente, con la aprobación o aquiescencia de la Junta).⁷³ Entretanto, se podrían tomar varias medidas

⁷¹ Rockwood *et al.* 2019, pág. 31.

⁷² OIEA, 1989, artículo VII.C.

⁷³ Rockwood *et al.*, 2019, pág. 31.

para replicar por otros medios las ventajas del sistema de rotación. Debería sistematizarse la rotación dentro del Departamento, como recomendó el Auditor Externo (y acordó el Departamento). En lugar de hacer rotar al personal fuera del OIEA, se podrían utilizar periodos sabáticos, programas de intercambio y comisiones de servicio para actualizar las cualificaciones y la experiencia del personal. Las agencias nucleares nacionales o las organizaciones relacionadas con la energía nuclear, como Euratom, ABACC, la Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares, la Universidad Nuclear Mundial y la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, pueden ser posibles colaboradores. En cualquier caso, parece justificado llevar a cabo un estudio exhaustivo de las prácticas de dotación de personal del OIEA, tal vez a cargo de un consultor externo.

A pesar de las voces que surgieron a favor de renovar la cultura de salvaguardias tras el caso del Iraq a principios del decenio de 1990, y a diferencia de lo sucedido en los ámbitos de la seguridad tecnológica y la seguridad física, el cambio cultural no ha sido ampliamente reconocido como parte de la respuesta para mantener la eficacia de las salvaguardias del OIEA.⁷⁴ La Secretaría no ha adoptado una estrategia deliberada de cambio cultural y apenas ha utilizado el lenguaje de la cultura. Sin embargo, los cambios revolucionarios que han tenido lugar en el sistema de salvaguardias desde el caso del Iraq inevitablemente han producido cambios en la cultura de salvaguardias en las tres esferas que los teóricos organizacionales consideran clave: artefactos, valores adoptados y supuestos básicos.⁷⁵

Los cambios más importantes en los valores adoptados han afectado a la corrección y la exhaustividad, la necesidad de un enfoque más investigador por parte de los inspectores y el valor de un enfoque más colaborativo por parte de todo el personal. El Departamento de Salvaguardias ha introducido cambios desde el punto de vista de la cultura, como las consultas que culminaron en el Plan Estratégico y sus actualizaciones, las mejoras en la contratación y la capacitación y las reformas resultantes del proceso de gestión de la calidad. La rotación del personal y el cambio generacional ayudarán a generalizar, con el tiempo, una nueva cultura, si bien esta también podría experimentar cambios inesperados, especialmente conforme aumente la proporción de mujeres y de personal procedente de países poco representados. El Departamento también se enfrenta al desafío permanente de integrar, o al menos armonizar, varias subculturas, especialmente la burocrática y la científica, así como las subculturas de los inspectores y los analistas.

⁷⁴ Para un estudio exhaustivo de la cultura de salvaguardias del OIEA, véase Findlay, 2022 (de próxima publicación).

⁷⁵ Schein, 2004; Schein y Schein, 2017.

Ahora bien, el cambio cultural necesita tiempo, y es posible que estos cambios todavía no se hayan incorporado plenamente en los supuestos básicos asumidos por el personal de salvaguardias. Todavía abundan en el Departamento posiciones de escepticismo acerca del valor del enfoque cultural, posiblemente debido a la falta de comprensión de los nuevos puntos de vista que este puede aportar y tal vez al temor a lo que podría sacar a la luz. Con todo, el OIEA insta sistemáticamente a sus Estados Miembros a prestar atención a los aspectos culturales, no solo en materia de seguridad tecnológica y seguridad física, sino también en relación con el fortalecimiento de sus organizaciones nucleares nacionales.⁷⁶

Los elementos de una cultura de salvaguardias óptima deberían ser visibles. Algunos de ellos son valores estándar a los que todas las organizaciones deberían aspirar: excelencia organizativa, vocación de servicio y lealtad, y compromiso con la eficacia y la eficiencia. Otros son valores propios del OIEA en cuanto que organización internacional consagrada a una causa que trasciende su propio bienestar, en particular la paz y la seguridad internacionales. Una cultura de salvaguardias óptima debería encarnar un firme compromiso por parte de todo el OIEA con el régimen de no proliferación. A pesar de sus mejores intenciones, el Departamento de Salvaguardias es incapaz de cambiar, por sí solo, las normas culturales de todo el Organismo, y mucho menos las del sistema de las Naciones Unidas, que influyen profundamente en la cultura de salvaguardias, entre las cuales cabe destacar las relacionadas con el liderazgo, el estilo de gestión, la contratación y la promoción. Este cambio exige la intervención de los niveles más altos del OIEA, el Director General y el personal superior, así como la Junta de Gobernadores y los miembros en general.

En cuanto a la cultura de salvaguardias en particular, la Secretaría debería hacer partícipe a toda la comunidad de salvaguardias, incluidos los Estados Miembros, en la formulación de una definición consensuada de la cultura de salvaguardias y de los elementos que constituyen una cultura óptima, como lo han hecho las comunidades de la seguridad tecnológica y la seguridad física nucleares. Aunque este ejercicio no dará lugar automáticamente a un cambio cultural, puede servir de guía e inspiración para la Secretaría, los Estados Miembros y otras partes interesadas. Además, el OIEA debería encargar a expertos en gestión cualificados un examen y un estudio de su cultura institucional que se centren en el personal de salvaguardias y el personal conexo. Este análisis debería comprender reflexiones sobre el impacto que tienen en la cultura de salvaguardias la política de rotación del personal, las prácticas de contratación y capacitación, el asesoramiento sobre la evaluación del personal y el sistema de recompensas. Asimismo debería incluir enseñanzas de otras organizaciones con funciones de reglamentación. Al

⁷⁶ OIEA, 2008a, b, 2014b.

contemplar cambios organizacionales importantes, el OIEA debería considerar desde el principio el probable impacto cultural y poner en marcha medidas para lograr la transformación cultural deseada. El nombramiento de un funcionario encargado de la gestión del cambio cultural facilitaría este proceso.

11.9. FUTUROS DESAFÍOS EN MATERIA DE VERIFICACIÓN

Uno de los desafíos que afectan a la planificación de las salvaguardias es la demanda periódica e imprevista de servicios de verificación *ad hoc* que resulta de los acuerdos internacionales alcanzados sin la participación directa del OIEA. Los casos más destacados hasta el momento han sido los del Iraq, la RPDC y la República Islámica del Irán. Tras años de presupuestos de crecimiento real cero, el sistema del OIEA carece de reservas que permitan hacer frente a los costos (financieros, técnicos, de recursos humanos y de gestión) que tales episodios conllevan. Esto obliga al OIEA a depender de las contribuciones voluntarias de los Estados Miembros, que, si bien estas suelen llegar a tiempo —a veces en el último instante—, puede haber perturbaciones importantes en las operaciones normales del Organismo. No se trata únicamente de la falta de fondos disponibles, sino también de la desviación de personal clave de sus funciones diarias. Así sucedió en el caso del Equipo de Acción para el Iraq, nuevamente con el Grupo de Tareas sobre el Irán y, por último, con la Oficina de Verificación para el Irán. Una forma de hacer frente a este tipo de situaciones en el futuro sería que el OIEA creara un fondo especial para emergencias, que se podría utilizar no solo en casos de incumplimiento, sino también para accidentes nucleares, como el de la central nuclear de Fukushima Daiichi, en los que la Secretaría tiene que apresurarse a organizar una respuesta a situaciones de crisis.

Por otra parte, el OIEA debería tratar de aprovechar los nuevos desafíos en materia de verificación que indefectiblemente trae consigo la aplicación de disposiciones *ad hoc*. En el caso del Iraq, la colaboración con la Comisión Especial de las Naciones Unidas (UNSCOM) y la Comisión de las Naciones Unidas de Vigilancia, Verificación e Inspección (UNMOVIC) expuso al OIEA, para bien o para mal, a diferentes enfoques de verificación, como búsquedas de documentos y entrevistas con personal clave, así como a nuevas técnicas como el muestreo ambiental. En el caso de la República Islámica del Irán, no cabe duda de que el Organismo ha extraído varias enseñanzas y ha adquirido una experiencia inestimable del mantenimiento de una presencia de monitorización las 24 horas del día en algunas instalaciones y, como se señala tímidamente en el PAIC, del uso de tecnología de monitorización moderna.⁷⁷ Aun que en el PAIC

⁷⁷ Plan de Acción Integral Conjunto, 2015, anexo 1, párr. 67.

se establece expresamente que “no deberá considerarse que [sus disposiciones y medidas] sientan precedente”,⁷⁸ no será posible eliminar los conocimientos y la experiencia adquiridos por el OIEA en el caso del Irán de su corpus y conjunto de herramientas de verificación. La Secretaría debería garantizar que las enseñanzas extraídas se documentan, catalogan y estudian adecuadamente. Aunque algunos podrían considerar que los continuos preparativos de la Secretaría para volver a la RPDC son un despilfarro de recursos, el mantenimiento de esta capacidad mejora las capacidades generales del OIEA, al tiempo que descarta la falta de preparación en materia de verificación como obstáculo para que la RPDC regrese rápidamente a las salvaguardias o acepte medidas de monitorización adicionales.

Aparte de estos ejercicios de verificación imprevistos y de carácter puntual, desde hace tiempo se debate la función del OIEA en la verificación de futuros acuerdos multilaterales o bilaterales. Durante decenios se ha hecho alusión al tratado de cesación de la producción de material fisible (TCPMF) como el siguiente avance multilateral clave hacia el desarme nuclear, del que formaría parte una posible función de verificación del OIEA. Asimismo se han hecho propuestas para que el OIEA verifique los excedentes de material nuclear resultantes del desarme nuclear de los EPAN, especialmente la Federación de Rusia y los Estados Unidos de América. La Iniciativa Trilateral de los años 1990 y principios de los años 2000 pretendía allanar el camino para esa participación del OIEA.⁷⁹ Por último, el Tratado sobre la Prohibición de las Armas Nucleares de 2017 exige la verificación multilateral del desarme nuclear total, si bien no aprovecha la existencia de un organismo experimentado como el OIEA para llevar a cabo esta tarea. Pese a ello, desde que terminó el mandato de Mohamed ElBaradei, cuando menos, el OIEA se ha mostrado sumamente cauto a la hora de defender la opción de asumir cualquiera de esas funciones en el futuro. En los últimos 60 años, el Estatuto del OIEA ha demostrado una extraordinaria flexibilidad en lo que se refiere a la incorporación de nuevas tareas, y no parece que hubiera ningún obstáculo insuperable para asumir todas y cada una de estas funciones si lo solicitaran los Estados Miembros.

Los avances tecnológicos plantean constantemente desafíos a la eficacia de las salvaguardias, no solo porque el OIEA ha de asegurarse de que dispone de las tecnologías y técnicas de verificación más avanzadas, sino también porque ha de adaptar sus procesos de verificación a los nuevos tipos de instalaciones y tecnologías nucleares de los Estados Miembros. El Organismo dispone únicamente de un pequeño presupuesto para actividades de investigación y desarrollo y depende de los programas de apoyo de los Estados Miembros para impulsar su modernización técnica. Los procesos modernos de gestión

⁷⁸ *Ibid.*, “Preámbulo y disposiciones generales”, xi.

⁷⁹ Shea y Rockwood, 2015.

de la información son especialmente importantes, ya que la Secretaría maneja montañas de nuevos datos cada año, lucha contra el desafío permanente de “señal/ruido” y se enfrenta a la necesidad de integrar toda la información disponible en el enfoque a nivel de los Estados.⁸⁰ Los proyectos del Departamento sobre la Plataforma de Evaluaciones Estadísticas de Salvaguardias (STEPS), la Planificación de la Aplicación del Enfoque a nivel de los Estados (SLAIP) y el Muestreo Ambiental y Mejora Ambiental (ESEE) son intentos de hacer frente a estos desafíos. Mientras tanto, la proliferación de microsátélites con capacidades avanzadas promete unas mejoras continuas de la monitorización a distancia desde el espacio que el Departamento debe estar preparado para aprovechar. El Departamento de Salvaguardias tiene también por delante la tarea de sacar el máximo partido a la monitorización avanzada de medios sociales, la minería de macrodatos y las técnicas de registros distribuidos y de cadenas de bloques. Las limitaciones de financiación y personal son una constante. El uso de capacidades de inteligencia artificial durante las inspecciones *in situ*, mediante dispositivos manuales a los que los inspectores puedan interrogar, es una idea prometedora que permitiría a los inspectores ganar tiempo para dedicarlo a otras tareas.⁸¹

11.10. ¿MÁS OFICINAS REGIONALES?

Durante años, el OIEA ha tenido dos oficinas regionales, una en Tokio y otra en Toronto, para facilitar la gran carga de trabajo de salvaguardias en el Japón y el Canadá, respectivamente. Durante la pandemia de COVID-19, las dos oficinas han sido especialmente valiosas para permitir que las actividades *in situ* continuaran con menos interrupciones en el contexto de los confinamientos y las restricciones de viaje. El Director General Adjunto, Sr. Aparo, ha planteado la idea de crear otras oficinas regionales para lograr un sistema de salvaguardias más resiliente en caso de futuras crisis.⁸²

Las oficinas adicionales pueden ser útiles no solo para esos fines, sino también para instaurar la presencia del OIEA en regiones que se sienten alejadas de Viena y que podrían beneficiarse de una interacción constante con los funcionarios del Organismo sobre cuestiones de salvaguardias. Estas oficinas también podrían gestionar la creación de capacidad para las ANR, los SNCC y los SRCC, respaldar la capacitación en materia de salvaguardias, mejorar los proyectos de cooperación técnica (CT) y promover otros aspectos del mandato del OIEA, en particular la seguridad física nuclear. Aunque esto tendría implicaciones

⁸⁰ Baute, 2021.

⁸¹ Smartt, 2021.

⁸² Aparo, 2020.

económicas, se podría contemplar la posibilidad de que el OIEA compartiera oficinas y colaborara con las oficinas de las Naciones Unidas existentes en los países, como el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que a menudo actúa como centro de coordinación de las actividades de las Naciones Unidas en países en desarrollo. No obstante, elegir cada ubicación supondría un desafío político. Quizás el enfoque menos controvertido sería ubicar las nuevas oficinas regionales del OIEA junto con los centros regionales existentes del Departamento de Asuntos de Desarme de las Naciones Unidas: Lima (Perú), para América Latina; Lomé (Togo), para África; y Katmandú (Nepal), para Asia y el Pacífico. Es posible que el traslado de parte del personal de una ciudad tan cara como Viena a lugares más baratos no entrañe costos suplementarios. Es una idea que merece la pena estudiar.

11.11. FINANCIACIÓN DE LAS SALVAGUARDIAS

Durante decenios, la financiación de las salvaguardias ha estado condicionada por la creciente demanda de salvaguardias, los presupuestos de crecimiento real cero y el vínculo con la financiación para la CT. Existe una gran diferencia entre lo que el Departamento de Salvaguardias podría hacer para maximizar la eficacia de las salvaguardias y lo que se financia con cargo al presupuesto anual ordinario. Para el bienio 2020-2021, el costo estimado de los proyectos sin financiación en la “lista de deseos” del Departamento era de unos 33 millones de euros, en comparación con aproximadamente 149 millones de euros en el presupuesto ordinario.⁸³ Si bien el presupuesto ordinario para salvaguardias ha aumentado año tras año, es insuficiente para hacer frente a las crecientes demandas derivadas de lo que la Secretaría denomina sus “principales desafíos” que, además de los analizados en detalle en este capítulo, son los desafíos que supone planificar y realizar actividades de verificación en un entorno de seguridad física difícil, que puede exigir medidas adicionales para garantizar la seguridad del personal sobre el terreno y para garantizar la seguridad física de la información.

A pesar de la elección en los Estados Unidos de un Gobierno, encabezado por el Presidente Joe Biden, más favorable a las organizaciones internacionales que su predecesor, es poco probable que vaya a encabezar una gran campaña para aumentar el presupuesto de salvaguardias, aunque podría aumentar la financiación voluntaria de los Estados Unidos. En cualquier caso, el hecho de que los Estados Unidos de América aporten el 25 % del presupuesto del OIEA no es sano para ningún organismo internacional, y mucho menos para uno tan importante para la paz y la seguridad

⁸³ OIEA, 2019b, págs. 139 y 140.

internacionales como es el OIEA. En el caso de las salvaguardias, este hecho no hace más que reforzar la idea de que estas son principalmente una preocupación del “primer mundo”. La financiación de las salvaguardias se está volviendo más equitativa gracias a la eliminación del sistema de “desgravación”, diseñado inicialmente para proteger a los países en desarrollo del incremento de los costos de salvaguardias.⁸⁴ Los Estados de la categoría 3, entre los que destacan China y la India, perderán su desgravación en 2024, seguidos en 2032 por los de la categoría 4, integrada por países menos adelantados (estos ya obtienen un descuento en las cuotas totales para el presupuesto ordinario). Siempre se ha considerado injusto que un país como China, que se ha convertido rápidamente en una potencia económica, no tenga que aportar un porcentaje mayor de la financiación de las salvaguardias. Teniendo en cuenta la robustez de la economía china, cuesta comprender por qué no debería contribuir al presupuesto de salvaguardias una cantidad similar a la de los Estados Unidos de América. La separación por la India de sus instalaciones nucleares civiles de las militares a los efectos de las salvaguardias y la concertación por ese país de un Protocolo Adicional a medida ha aumentado considerablemente el presupuesto de salvaguardias. Al igual que los acuerdos de ofrecimiento voluntario, este acuerdo es más simbólico que real, puesto que la India ya dispone de armas nucleares, pero beneficia al país al permitirle un mayor acceso a la tecnología nuclear con fines pacíficos. La India debería estar dispuesta a compensar al menos los costos de salvaguardias. China y la India deberían, igual que determinados Estados europeos cuyo nivel de prosperidad va en aumento, como Bulgaria, Estonia, Letonia, Lituania, Polonia y Turquía, retirarse voluntariamente del sistema de blindaje antes de 2024.

En teoría, otra forma de aumentar el presupuesto de salvaguardias sería eliminar el vínculo perpetuo con la CT.⁸⁵ Este autor ha propuesto anteriormente un “gran acuerdo” que incluiría la CT en el presupuesto ordinario a cambio de incluir la seguridad física nuclear (una prioridad de los países desarrollados). De esta forma, las negociaciones presupuestarias anuales partirían al menos de la base de que todos los programas principales del Organismo merecen una financiación presupuestaria ordinaria. Otra posibilidad es seguir buscando alianzas público-privadas. Estas funcionan bien en el caso de la tecnología, el apoyo a los laboratorios del OIEA y los equipos de inspección, pero es menos probable que se ajusten a otras actividades de salvaguardias y quizá sean demasiado delicadas desde el punto de vista político. La creación de un fondo de verificación de emergencia, tal como se propone, podría financiarse parcialmente con fuentes no gubernamentales. El OIEA ya ha sido pionero en este modelo de financiación con la importante contribución de la Nuclear Threat Initiative (NTI) al Banco de Uranio Poco Enriquecido (UPE) del OIEA.

⁸⁴ OIEA, 2019a.

⁸⁵ Findlay, 2016.

11.12. CONCLUSIÓN

El marco de salvaguardias del OIEA ha experimentado una verdadera revolución desde el caso del Iraq a principios del decenio de 1990. El sistema de salvaguardias fortalecido está funcionando correctamente. En la actualidad el Organismo es plenamente consciente de la amenaza que suponen los materiales y actividades nucleares no declarados. El Departamento de Salvaguardias ha adoptado una planificación estratégica, ha mejorado su gestión y presupuestación y ha transformado la contratación y la capacitación. Ha adoptado tecnología moderna, incluida TI, en los casos en que es probable que sea eficaz y asequible.

Con todo, el OIEA también es consciente de las deficiencias de que siguen adoleciendo las salvaguardias y de los desafíos que entraña hacer frente a los casos de incumplimiento actuales y futuros, los avances de la tecnología nuclear y las amenazas externas, como los ciberataques y, en los últimos tiempos, las pandemias. El dilatado caso de la República Islámica del Irán amenaza la integridad de las salvaguardias porque desafía componentes clave del sistema de salvaguardias fortalecido, incluida la aplicación de elementos del protocolo adicional y la obtención de la conclusión más amplia. La Secretaría también es consciente de que ni siquiera fortaleciendo las salvaguardias se puede garantizar la detección de intentos de incumplimiento cambiantes y cada vez más sofisticados. Se necesitarán capacidades técnicas mejoradas, como el muestreo de grandes zonas (cuyo costo es actualmente prohibitivo) y nuevas técnicas como la minería de datos, además del suministro continuo por los Estados de información de inteligencia adecuada cuando sea necesario. Por su parte, los Estados Miembros también deben esforzarse en favor de la universalidad de los acuerdos de salvaguardias y de unas autoridades nacionales de salvaguardias sólidas. Ellos y la comunidad internacional en general deben ofrecer un nivel de apoyo —político, financiero y tecnológico— que sea proporcional a los desafíos a que se enfrenta el sistema de salvaguardias del Organismo. Como muchos han señalado, el OIEA es un acuerdo internacional en materia de seguridad física.

REFERENCIAS

- Aparo M (2020) 61st Annual Meeting of INMM & ESARDA, *Journal of Nuclear Materials Management* XLVIII, 3/4:21–26.
- Baute J (2021) *Information Management for Nuclear Verification: An Update*, Concurrent Session VII-A, *The State of Information Management for Safeguards*, INMM & ESARDA Virtual Annual Meeting 2021.

- Boureston J, Ferguson C D (2005) Strengthening Nuclear Safeguards: Special Committee to the Rescue?, *Arms Control Today* 35.
- Carlson J (2018) Future Directions in IAEA Safeguards, Project on Managing the Atom. <https://www.belfercenter.org/publication/future-directions-iaea-safeguards>. Accessed 30 September 2021
- Findlay T (2016) What Price Nuclear Governance? Funding the International Atomic Energy Agency. <https://www.belfercenter.org/publication/what-price-nuclear-governance-funding-international-atomic-energy-agency>. Accessed 30 September 2021
- Findlay T (2022) *Transforming Safeguards Culture: The IAEA, Iraq, and the Future of Non-Proliferation*, MIT Press, Cambridge, MA (Forthcoming).
- Grossi R M (2021) Emerging Roles, Challenges, and Prospects for the Future, in Pilat J (ed) *International Atomic Energy Agency: Historical Reflections, Current Challenges and Future Prospects*, Routledge, London and New York.
- Heinonen O (2013) IAEA Safeguards—Evolving its 40-Year Old Obligations to Meet Today’s Verification Challenges. <https://www.belfercenter.org/publication/iaea-safeguards-evolving-meet-todays-verification-undertakings>. Accessed 30 September 2021
- Howsley R (2011) *The Safeguards Implementation Report: Time for Transparency?* SAGSI, IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1965) *Sistema de Salvaguardias del Organismo (1965)*, INFCIRC/66. <https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/agencys-safeguards-system-1965>. Consultado el 30 de septiembre de 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1972) *Estructura y Contenido de los Acuerdos entre los Estados y el Organismo Requeridos en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares*, INFCIRC/153. <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1972/infcirc153.pdf>. Consultado el 30 de septiembre de 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1989) *Estatuto con las enmiendas hasta el 28 de diciembre de 1989*, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (1997) *Modelo de Protocolo Adicional al (a los) Acuerdo(s) entre el (los) Estado(s) y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias*, INFCIRC/540. <https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/model-protocol-additional-agreements-between-states-and-international-atomic-energy-agency-application-safeguards>. Consultado el 30 de septiembre de 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2006) *Revisión del Texto Estándar del “Protocolo sobre Pequeñas Cantidades”*, GOV/INF/276.Mod.1.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2007) *Fortalecimiento de la Eficacia y Aumento de la Eficiencia del Sistema de Salvaguardias, incluida la Aplicación de Protocolos Adicionales: Informe del Director General*, GC(51)/8.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2008a) *A Harmonized Safety Culture Model*, IAEA Working Document (Last Revised 5 May 2020). https://www.iaea.org/sites/default/files/20/05/harmonization_05_05_2020-final_002.pdf. Accessed 30 September 2021

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2008b) *Cultura de la seguridad física nuclear*, Guía de Aplicación, *Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N°7*, OIEA, Viena.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011) Department of Safeguards Long-Term Strategic Plan (2012–2023) Summary, 2011. http://www.iaea.org/safeguards/documents/LongTerm_Strategic_Plan_%2820122023%29-Summary.pdf. Accessed 30 September 2021
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013) Department of Safeguards Long-Term R&D Plan, 2012–2023, STR-375, IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2014a) *Informe Anual para 2013*, OIEA, Viena. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014b) Managing Organizational Change in Nuclear Organizations, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-1.1., IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2017) *Fortalecimiento de la Eficacia y Aumento de la Eficiencia de las Salvaguardias del Organismo: Informe del Director General*, GC(61)/16.
- Organismo de Energía Atómica (OIEA) (2019a) *Escala de Prorratio de las Cuotas de los Estados Miembros para el Presupuesto Ordinario en 2020*, GC(63)/12.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2019b) *Programa y Presupuesto del Organismo para 2020-2021*, GC(63)/2.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020a) Plan of Action to Promote the Conclusion of Safeguards Agreements and Additional Protocols. <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/09/sg-plan-of-action-2019-2020.pdf>. Accessed 30 September 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2020b) *Estados Financieros del Organismo correspondientes a 2019*, GC(64)/4.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2020c) *Informe Anual del OIEA de 2019*, GC(64)/3.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020d) Development and Implementation Support Programme for Nuclear Verification 2020–2021, STR-393, IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2020e), *Fortalecimiento de la Eficacia y Aumento de la Eficiencia de las Salvaguardias del Organismo: Informe del Director General*, GC(64)/13.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021a) Status List, Conclusion of Safeguards Agreements, Additional Protocols and Small Quantities Protocols Status as of 1 June 2021. <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/01/sg-agreements-comprehensive-status.pdf>. Accessed 10 June 2021
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021b) Status List, Amendment to Small Quantities Protocols Status as of 1 June 2021. <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/01/sg-sqp-status.pdf>. Accessed 15 July 2021
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021c) Status List, Conclusion of Safeguards Agreements, Additional Protocols and Small Quantities Protocols Status as of 1 June 2021. <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/01/sg-agreements-comprehensive-status.pdf>. Accessed 10 June 2021

- International Organization for Standardization (ISO) (2017) ISO/IEC/17020, Conformity Assessment—Requirements for the Operation of Various Types of Bodies Performing Inspection (Revised and Confirmed in 2017). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:17020:ed-2:v1:en:en>. Accessed 30 September 2021
- Matthews C, Aparo M (2020) Plenary Meeting, 61st Annual Meeting of INMM, 12–16 July 2020, *Journal of Nuclear Materials Manage* XLVIII(3/4):21–26.
- Mayhew N (2020) A Lexical History of the State-Level Concept and Issues for Today, Occasional Paper, Vienna Center for Disarmament and Non-Proliferation, Vienna.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2014) OECD Best Practice Principles for Regulatory Policy: Regulatory Enforcement and Inspections, OECD, Paris.
- Otto T et al. (2021) Reimaging the Broader Conclusion, Proceedings of the INMM & ESARDA Joint Virtual Annual Meeting, August 23–26 and August 30–1 September 2021 (forthcoming).
- Rockwood L, Mayhew N, Lazarev A, Pfneisl M (2019) IAEA Safeguards: Staying Ahead of the Game. <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/dbd8127f5cc44dadba96d4f20f6e530f/201914-iaea-safeguards-staying-ahead-of-the-game>. Accessed 30 September 2021
- Schein E H (2004) *Organizational Culture and Leadership*, 3rd ed., Jossey-Bass, San Francisco.
- Schein E H, Schein P (2017) *Organizational Culture and Leadership*, John Wiley and Sons, Hoboken.
- Shea T E, Rockwood L (2015) IAEA Verification of Fissile Material in Support of Nuclear Disarmament, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, Cambridge, MA.
- Smartt H et al. (2021) Hey Inspecta! Proceedings of the INMM & ESARDA Joint Virtual Annual Meeting 2021 (forthcoming).
- Stevens R et al. (2021) Lessons Learned From a year of Online Training and Engagement in Safeguards, Concurrent Session VII-H, Going Virtual with E-Learning, INMM–ESARDA Virtual Annual Conference (forthcoming).

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

12. RESPONSABILIDAD POR DAÑOS NUCLEARES Y EVOLUCIÓN DESPUÉS DE FUKUSHIMA

Steven McIntosh

Resumen Con el objetivo de garantizar que haya fondos disponibles para abonar indemnizaciones por los daños causados por un incidente nuclear, incluidos los daños transfronterizos, la comunidad internacional ha ido elaborando una serie de convenciones y convenios sobre responsabilidad civil por daños nucleares. Lograr una adhesión universal a estos textos no es empresa fácil, por lo que el “régimen mundial” preconizado en 2011 resulta ser, en el mejor de los casos, un mosaico formado por varios tratados distintos, cada uno con diferentes Estados parte, y otros muchos Estados que no son parte en ningún instrumento (entre ellos, algunos con un sector nuclear vasto y creciente). Pese a ello, los principios consagrados en las convenciones están recogidos en la legislación de la mayoría de los Estados donde se explotan reactores nucleares de potencia e instalaciones conexas. En este capítulo se valora la situación actual del régimen mundial de responsabilidad por daños nucleares y se examinan una serie de recomendaciones formuladas por el Grupo Internacional de Expertos sobre Responsabilidad por Daños Nucleares (INLEX) para que la comunidad internacional pueda responder a la continua evolución de la industria nuclear.

Palabras clave Buques de propulsión nuclear • Centrales nucleares transportables • Clausura • Convenio de París • Convenio de Viena • Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica • Convención sobre Indemnización Suplementaria • Disposición final de desechos • Fuentes radiactivas • Fukushima • Fusión nuclear • Grupo Internacional de Expertos sobre Responsabilidad por Daños Nucleares (INLEX) • Incidente nuclear • Protocolo Común • Reactores modulares pequeños • Régimen mundial de responsabilidad por daños nucleares • Responsabilidad civil por daños nucleares

12.1. INTRODUCCIÓN

La cuestión de la responsabilidad por daños nucleares, aunque pueda parecer un tanto abstrusa, es fundamental para el futuro de la industria nuclear, no en vano, a menos que el gran público tenga confianza en que las víctimas inocentes serán debidamente indemnizadas en el caso improbable de un incidente nuclear, el sector tendrá dificultades para conseguir la legitimidad social que

necesita, a nivel tanto nacional como internacional. La comunidad internacional se ha ido dotando de una serie de convenciones y convenios que recogen principios comunes relativos a cuestiones como la responsabilidad causal, la entidad responsable, el tribunal competente para instruir demandas, la cantidad de dinero que debe estar disponible y la protección de las víctimas que se encuentren en un país distinto al de la entidad responsable. Aunque lograr una adhesión universal a estos textos no es empresa fácil, sus principios están recogidos en la legislación de la mayoría de los Estados donde se explotan reactores nucleares de potencia e instalaciones conexas. El Grupo Internacional de Expertos sobre Responsabilidad por Daños Nucleares (INLEX) asesora al Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) sobre el despliegue de las convenciones y su aplicación al mudable panorama nuclear.

12.2. GRUPO INTERNACIONAL DE EXPERTOS SOBRE RESPONSABILIDAD POR DAÑOS NUCLEARES

En 2003, el Director General del OIEA estableció el INLEX para que cumpliera tres funciones básicas:

- a) constituir un foro de especialistas dedicado a estudiar las cuestiones relacionadas con la responsabilidad por daños nucleares y a prestar asesoramiento en la materia;
- b) fomentar la adhesión a escala mundial a un régimen eficaz de responsabilidad por daños nucleares, y
- c) ayudar a elaborar y reforzar los ordenamientos jurídicos nacionales de responsabilidad por daños nucleares en los Estados Miembros del OIEA.¹

Desde su creación, el Grupo ha venido celebrando periódicamente reuniones anuales en cuyo transcurso reflexionaba y prestaba asesoramiento sobre temas ligados al régimen internacional en vigor de responsabilidad por daños nucleares. En este sentido, el INLEX redactó textos explicativos sobre los instrumentos de responsabilidad por daños nucleares aprobados bajo los auspicios del Organismo

¹ <https://www.iaea.org/es/el-oiea/grupo-internacional-de-expertos-sobre-responsabilidad-por-danos-nucleares-inlex>. Página consultada el 13 de julio de 2021.

en 1997² y sobre el Protocolo Común de 1988 relativo a la Aplicación de la Convención de Viena y del Convenio de París.³

12.3. MEDIDAS ADOPTADAS COMO RESPUESTA DIRECTA AL ACCIDENTE

En septiembre de 2011, seis meses después del accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi, la Junta de Gobernadores del OIEA aprobó un Plan de Acción sobre Seguridad Nuclear, que después refrendó también la Conferencia General del OIEA.⁴ Con respecto a la responsabilidad por daños nucleares, en el Plan de Acción se requería lo siguiente:

Los Estados Miembros deberán esforzarse para establecer un régimen mundial de responsabilidad por daños nucleares que aborde las preocupaciones de todos los Estados que podrían verse afectados por un accidente nuclear con miras a facilitar una indemnización adecuada por daños nucleares. El Grupo Internacional de Expertos sobre Responsabilidad por Daños Nucleares (INLEX) del OIEA deberá recomendar medidas destinadas a facilitar el logro de dicho régimen mundial. Los Estados Miembros deberán tomar debidamente en consideración la posibilidad de adherirse a instrumentos internacionales de responsabilidad por daños nucleares como un paso hacia el logro de dicho régimen mundial.⁵

En respuesta a la segunda de las frases citadas, el INLEX examinó las medidas que el Japón, en virtud de la legislación nacional de responsabilidad por daños nucleares, había adoptado para indemnizar a los afectados por el accidente, con el fin de determinar si se habían dado casos en que las víctimas no fueran debidamente indemnizadas a causa de alguna deficiencia que pudiera presentar dicha legislación. Aunque el Japón no estaba adherido a ninguna de las convenciones internacionales en el momento del accidente, su legislación recogía en general el contenido de esos instrumentos. Los pormenores, las modificaciones y la aplicación tras el accidente de ese acervo legislativo ya están expuestos con gran detalle en otra publicación,⁶ por lo que no me detendré aquí en tratar de resumirlos.

² OIEA, 2017.

³ El Protocolo Común relativo a la Aplicación de la Convención de Viena y del Convenio de París (Protocolo Común), abierto a la firma el 21 de septiembre de 1988, entró en vigor el 27 de abril de 1992. OIEA, 2013.

⁴ https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc55-14_sp.pdf. (consultado el 13 de julio de 2021); véase OIEA, 2011a.

⁵ OIEA, 2011b.

⁶ Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, 2012.

En aquel proceso de análisis no se detectó deficiencia alguna. Lo que sí quedó claro, sin embargo, es que la ausencia de relaciones convencionales habría provocado importantes litigios entre Estados si el perjuicio se hubiera extendido más allá del Japón⁷ y que, a la luz de la magnitud de los daños resultantes del accidente de Fukushima Daiichi, los importes mínimos fijados en las convenciones (convenciones de los años sesenta, protocolos de modificación aprobados en 1997 y 2004 y Convención sobre Indemnización Suplementaria)⁸ resultaban a todas luces insuficientes en caso de incidente nuclear de gravedad.⁹ El INLEX, por consiguiente, formuló una serie de recomendaciones¹⁰ encaminadas a instaurar un régimen mundial de responsabilidad por daños nucleares y a incrementar la cuantía de los fondos para indemnización disponibles en los países.

12.3.1. Fortalecimiento del régimen mundial de responsabilidad por daños nucleares

A continuación se exponen las recomendaciones encaminadas a reforzar este régimen, que, como siempre ocurre con la responsabilidad por daños nucleares, constituían un compromiso político.

- 1) Todos los Estados Miembros que posean instalaciones nucleares deberían adherirse a uno o varios de los instrumentos internacionales pertinentes sobre la responsabilidad por daños nucleares que contienen principios internacionales ampliamente compartidos, reflejo de las mejoras definidas en los años noventa bajo los auspicios del OIEA. Además, todos los Estados Miembros con instalaciones nucleares deberían promulgar leyes nacionales que se ajusten a los principios enunciados en esos instrumentos e incorporen las prácticas óptimas indicadas más adelante.
- 2) Todos los Estados Miembros poseedores de instalaciones nucleares deberían esforzarse por establecer relaciones convencionales con tantos Estados como sea práctico con miras a lograr, en última instancia, la participación universal en un régimen mundial de responsabilidad por

⁷ El hecho de que los daños quedaran circunscritos al Japón no impidió que en los Estados Unidos de América se presentaran numerosas demandas judiciales, como se explica más adelante.

⁸ La Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares (Convención sobre Indemnización Suplementaria), abierta a la firma el 29 de septiembre de 1997, entró en vigor el 15 de abril de 2015.

⁹ Señalemos que la legislación japonesa no definía ningún tope de indemnización y que el Gobierno del país había promulgado por ley un plan que garantizaba el pago íntegro de todas las reclamaciones.

¹⁰ OIEA, 2012.

daños nucleares que establezca relaciones convencionales entre todos los Estados. Los expertos del INLEX señalan que “la Convención sobre Indemnización Suplementaria establece relaciones convencionales entre los Estados que son parte en el Convenio de París y/o en la Convención de Viena¹¹ o que no son parte en ninguno de esos instrumentos, pero sin modificar el Protocolo Común¹² por el que se establecen relaciones convencionales entre los Estados que son parte en el Convenio de París o en la Convención de Viena”. Además de prever relaciones convencionales, la Convención sobre Indemnización Suplementaria prescribe la integración de las mejoras definidas bajo los auspicios del OIEA y contiene disposiciones para promover indemnizaciones adecuadas, en particular mediante un fondo internacional destinado a complementar el importe de la indemnización disponible para daños nucleares.

- 3) Los Estados Miembros que no posean instalaciones nucleares deberían contemplar seriamente la posibilidad de adherirse a un régimen mundial [de responsabilidad], teniendo en cuenta los beneficios que tal régimen podrá deparar a las víctimas cuando se logre que formen parte de él un buen número de Estados con instalaciones nucleares.

Lamentablemente, la comunidad internacional ha desatendido en gran medida estas recomendaciones. En la década transcurrida desde 2011, el número de Estados que son parte en la Convención de Viena de 1997¹³ ha pasado apenas de seis a quince y, de esos nueve Estados adicionales, solo los Emiratos Árabes Unidos tienen reactores nucleares de potencia en funcionamiento.¹⁴ A la Convención sobre Indemnización Suplementaria¹⁵ le ha ido solo un poco mejor: antes de marzo de 2011 solo la habían ratificado cuatro Estados¹⁶ y,

¹¹ El Convenio de París acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear (Convenio de París), abierto a la firma el 29 de julio de 1960, entró en vigor el 1 de abril de 1968. La Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares (Convención de Viena), abierta a la firma el 21 de mayo de 1963, entró en vigor el 12 de noviembre de 1977. Con posterioridad a la aprobación de ambos instrumentos, han entrado en vigor protocolos adicionales que los modifican.

¹² Protocolo Común (véase la nota al pie 3).

¹³ La Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares de 21 de mayo de 1963, en su versión modificada por el Protocolo de Enmienda de la Convención de Viena de 29 de septiembre de 1997 (Convención de Viena de 1997), entró en vigor el 4 de octubre de 2003.

¹⁴ Señalemos que, de los Estados que ya eran parte antes de marzo de 2011, la Argentina, Belarús y Rumania poseen reactores de potencia.

¹⁵ Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8).

¹⁶ Entre ellos la Argentina, los Estados Unidos de América y Rumania.

desde entonces, lo han hecho otros siete, entre ellos, como Estados nucleares, el Canadá, los Emiratos Árabes Unidos, la India y el Japón. La Convención sobre Indemnización Suplementaria cubre ahora alrededor de un 40 % de los reactores de potencia que están operativos en el mundo.

Un prometedor hecho reciente ha sido el anuncio de que los dos protocolos de 2004, que modifican respectivamente el Convenio de París¹⁷ y el Convenio de Bruselas complementario al Convenio de París,¹⁸ entrarán en vigor el 1 de enero de 2022. Esta tardía entrada en vigor se explica en buena parte por una disposición de la Comisión Europea que obligaba a todos los Estados miembros de la Unión Europea (UE) que eran parte en el Convenio de París¹⁹ a ratificar los protocolos de forma simultánea, lo que en la práctica suponía que todo el proceso de entrada en vigor era rehén del Estado miembro que tuviera los procedimientos legislativos más lentos.²⁰ Afortunadamente, en los años transcurridos no ha habido ningún incidente nuclear en el territorio de ninguna de las partes en el Convenio de París. Aunque la entrada en vigor de los protocolos es ciertamente una buena noticia, los Estados que son parte en dicho convenio albergan solo un 23 % de los reactores de potencia que están operativos en el mundo, porcentaje que seguirá disminuyendo a resultas de la decisión política de algunos Estados miembros de la UE de eliminar gradualmente la energía nuclear y del creciente número de nuevas construcciones en países en desarrollo.

Lo que todo ello significa es que, a día de hoy, no existe un régimen mundial de responsabilidad por daños nucleares, en lugar de lo cual tenemos una suma de instrumentos.

- Convenio de París de 1960, en su versión modificada por el Protocolo Adicional de 28 de enero de 1964, el Protocolo de 16 de noviembre de 1982 y el Protocolo de 12 de febrero de 2004,²¹ que a partir del 1 de enero de 2022 establecerá límites mínimos de responsabilidad sensiblemente más elevados (y, por ende, mayores importes de indemnización)²² que los de cualquier otra convención. Sin embargo, el ámbito de aplicación del

¹⁷ El Protocolo que modifica el Convenio de París sobre la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear (Protocolo de 2004 del Convenio de París), abierto a la firma el 12 de febrero de 2004, aún no ha entrado en vigor.

¹⁸ El Protocolo que modifica el Convenio de Bruselas complementario al Convenio de París (Protocolo de 2004 del Convenio complementario de Bruselas), abierto a la firma el 12 de febrero de 2004, aún no ha entrado en vigor.

¹⁹ Convenio de París (véase la nota al pie 11).

²⁰ Que resultó ser Italia.

²¹ Protocolo de 2004 del Convenio complementario de Bruselas (véase la nota al pie 18).

²² Especialmente cuando viene respaldado por el Protocolo de 2004 del Convenio complementario de Bruselas (véase la nota al pie 18).

Convenio de París está geográficamente circunscrito a una región que posee una industria nuclear en declive.²³

- Convención de Viena de 1963,²⁴ que cubre una serie de Estados que explotan reactores nucleares de potencia en Europa Oriental y otras regiones, pero que en los años noventa fue considerado, implícitamente, insuficiente en cuanto a la protección que brinda a las víctimas.
- Convención de Viena de 1997,²⁵ que tiene pocos Estados parte (y muy pocos que posean reactores nucleares de potencia).
- Protocolo Común,²⁶ que establece relaciones convencionales entre la mayoría de los Estados que son parte en el Convenio de París y una serie de Estados que son parte en la Convención de Viena de 1963 y la Convención de Viena de 1997, aunque la disparidad entre los límites mínimos de responsabilidad de las partes en el Convenio de París²⁷ y los de las partes en la Convención de Viena de 1963 ha generado cierta intranquilidad entre las partes en el Convenio de París. Así, cuando en 2014 aprobó el Protocolo Común, Francia formuló una reserva que imponía de hecho un requisito de reciprocidad a las partes en el Convenio de Viena.²⁸
- Convención sobre Indemnización Suplementaria,²⁹ que tiene solo un pequeño número de Estados parte (aunque algunos de ellos son importantes Estados nucleares), ninguno de los cuales es parte en el Convenio de París.

De todo ello se desprende que el “régimen mundial” preconizado en 2011 resulta ser, en el mejor de los casos, un mosaico formado por varios tratados distintos, cada uno con diferentes Estados parte, y otros muchos Estados que no son parte en ningún instrumento (entre ellos, algunos con un sector nuclear

²³ Señalemos que Turquía es una excepción a esta regla genérica, dado que es a la vez parte en el Convenio de París y un Estado con un programa activo de nuevas construcciones. En la fecha de redacción de este documento, sin embargo, Turquía aún no había ratificado el Protocolo de 2004 del Convenio de París.

²⁴ Convención de Viena (véase la nota al pie 11).

²⁵ Convención de Viena de 1997 (véase la nota al pie 13).

²⁶ Protocolo Común (véase la nota al pie 3).

²⁷ Especialmente en su versión modificada por el Protocolo de 2004 del Convenio de París (véase la nota al pie 17).

²⁸ “Francia formula una reserva en relación con el apartado 2 del artículo IV, por la que especifica que, con respecto a los Estados que limitan el importe de la responsabilidad del explotador y que son parte en la Convención de Viena y el Protocolo Común, Francia se reserva el derecho de prever que, en caso de accidente nuclear en su territorio, el explotador responsable responderá por los daños nucleares causados en el territorio de uno o varios de dichos Estados de acuerdo con el importe previsto por la legislación nacional de esos Estados en el momento del accidente para compensar los daños nucleares causados en territorio francés”.

²⁹ Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8).

vasto y creciente). Aunque la mayoría de los incidentes nucleares tendrán consecuencias circunscritas al territorio del Estado en cuestión³⁰ y la mayor parte de los Estados nucleares tienen incorporados los principios de las convenciones en su acervo legislativo, las cinco demandas judiciales presentadas a raíz del accidente de Fukushima Daiichi y en relación con él ante tribunales federales estadounidenses de California, el Distrito de Columbia y Massachusetts dan fe de lo peligrosa que puede resultar la falta de relaciones convencionales.³¹

La querencia de los demandantes por los tribunales estadounidenses se explica sobre todo por el valor inferior en muchos otros países del límite mínimo de la responsabilidad por daños nucleares, la actitud más generosa de los jurados estadounidenses, la posibilidad de que se otorguen daños punitivos, la mayor laxitud de las reglas de presentación de pruebas (liberal discovery), la aplicación de honorarios condicionales y la elevada cuantía de las indemnizaciones por daños y perjuicios. Además, las entidades no gubernamentales suelen ser objetivos atractivos para los abogados de los demandantes, porque, por ejemplo, es más probable que sean sometidas a un juicio con jurado, tienen menos armas contra la ejecución de las sentencias y carecen de inmunidad soberana. Dado que en el momento del accidente no había relaciones convencionales entre los Estados Unidos de América y el Japón en materia de responsabilidad por daños nucleares, los tribunales estadounidenses no tenían la obligación de inhibirse en favor de los tribunales japoneses ni estaban ligados por las normas relativas a la atribución (canalización) de la responsabilidad exclusivamente al explotador. Por tal motivo, entre los demandados en los Estados Unidos no solo estaba la Compañía de Energía Eléctrica de Tokio (TEPCO), como explotador de la central de Fukushima Daiichi, sino que también figuraban una serie de proveedores. Entre los demandantes no había solo ciudadanos estadounidenses, sino también ciudadanos japoneses sin vinculación alguna con los Estados Unidos.

Pese a que la legislación japonesa en la materia atribuye la responsabilidad por daños nucleares exclusivamente al explotador y prevé una responsabilidad ilimitada (en febrero de 2021, el Gobierno del Japón había comprometido más de 76 000 millones de dólares para resolver las reclamaciones relacionadas con Fukushima), las dos últimas de las cinco demandas presentadas en los Estados Unidos no fueron desestimadas hasta el 20 de mayo de 2021, tras el examen de los casos por tres tribunales de primera instancia y dos tribunales de apelación estadounidenses y por el Tribunal Supremo de los Estados Unidos. Poca duda cabe de que un factor crucial en los dictámenes finales de desestimación fue

³⁰ El accidente de Chernóbil parece ser un caso atípico en muchos sentidos.

³¹ Respecto del análisis que sigue quedo en deuda con Omer Brown por haberme facilitado acceso al documento, inédito, que presentó en junio de 2021 ante el Comité de Derecho Nuclear de la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE.

la ausencia en la legislación japonesa de un tope de indemnización, hecho que a la postre pudieron esgrimir con éxito los demandados para argumentar que los tribunales japoneses eran la jurisdicción más adecuada para conocer de las demandas.

12.3.2. Aumento del importe de las indemnizaciones

Al formular recomendaciones encaminadas a acrecentar los importes de indemnización disponibles a escala nacional, el INLEX estaba reconociendo implícitamente la inviabilidad de modificar las convenciones para aumentar los límites mínimos de responsabilidad prescritos en ellas o de utilizar los complejos mecanismos establecidos en los textos para elevar esos límites.³² Dichas recomendaciones son las siguientes.

“Todos los Estados Miembros del OIEA que posean instalaciones nucleares deberían asegurarse de tener disponibles fondos suficientes para indemnizar, sin discriminación alguna, a todas las víctimas de un incidente nuclear. Por consiguiente, estos Estados Miembros deberían en particular:

- a) establecer importes de indemnización y de garantía financiera sustancialmente superiores a los importes mínimos previstos en los instrumentos existentes;
- b) examinar periódicamente la idoneidad de los importes de indemnización para garantizar que no pierdan valor y que tengan en cuenta todo lo que se vaya conociendo del posible impacto de incidentes ligados a las instalaciones sitas en su territorio, sabiendo que se tiende a atribuir responsabilidad ilimitada al explotador;
- c) examinar periódicamente la idoneidad de los importes de garantía financiera para garantizar que traduzcan la capacidad disponible en los mercados de seguros y otras fuentes de garantía financiera;
- d) estar en condiciones de establecer mecanismos de financiación adecuados para aquellos casos en que los daños objeto de indemnización superen los importes de indemnización y de garantía financiera disponibles;
- e) proporcionar indemnización por lesiones latentes, sabiendo que en las versiones revisadas de la Convención de Viena y del Convenio de París se fija un plazo límite de 30 años para presentar reclamaciones por lesiones personales; y

³² Artículo VD de la Convención de Viena de 1997 (véase la nota al pie 13). Artículo XXV de la Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8).

- f) garantizar que haya fondos de indemnización disponibles para casos de incidente causado directamente por un cataclismo de carácter excepcional”.

Sería interesante realizar una encuesta entre los Estados Miembros del OIEA (no solo los que son parte en las convenciones) para saber en qué medida han puesto en práctica estas recomendaciones.³³ El autor tiene conocimiento de los hechos que expone a continuación.

- a) El Canadá, como parte del paquete legislativo promulgado para posibilitar la ratificación de la Convención sobre Indemnización Suplementaria, elevó a 1 000 millones de dólares canadienses³⁴ el límite nacional de la responsabilidad por daños nucleares.³⁵ En 2021, el Gobierno emprendió un examen de ese límite de 1 000 millones de dólares canadienses, en aplicación de un requisito de la legislación nacional que obliga al ministro responsable a someter a examen el límite de responsabilidad al menos una vez cada cinco años.³⁶
- b) Los Estados Unidos de América, con arreglo al mecanismo legislativo conocido como Ley Price-Anderson, han seguido indexando la cantidad pagadera por cada explotador en los Estados Unidos de América³⁷ en caso de catástrofe nuclear, aumentando con ello la cuantía total del fondo común que se utilizaría para indemnizar a las víctimas en tal caso. También se ha acrecentado el importe por el que cada central debe estar asegurada. A resultas de estas dos medidas, la cantidad total disponible para pagar indemnizaciones en caso de catástrofe nuclear³⁸ asciende ahora a 13 522 836 000 dólares estadounidenses.³⁹

³³ Señalemos que, en el caso del Japón, varias de estas recomendaciones habían sido aplicadas antes del accidente o lo fueron inmediatamente después.

³⁴ Aproximadamente 560 millones de derecho especial de giro (a 7 de septiembre de 2021).

³⁵ Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8).

³⁶ El proceso de examen estaba en curso en el momento de redactar este artículo.

³⁷ Sabiendo que, cuando se para una central de forma permanente, el que era su explotador deja de estar obligado a pagar una prima diferida tras un incidente nuclear, con lo cual se reduce el importe total disponible para indemnizaciones.

³⁸ Sin contar ni las sumas que en virtud de la Convención sobre Indemnización Suplementaria deban abonar otros Estados parte ni la posibilidad, prevista en la Ley Price-Anderson, de que el Congreso vote por la aportación de fondos adicionales desde el Gobierno.

³⁹ Aproximadamente 9,5 millones de derecho especial de giro (a 9 de septiembre de 2021).

- c) Las sumas de dinero disponibles en el mercado mundial de seguros nucleares han seguido aumentando con los años y actualmente superan con creces los importes establecidos en las convenciones.

12.3.3. Otras recomendaciones

El INLEX formuló además otras dos recomendaciones.

Todos los Estados Miembros deberían:

- a) asegurarse de que todas las demandas derivadas de un accidente nuclear sean tramitadas en un solo foro con prontitud y equidad, de forma no discriminatoria y con un mínimo de litigios, para lo cual cabría prever un sistema de tramitación de demandas (establecido quizá en estrecha colaboración con las aseguradoras u otros garantes financieros) que permitiera tratar todas las demandas con diligencia y equidad;
- b) al redactar o revisar la legislación nacional de responsabilidad por daños nucleares, utilizar como guía, según proceda, el modelo de legislación elaborado por el OIEA.

La experiencia del Japón, que recurrió a un sistema de tramitación de reclamaciones para atender la gran mayoría de las demandas de indemnización, ha alentado a otros varios Estados a prever la creación sin tardanza de un sistema similar para casos de incidente nuclear de gravedad.

12.4. OTROS TEMAS EXAMINADOS POR EL INLEX DESDE 2012, PRINCIPALMENTE EN RESPUESTA A LA EVOLUCIÓN Y LAS INNOVACIONES DE LA INDUSTRIA NUCLEAR MUNDIAL

La industria nuclear mundial no está estática, sino más bien en continua transformación. En particular, la reciente evolución del panorama general de la generación de energía, impulsada por las inquietudes ligadas al cambio climático, ha llevado al sector a plantearse si el modelo vigente desde hace tanto tiempo, que pasa por el empleo de enormes reactores refrigerados por agua construidos *in situ*, es el único modelo viable para generar energía nuclear o si también hay lugar para los diseños avanzados y los reactores transportables o más pequeños, que

podrían ofrecer mayor flexibilidad⁴⁰ y costos de construcción más previsibles. Al igual que se impone actualizar las normas internacionales y nacionales de seguridad para adaptarse a esta evolución, también conviene preguntarse si el régimen vigente de responsabilidad por daños nucleares da adecuada respuesta a los nuevos riesgos que puedan surgir o a todo cambio en la valoración que hagan los expertos de la magnitud de los riesgos existentes. El INLEX debe tener en cuenta, además, los riesgos radiológicos que quedan fuera del ámbito de aplicación de las convenciones existentes.

Al considerar estas cuestiones, el INLEX debe tener en cuenta que los principios de la responsabilidad por daños nucleares están inscritos en tratados internacionales, que son textos muy difíciles de modificar, contrariamente a lo que sucede en el ámbito de la seguridad, pues ahí las convenciones están redactadas en términos genéricos y las reglas de seguridad detalladas están contenidas en normas no vinculantes y sujetas a procesos periódicos de examen y actualización. Por tal razón, el INLEX ha venido instaurando el uso de formular recomendaciones a los Estados que a veces trascienden la letra de las convenciones, partiendo de la lógica de que, en general, los principios de la responsabilidad por daños nucleares ofrecen a las víctimas un mayor nivel de protección y una mayor certidumbre que el derecho normal de responsabilidad civil.

12.4.1. Establecimiento de límites máximos para la exclusión de cantidades pequeñas de materiales nucleares del ámbito de aplicación de las convenciones de Viena sobre responsabilidad por daños nucleares

En 2013, el INLEX estimó que una reciente revisión del Reglamento de Transporte del OIEA, relativa específicamente al material fisible, obligaba a retocar ligeramente la resolución de 2007 de la Junta de Gobernadores sobre la exclusión de cantidades pequeñas de materiales nucleares del ámbito de aplicación de las convenciones de Viena sobre responsabilidad por daños nucleares.⁴¹ En 2014, pues, el INLEX elaboró un proyecto de resolución por el que se modificaba esa resolución anterior de la Junta. Previa aprobación de los comités sobre normas de seguridad competentes, la Junta de Gobernadores aprobó la resolución en noviembre de 2014.⁴²

⁴⁰ Por lo que respecta tanto a su posible emplazamiento como a la posibilidad de hacerlos funcionar en paralelo con fuentes de energía renovables de carácter intermitente.

⁴¹ Sustitución de los términos “párrafo 672 de la edición de 2005 del Reglamento de Transporte del Organismo” por “párrafos 417, 674 y 675 de la edición de 2012 del Reglamento de Transporte del Organismo”.

⁴² OIEA, 2014.

12.4.2. Fuentes radiactivas

Las fuentes radiactivas, estén o no selladas, quedan fuera del ámbito de aplicación de todas las convenciones sobre responsabilidad (véase, por ejemplo, el párrafo g) del artículo I de la Convención de Viena de 1997),⁴³ dado que en general están bajo el control de personas que no son explotadores de instalaciones nucleares.⁴⁴ De forma implícita, los materiales que han llegado a esta fase de fabricación quedan sujetos al derecho general de responsabilidad civil, incluida toda ley de protección ambiental que sea aplicable. Por citar al propio Organismo:

En el mundo está muy extendido el uso de fuentes radiactivas con muchos y diversos fines beneficiosos, en particular en medicina, en la industria en general, en investigación agrícola y en el ámbito de la enseñanza. Hace ya muchos años que está clara la necesidad de velar por la seguridad tecnológica y física de estas fuentes, y muchos Estados Miembros tienen instituida una infraestructura reglamentaria al efecto. Aun así, a raíz de varios accidentes importantes ocurridos en los decenios de 1980 y 1990, la comunidad internacional empezó a dudar de la eficacia de esos controles (...) [Cundió] la convicción de que varios accidentes radiológicos de importancia, algunos de los cuales habían causado lesiones graves, a veces incluso muertes, o graves estropicios económicos, tenían su origen en un control insuficiente de las fuentes radiactivas. Esos accidentes fueron consecuencia del mal funcionamiento o la ausencia de los debidos controles reglamentarios, sin que mediara intención dolosa alguna. A partir de 2001, la inquietud que suscitaba el posible uso de fuentes radiactivas con fines dolosos llevó a la comunidad internacional a ampliar su ámbito de reflexión para tener también en cuenta la necesidad de fortalecer los controles aplicados a la seguridad física de las fuentes radiactivas.⁴⁵

⁴³ “Por ‘productos o desechos radiactivos’ se entenderá los materiales radiactivos producidos durante el proceso de producción o utilización de combustibles nucleares o cuya radiactividad se haya originado por la exposición a las radiaciones inherentes a dicho proceso, salvo los radioisótopos que hayan alcanzado la etapa final de su elaboración y puedan ya utilizarse con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales” (énfasis añadido), Convención de Viena de 1997 (véase la nota al pie 13).

⁴⁴ Cuando una fuente radiactiva es utilizada en una instalación nuclear, los daños que provoque pueden ser indemnizables en aplicación de las convenciones sobre responsabilidad. Véanse el párrafo 4 del artículo IV de la Convención de Viena de 1997 (nota al pie 13) y las disposiciones similares de las demás convenciones.

⁴⁵ OIEA, 2015, págs. 707 y 708.

Teniendo en cuenta estos riesgos, a principios de los años 2000 el OIEA adoptó un Código de Conducta sobre la Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas,⁴⁶ que contiene un amplio conjunto de recomendaciones dirigidas a los Estados sobre las estructuras reglamentarias que deberían establecer para asegurar la seguridad tecnológica y física de las fuentes selladas que tengan bajo su jurisdicción, ya estén en uso o almacenadas. El Código, sin embargo, no contiene ninguna disposición referida a la responsabilidad civil. En 2013, en el curso de una importante conferencia internacional, se propuso que el INLEX estudiara la cuestión.⁴⁷

Cuando el INLEX trató el tema, la opinión generalizada en su seno fue que el posible alcance de los daños, en particular los transfronterizos, no justificaba un régimen internacional especial. Aun así, el INLEX recomendó a los Estados que, como condición para otorgar licencia a una actividad en la que se hubiera de emplear una fuente radiactiva de actividad alta, exigieran al licenciatario que contratase un seguro por un determinado importe⁴⁸ que cubriera su eventual responsabilidad por daños a terceros, requisito que algunos Estados ya tienen instituido. Las aseguradoras opinaron que semejante seguro era fácil de suscribir.⁴⁹ El INLEX, por consiguiente, alentó a la Secretaría del OIEA a que, como parte de su labor de prestación de asistencia legislativa, transmitiese a los Estados Miembros la importancia de tener en cuenta una provisión de seguro que cubra las fuentes radiactivas.

El INLEX señaló que las instalaciones donde se procesa material a granel irradiado en un reactor hasta llevarlo a su forma final no entran dentro de la excepción, como tampoco entra el transporte de dicho material a granel. Las barras de cobalto-60, por ejemplo, suelen transportarse en forma de material a granel desde una instalación nuclear hasta un fabricante de fuentes radiactivas. Otro ejemplo lo brinda el caso del molibdeno-99, isótopo que se utiliza en medicina nuclear y que, tras ser generado en un reactor, suele ser transportado a granel a otro emplazamiento y allí dispensado dentro de “generadores” para el uso de hospitales y otros establecimientos médicos. En tales circunstancias no se aplicaría la exclusión, pues no cabría considerar que el material transportado es un radioisótopo “que ha alcanzado la etapa final de su elaboración”. Las

⁴⁶ OIEA, 2004.

⁴⁷ OIEA, 2015, pág. 720.

⁴⁸ Este importe puede estar especificado en la reglamentación o en la licencia referida a una fuente en concreto.

⁴⁹ En el caso de instalaciones como hospitales, las pólizas de seguro general suelen cubrir los riesgos, relativamente menores, derivados de las fuentes radiactivas que puedan albergar.

instalaciones donde se transforman los materiales para llevarlos a su forma final son “instalaciones nucleares” en el sentido de las convenciones.⁵⁰

12.4.3. Centrales nucleares transportables

El INLEX pasó muchos años debatiendo si las centrales nucleares transportables entraban o no en el ámbito de aplicación de las convenciones. El quid de la cuestión reside en la definición de “instalación nuclear” que figura en los textos, y en particular en la salvedad establecida respecto de los reactores nucleares “que se utilicen como fuente de energía en un medio de transporte aéreo o marítimo, tanto para su propulsión como para otros fines”.⁵¹ Hubo amplia coincidencia de opiniones en que, si bien el régimen de responsabilidad por daños nucleares no se aplica a los reactores con los que esté equipado un medio de transporte marítimo o aéreo (o, en el caso del Convenio de París,⁵² cualquier medio de transporte) para sus propios fines operativos, las centrales nucleares transportables que vayan a utilizarse únicamente para la producción externa de energía nuclear sí quedarían sujetas a dicho régimen cuando estén en funcionamiento. El INLEX entendió que la expresión “como fuente de energía” entrañaba necesariamente que la energía fuera utilizada para subvenir al funcionamiento del medio de transporte marítimo o aéreo.⁵³ Esta conclusión es coherente con la intención que claramente animaba a los redactores originales de la Convención de Viena⁵⁴ de incluir en la definición de “instalación nuclear” las “centrales portátiles de baja y media potencia” transportadas en camión o ferrocarril (excluyendo al mismo tiempo los reactores utilizados para propulsar medios de transporte por mar, aire o el espacio exterior), siempre que los reactores portátiles estuvieran en posición estacionaria y en funcionamiento.⁵⁵

⁵⁰ Teniendo presente que “el Estado de la instalación podrá determinar que se considere como una sola instalación nuclear a varias instalaciones nucleares de un solo explotador que estén ubicadas en un mismo lugar”, párrafo 1.j) del artículo I de la Convención de Viena de 1997 (véase la nota al pie 13). Párrafo 1.b) del artículo 1 del Anexo de la Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8). La definición que figura en el Convenio de París está redactada en términos distintos, pero en última instancia significa lo mismo.

⁵¹ Párrafo 1.j.i) del artículo I de la Convención de Viena de 1997 (véase la nota al pie 13). Párrafo 1.b.i) del artículo 1 del Anexo de la Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8). La definición que figura en el Convenio de París está redactada en términos distintos, pero en última instancia significa lo mismo.

⁵² Convenio de París (véase la nota al pie 11).

⁵³ Esta conclusión no puede aplicarse cuando el reactor sea utilizado para propulsar el buque, pues cuando semejante buque estuviera en movimiento quedaría fuera de la definición de “instalación nuclear” que figura en todas las convenciones.

⁵⁴ Convención de Viena (véase la nota al pie 11).

⁵⁵ OIEA, 1964.

Una vez establecido que las centrales nucleares transportables encajan, en principio, con la definición de “instalación nuclear”, la siguiente cuestión que se plantea es la de cuál sería, a los efectos de las convenciones, el “Estado de la instalación”. Hasta la fecha, todas las propuestas de central nuclear transportable prevén que el reactor solo pueda funcionar cuando esté en posición fija, muy probablemente dentro del territorio⁵⁶ de un Estado (que sería el Estado de la instalación). En el caso improbable de que una de estas centrales sea explotada fuera del territorio o las aguas territoriales de cualquier Estado (desde islas artificiales, instalaciones u otras estructuras situadas en la zona económica exclusiva o la plataforma continental), las normas jurisdiccionales del derecho del mar relativas a la zona económica exclusiva y la plataforma continental podrían servir, en principio, para determinar el Estado de la instalación. En caso de que ese Estado no sea parte en las convenciones internacionales surgen interrogantes, pero estos no difieren, en principio, de los que plantean los reactores terrestres situados en tales Estados.

Así pues, resulta sencillo determinar cuál es el Estado de la instalación de una central nuclear transportable cuando esta está en funcionamiento. Sin embargo, dado el carácter móvil de estas centrales, también hay que tener en cuenta la responsabilidad en caso de incidente nuclear ocurrido durante el transporte del reactor. Cuando es desplazada desde el lugar de fabricación hasta el lugar de despliegue, una central nuclear transportable puede contener, o no contener, combustible sin irradiar. A efectos de responsabilidad, en el primer caso la operación sería considerada transporte de material nuclear, mientras que en el segundo no serían aplicables las convenciones sobre responsabilidad. Por otra parte, en el transporte de regreso desde el lugar de despliegue hasta el lugar de fabricación, puede que la central contenga combustible gastado o puede que este haya sido previamente descargado (aunque inevitablemente, dada la activación de los materiales estructurales, la central seguirá siendo radiactiva). En ambos casos, a efectos de responsabilidad, la operación sería de nuevo considerada transporte de material nuclear.

Sin embargo, si el Estado anfitrión no es parte en la misma convención que el Estado de origen, o no es parte en ninguna convención, quizá no haya un “explotador receptor” en el sentido de las convenciones. Si se interpretan estas literalmente, el “explotador remitente” podría seguir siendo el explotador responsable durante toda la duración del despliegue. Según esta interpretación, el Estado de origen seguiría siendo el Estado de instalación. En particular, cuando el explotador remitente se encuentre en un Estado que sea parte contratante en la Convención de Viena (por tomar este ejemplo) y se envíe el reactor a una persona situada en un Estado que no sea parte contratante, el explotador

⁵⁶ La noción de “territorio” incluye las aguas territoriales.

remiteute será responsable de los daños causados por todo incidente nuclear que se produzca antes de que “las sustancias nucleares hayan sido descargadas del medio de transporte en que hayan llegado al territorio” de ese Estado que no es parte contratante, según lo dispuesto en el párrafo 1.b.iv) del artículo II de la Convención de Viena.⁵⁷ En todas las convenciones se utiliza una formulación similar. Esta redacción fue considerada poco adaptada al caso de una central nuclear transportable, pues de ella se desprende que, al no haber descarga de material nuclear del medio de transporte en el que la central nuclear haya llegado al Estado de destino, el explotador remitente seguiría siendo responsable indefinidamente, con independencia de que a partir de ahí, una vez en el Estado de destino, la central sea explotada por otro operador y quede sujeta a otro organismo regulador. Tras un amplio debate, el INLEX entendió que había que interpretar la Convención de Viena y la Convención sobre Indemnización Suplementaria⁵⁸ en el sentido de que, en el caso particular del transporte de una central nuclear montada sobre plataforma flotante, cuando no hay descarga de combustible del buque antes de que dé comienzo la explotación, el explotador remitente dejará de ser responsable en el momento en que se haga cargo de la central la persona autorizada en el Estado de destino. En un momento ulterior, cuando el explotador remitente original se haga cargo de la central transportable para devolverla al Estado de origen, ese explotador asumirá de nuevo la responsabilidad. Aunque todo esto parezca complicado, en realidad es inevitable que el despliegue y la explotación de una central nuclear transportable en un Estado que no sea el de origen sea objeto de un acuerdo intergubernamental entre los dos Estados en cuestión. En tal acuerdo se especificaría, entre otras cosas, quién asume la regulación de la instalación y, en ausencia de una convención vigente sobre responsabilidad en la que ambos Estados sean parte, qué normas de responsabilidad se aplican.⁵⁹

12.4.4. Interacción, de haberla, entre las convenciones sobre responsabilidad y la Convención sobre Asistencia

En 2014, el INLEX examinó la eventual interacción entre las convenciones sobre responsabilidad y la Convención sobre Asistencia en caso de Accidente

⁵⁷ Convención de Viena (véase la nota al pie 11) y Convención de Viena de 1997 (véase la nota al pie 13).

⁵⁸ Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8).

⁵⁹ Aunque tal acuerdo no puede ir en detrimento de los derechos que asistan a otros Estados con arreglo a cualquier convención sobre responsabilidad que sea aplicable.

Nuclear o Emergencia Radiológica (Convención sobre Asistencia),⁶⁰ en particular su artículo 10. En este artículo se establece que, respecto de toda muerte o lesión de personas, de todo daño o pérdida de bienes o de todo perjuicio ambiental causado en el territorio del Estado solicitante de asistencia o en cualquier otra zona bajo su jurisdicción o control durante la prestación de la asistencia solicitada, dicho Estado deberá: a) abstenerse de entablar acciones judiciales contra la parte que suministre asistencia o las personas o entidades que actúen en su nombre; b) asumir la responsabilidad de hacer frente a las acciones judiciales que pueda entablar un tercero; c) considerar exenta de responsabilidad, respecto de dichas acciones judiciales, a la parte que suministre asistencia o a las personas o entidades que actúen en su nombre; y d) indemnizar a la parte que suministre asistencia o a las personas o entidades que actúen en su nombre por los daños sufridos a resultas de la prestación de asistencia.

El INLEX señaló que el artículo 10 de la Convención sobre Asistencia⁶¹ solo podía aplicarse cuando la propia Convención era aplicable y que, en cada caso, debía quedar claro si se había invocado dicho artículo. Además, observó que un número importante de Estados que eran parte en la Convención habían formulado reservas al artículo 10 y que la existencia de tal reserva podría influir en la predisposición de otros Estados parte a prestar asistencia. El INLEX subrayó que, si existieran relaciones convencionales enmarcadas en una de las convenciones internacionales sobre responsabilidad, el artículo 10 sería de poca relevancia práctica en aquellos incidentes en los que fuera aplicable una u otra de dichas convenciones, dado que, en cualquier caso, la canalización de la responsabilidad hacia el operador eximiría de hecho de responsabilidad a la parte que prestara asistencia o a las personas o entidades que actuaran en su nombre. Sin embargo, el ámbito de aplicación de la Convención sobre Asistencia es mucho más amplio que el de las convenciones sobre responsabilidad, pues se extiende a todos los incidentes radiológicos, incluidos los relacionados con fuentes radiactivas, y el artículo 10 se aplica también a los daños de índole distinta de la nuclear. El artículo 10 de la Convención sobre Asistencia también puede ser pertinente cuando se presenten reclamaciones en un Estado que no sea el solicitante de asistencia y entre esos dos Estados no haya relaciones convencionales encuadradas en una de las convenciones sobre responsabilidad por daños nucleares.

⁶⁰ La Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica (Convención sobre Asistencia), abierta a la firma el 26 de septiembre de 1986 (Viena) y el 6 de octubre de 1986 (Nueva York), entró en vigor el 26 de febrero de 1987.

⁶¹ Convención sobre Asistencia (véase la nota al pie 60).

12.4.5. Instalaciones en proceso de clausura

En principio, el hecho de determinar si las convenciones se aplican o no a un reactor u otra instalación nuclear en proceso de clausura no presenta dificultad alguna. Estas estructuras, aunque quizá ya no “contengan combustibles nucleares dispuestos de tal modo que dentro de ella[s] pueda tener lugar un proceso automantenido [en cadena] de fisión nuclear sin necesidad de una fuente adicional de neutrones”, no dejan de ser “instalaciones de almacenamiento de sustancias nucleares” (desechos radiactivos). El emplazamiento solo quedará fuera del ámbito de aplicación de las convenciones cuando esté completamente liberado del control reglamentario como instalación nuclear.

La dificultad estriba en que cuando un reactor, por ejemplo, está en explotación, queda sujeto a límites de responsabilidad y, en particular, a importes de cobertura de seguro muy elevados. ¿En qué fase del proceso de clausura se reduce la peligrosidad de ese reactor hasta tal punto que ya no hace falta asegurarlo por ese importe o, siquiera, asegurarlo en absoluto? Esta cuestión resulta especialmente espinosa en el marco del Convenio de París modificado por el Protocolo de 2004, dado que en este texto la cuantía mínima de la responsabilidad y la cobertura de seguro, en el caso de las instalaciones de menor riesgo, queda fijada en 70 millones de euros.⁶² Si en las últimas fases del proceso de clausura el Gobierno desea reducir aún más la carga que recae en el “explotador” de una instalación, la única posibilidad es la de excluir totalmente la instalación del ámbito de aplicación del Convenio, con arreglo al párrafo b) de su artículo 1.⁶³ El Comité Directivo sobre Energía Nuclear de la AEN de la OCDE ha establecido criterios para la exclusión de determinadas instalaciones en virtud de esta disposición. Parecidas consideraciones se aplican a las instalaciones utilizadas para la disposición final de ciertos tipos de desechos radiactivos de actividad baja.

En 2017, el INLEX se planteó si era necesario que la Junta de Gobernadores del OIEA adoptara medidas similares.⁶⁴ Sin embargo, se observó que tanto la Convención de Viena de 1997 (párrafo 2 del artículo V) como la Convención sobre Indemnización Suplementaria (párrafo 2 del artículo 4 del Anexo) permiten que el Estado de la instalación, teniendo en cuenta la índole de la instalación nuclear o de los materiales nucleares de que se trate y las posibles consecuencias de un

⁶² Artículos 7.b) y 10.a) del Protocolo de 2004 del Convenio de París (véase la nota al pie 17).

⁶³ Convenio de París (véase la nota al pie 11).

⁶⁴ Párrafo 2 del artículo I de la Convención de Viena (véase la nota al pie 11) y la Convención de Viena de 1997 (véase la nota al pie 13). Párrafo 2 del artículo 1 del Anexo de la Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8).

incidente originado en ellos, pueda fijar en una cuantía inferior la responsabilidad del explotador (5 millones de derecho especial de giro). Atendiendo a este hecho, y señalando también que la exclusión de ciertas instalaciones del ámbito de aplicación de la Convención de Viena y la Convención sobre Indemnización Suplementaria puede ser un elemento disuasorio para aquellas empresas que se planteen participar en actividades de clausura, el INLEX llegó a la conclusión de que no era necesario excluir ninguna instalación que esté en proceso de clausura ni ninguna instalación de disposición final de desechos de actividad baja del ámbito de aplicación de la Convención de Viena de 1997 y la Convención sobre Indemnización Suplementaria.

12.4.6. Instalaciones de disposición final de desechos

De 2016 a 2018, el INLEX examinó la aplicación de las convenciones a las instalaciones de disposición final de desechos radiactivos, teniendo en cuenta que en las convenciones aprobadas bajo los auspicios del OIEA solo se incluyen de forma expresa las instalaciones de “almacenamiento” de material nuclear, noción que engloba los desechos radiactivos.⁶⁵ Dentro del tiempo de vida útil de tales instalaciones, el INLEX distinguió y consideró tres períodos distintos:

- a) el período en que la instalación está funcionando activamente y un explotador con licencia coloca los desechos;
- b) el período inmediatamente posterior al cierre de la instalación,⁶⁶ en el que permanecerán activos los controles institucionales y la instalación seguirá sujeta a control reglamentario, en presencia de un explotador autorizado;
- c) el período que sigue al término del control institucional,⁶⁷ cuando el titular renuncia a la licencia de explotación o esta llega a su fin de cualquier otro modo.

El INLEX señaló que sería interesante mantener en lo posible estas instalaciones dentro del ámbito de aplicación de las convenciones, pues de lo contrario, en caso de que se produjera un incidente en una de ellas, la legislación aplicable sería el derecho general de responsabilidad civil u otras disposiciones

⁶⁵ En el Protocolo de 2004 del Convenio de París (véase la nota al pie 17), las “instalaciones destinadas al almacenamiento definitivo de sustancias nucleares” están incluidas de forma expresa en la definición de “instalación nuclear”.

⁶⁶ Este período podría durar hasta 300 años.

⁶⁷ Aunque los riesgos propios de este período serían seguramente muy limitados y la probabilidad de que se produzcan daños transfronterizos es ínfima, las convenciones también actúan para armonizar el derecho nacional en materia de responsabilidad.

legales, cosa que sería problemática, en particular, cuando los desechos radiactivos siguieran siendo propiedad de quien los hubiera generado.

Por lo que respecta a los períodos a) y b), el INLEX llegó a la conclusión de que, durante la fase en que los controles institucionales permanecen activos (cuya duración diferirá según el país y la clase de desechos de que se trate), seguirá habiendo un explotador y cabe considerar que los desechos estarán almacenados. Por lo tanto, las convenciones sobre responsabilidad por daños nucleares seguirían siendo de aplicación durante el período de control institucional.

En cuanto al período c), esto es, el posterior al cese del control institucional en el emplazamiento, el INLEX señaló que, en ausencia de un explotador, no es posible aplicar las convenciones sobre responsabilidad por daños nucleares, por lo que, implícitamente, se presupone que el Estado que haya aceptado el cese del control institucional asumirá la responsabilidad en caso de incidente nuclear. En tal eventualidad, el Estado abonaría indemnizaciones por los daños causados por el incidente nuclear, asumiendo así implícitamente la responsabilidad por daños nucleares.

12.5. ÁMBITOS DE REFLEXIÓN PARA HOY Y PARA MAÑANA

Como se observará, el INLEX sigue con gran interés la actual ola de innovaciones que conoce la industria nuclear y está estudiando sus consecuencias desde el punto de vista de la responsabilidad por daños nucleares. Hemos empezado a examinar la cuestión de la fusión nuclear y pronto nos ocuparemos de los reactores modulares pequeños y los reactores marinos.

12.5.1. Instalaciones de fusión nuclear

Aunque el proyecto de reactor de fusión más conocido es el proyecto ITER, radicado en Francia, actualmente hay numerosos proyectos en numerosos países encaminados a desarrollar el diseño de distintas instalaciones de fusión. La mayoría de los nuevos conceptos corresponden a reactores mucho más pequeños que el ITER, pero sus artífices apuntan a plazos mucho más cortos hasta llegar a la fase de despliegue comercial. La fusión está pasando ahora del ámbito académico a lógicas mucho más tecnológicas, de modo que las cantidades de sustancias radiactivas que generadas en instalaciones más avanzadas serán muy superiores a las que se generan hoy en las instalaciones experimentales existentes. Además, las entidades privadas se están incorporando a la dinámica de desarrollo de las futuras instalaciones de fusión, lo que quizá haga necesario un ordenamiento

reglamentario más sólido, algo que de hecho ya tienen en estudio los Estados Unidos de América, el Reino Unido⁶⁸ y otros países.

El consenso técnico es que la hipótesis de un accidente catastrófico no resulta creíble, sabiendo que las cantidades de material radiactivo presentes en los reactores de fusión (principalmente tritio) son mucho menores que las de las instalaciones comerciales que albergan procesos de fisión. Sin embargo, la futura explotación de las instalaciones de fusión llevará a generar cantidades sustanciales de desechos radiactivos de actividad baja o intermedia, tanto tritio como material activado por el funcionamiento del reactor.

Las instalaciones de fusión nuclear quedan fuera de la definición de “instalación nuclear” establecida en todas las convenciones⁶⁹ y, análogamente, todo material radiactivo que se genere durante su explotación queda fuera de la definición de “material nuclear”. Por lo tanto, el régimen de responsabilidad aplicable a estas instalaciones depende hoy, exclusivamente, de las leyes de cada país.

El INLEX se ha planteado si convendría incluir las instalaciones de fusión nuclear en el ámbito de aplicación de la Convención de Viena de 1997⁷⁰ o más bien instaurar un régimen específico, ya sea de dimensión internacional o a escala nacional, para tratar la responsabilidad por eventuales daños derivados de las instalaciones de fusión nuclear o actividades conexas. Estas deliberaciones no han desembocado todavía en una postura definitiva. Por un lado, el peligro que entrañan las instalaciones de fusión no es del mismo calado que el de los grandes reactores de fisión, sino que está más próximo, en cuanto a magnitud, al de una gran planta química o al de las actividades de extracción y tratamiento de uranio, que están fuera del ámbito de aplicación de las convenciones. Desde este punto de vista, el hecho que las convenciones existentes sobre responsabilidad por daños nucleares se apliquen a las instalaciones de fusión podría llevar al gran público a pensar que estas instalaciones entrañan peligros de índole parecida a

⁶⁸ Departamento de Empresa, Energía y Estrategia Industrial (2021), *Towards Fusion Energy*. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1022540/towards-fusion-energy-uk-government-fusion-strategy.pdf (publicación consultada el 12 de octubre de 2021). Este documento incluye un análisis específico de las cuestiones de responsabilidad civil, págs. 50-54.

⁶⁹ Las definiciones de “reactor nuclear” y “combustible nuclear” remiten explícitamente a la fisión.

⁷⁰ Por medio de una decisión adoptada por la Junta de Gobernadores con arreglo al párrafo 1.j.iv) del artículo I de la Convención de Viena de 1997 (véase la nota al pie 13). La adopción de tal decisión en el marco de la Convención de Viena de 1963 (véase la nota al pie 11) o de la Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8) no podría surtir efecto, pues ninguno de los dos instrumentos cuenta con la correspondiente disposición al efecto.

los de un gran reactor de fisión. Pero, por otro lado, las convenciones existentes sí se aplican a instalaciones que presentan un nivel parecido de peligrosidad, como reactores de investigación o instalaciones de almacenamiento de desechos radiactivos, y el régimen de responsabilidad por daños nucleares ofrece a las víctimas un mayor nivel de protección que el derecho normal de responsabilidad civil. Las deliberaciones proseguirán en la 22ª reunión del INLEX, que tendrá lugar en 2022.

12.5.2. Reactores modulares pequeños

En su reunión de 2021, el INLEX decidió que en 2022 examinaría las cuestiones de responsabilidad que se plantean en torno a los reactores modulares pequeños (SMR). En principio, los SMR no abren ningún nuevo interrogante respecto del régimen de responsabilidad por daños nucleares, toda vez que, si bien es cierto que pueden entrañar menos peligro que los grandes reactores de potencia porque albergan menores cantidades de material radiactivo,⁷¹ este es también el caso de los reactores de investigación, que sin embargo quedaron sujetos al régimen de responsabilidad desde buen principio. Lo que quizá merezca debate es la (eventual) opinión del INLEX sobre la conveniencia de que los Estados reduzcan el límite de responsabilidad y/o el importe de la garantía financiera del explotador, conforme a lo previsto en los artículos V y VII de la Convención de Viena de 1997⁷² y en disposiciones análogas de las demás convenciones. Será instructivo conocer la experiencia que puedan referir los expertos de gobiernos, entes de la industria y aseguradoras respecto de otras situaciones en que los Estados, aprovechando estas disposiciones, hayan hecho lo propio con otras instalaciones y actividades que entrañan poco peligro.

12.5.3. Buques de propulsión nuclear

Seguramente el INLEX también empezará a examinar en 2022 las cuestiones de responsabilidad ligadas a los buques de propulsión nuclear.

⁷¹ Teniendo también en cuenta el supuesto aumento de los márgenes de seguridad que ofrecen los SMR de la próxima generación, como los reactores de sales fundidas o los de lecho de bolas.

⁷² “[E]l Estado de la instalación, teniendo en cuenta la índole de la instalación nuclear o de los materiales nucleares de que se trate y las posibles consecuencias de un incidente originado en ellos, podrá estipular un importe menor de la responsabilidad del explotador, siempre que el importe así estipulado en ningún caso sea inferior a 5 millones de DEG y siempre que el Estado de la instalación garantice la aportación de fondos públicos hasta el importe determinado con arreglo al párrafo 1”. Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8).

Últimamente, en revistas que tratan temas nucleares⁷³ han aparecido artículos sobre los planes que elaboran entidades explotadoras y órganos reguladores para preparar la introducción de buques civiles alimentados por energía nuclear. La creciente inquietud por las emisiones de gases de efecto invernadero de las embarcaciones que funcionan con gasóleo ha llevado a proponer el uso de energía nuclear, bien para generar hidrógeno o amoníaco en sustitución del gasóleo en los motores de combustión interna, o bien directamente como fuente de energía para el buque. Mientras que la primera opción no plantea ningún problema nuevo en materia de responsabilidad por daños nucleares, la segunda sí es digna de debate. Contrariamente al caso de los reactores montados sobre plataforma flotante, en que lo idóneo es considerarlos cubiertos por las convenciones (véase la sección 12.4.3), los buques de propulsión nuclear quedan a todas luces fuera de la definición de “instalación nuclear” establecida en la Convención de Viena,⁷⁴ la Convención sobre Indemnización Suplementaria⁷⁵ y el Convenio de París.⁷⁶ Para dar respuesta a esta posible laguna, detectada a principios de los años sesenta, en la undécima Conferencia Diplomática de Derecho Marítimo, celebrada en Bruselas del 17 al 29 de abril de 1961 bajo el patrocinio del Gobierno belga y del OIEA, se aprobó la Convención de Bruselas de 1962 sobre la Responsabilidad de los Explotadores de Buques Nucleares.⁷⁷ Aquel instrumento, sin embargo, no ha llegado nunca a entrar en vigor, por motivos ya analizados en detalle⁷⁸ que huelga repetir aquí. En los años noventa, en el momento de los debates del Comité Permanente sobre la Responsabilidad por Daños Nucleares para revisar la Convención de Viena, el escepticismo imperante sobre la perspectiva de buques civiles propulsados por energía nuclear hizo que se acogiera con escaso interés una tardía propuesta para incluirlos en el ámbito de aplicación de las convenciones revisadas.⁷⁹ Por lo demás, no había ciertamente ninguna posibilidad de incluir en el ámbito de aplicación los buques militares de propulsión nuclear, teniendo en

⁷³ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Q-A-Core-Power-Chairman-and-CEO-Mikal-B%C3%B8e> (consultado el 13 de septiembre de 2021); <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/UK-introducing-regulation-for-nuclear-shipping> (consultado el 13 de septiembre de 2021).

⁷⁴ Convención de Viena (véase la nota al pie 11).

⁷⁵ Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8).

⁷⁶ Convenio de París (véase la nota al pie 11).

⁷⁷ La Convención sobre la Responsabilidad de los Explotadores de Buques Nucleares y su Protocolo Adicional (Responsabilidad de los buques nucleares, 1962), abiertos a la firma el 25 de mayo de 1962, aún no han entrado en vigor.

⁷⁸ Handrlica, 2009.

⁷⁹ OIEA, 2017, nota al pie 73.

cuenta la decisión de eliminar toda posible ambigüedad respecto a la inclusión de las instalaciones militares en general.⁸⁰

Si considera conveniente abordar esta posible laguna futura en la cobertura de la responsabilidad por daños, el INLEX puede examinar una serie de cuestiones, enunciadas a continuación.

- Las posibilidades de que el Convenio de Bruselas de 1962⁸¹ entre en vigor, teniendo en cuenta que no solo existe el problema de los buques militares, sino que además el límite de la responsabilidad ha quedado superado por las convenciones de los años noventa, sin olvidar que las disposiciones de este convenio posiblemente atribuyan competencias a los tribunales de varios Estados parte.
- La posibilidad de introducir modificaciones en el Convenio de Bruselas de 1962, sabiendo que su depositario no es el OIEA, sino el Gobierno de Bélgica.
- La posibilidad de modificar las versiones modernizadas de las convenciones sobre responsabilidad para eliminar la salvedad en la definición de “instalación nuclear”, teniendo en cuenta la extrema lentitud con la que avanzan las ratificaciones de las convenciones de los años noventa.
- El posible margen existente para que la Junta de Gobernadores del OIEA agregue los buques de propulsión nuclear al ámbito de aplicación de la Convención de Viena de 1997⁸² mediante una decisión adoptada en virtud del párrafo 1.j.iv) del artículo I,⁸³ teniendo también en cuenta que tal decisión no podría surtir efecto en el marco de la Convención de Viena de 1963⁸⁴ y la Convención sobre Indemnización Suplementaria⁸⁵, dado que ninguna de las dos cuenta con la correspondiente disposición al efecto.
- La posibilidad de resolver la cuestión mediante acuerdos bilaterales suscritos entre el Estado de pabellón del buque y el Estado o los Estados donde se encuentren los puertos de escala, como han propuesto algunas voces,⁸⁶ sabiendo que tal solución no respondería a las preocupaciones⁸⁷ de los Estados de tránsito.⁸⁸

⁸⁰ *Ibid.*, pág. 28.

⁸¹ Responsabilidad de los buques nucleares, 1962 (véase la nota al pie 77).

⁸² Convención de Viena de 1997 (véase la nota al pie 13).

⁸³ En el Convenio de París se atribuye una facultad similar al Comité Directivo sobre Energía Nuclear de la AEN de la OCDE.

⁸⁴ Convención de Viena (véase la nota al pie 11).

⁸⁵ Convención sobre Indemnización Suplementaria (véase la nota al pie 8).

⁸⁶ Handrlica, 2009.

⁸⁷ Sin entrar a prejulgar si tales preocupaciones estarían técnicamente justificadas, sí sabemos que existirán.

⁸⁸ Incluidos los Estados cuya zona económica exclusiva pudiera ser área de tránsito.

12.6. CONCLUSIÓN

La industria nuclear sigue evolucionando, con frecuencia siguiendo caminos que no podían prever quienes a principios de los años sesenta formularon los principios de la responsabilidad por daños nucleares.⁸⁹ Las recomendaciones formuladas por el INLEX hacen posible adaptar el régimen internacional de responsabilidad a esta evolución, manteniendo a la vez la fidelidad a aquellos principios.

REFERENCIAS

- Handrlica J (2009) Facing Plans for Multiplying Nuclear-Powered Vessels: Lessons Gained from the Brussels Convention on the Liability of Operators of Nuclear Ships of 1962, *International Journal of Nuclear Law* 2:313–333.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1964) Civil Liability for Nuclear Damage, Official Records. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub54web.pdf>. Accessed 13 September 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2004) *Código de Conducta sobre la Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas*. <https://www.iaea.org/publications/6956/code-of-conduct-on-the-safetyand-security-of-radioactive-sources>. Consultado el 13 de septiembre de 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2011a) *Medidas para fortalecer la cooperación internacional en materia de seguridad nuclear, radiológica, del transporte y de los desechos*, GC(55)/RES/9.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011b) IAEA Action Plan on Nuclear Safety. <https://www.iaea.org/sites/default/files/actionplann.pdf>. Accessed 13 September 2021
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012) IAEA Action Plan on Nuclear Safety – Nuclear Liability. <https://www.iaea.org/sites/default/files/17/11/actionplan-nuclear-liability.pdf>. Accessed 13 September 2021
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013) The 1988 Joint Protocol Relating to the Application of the Vienna Convention and the Paris Convention — Explanatory Text, IAEA International Law Series, No. 5, IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2014) *Establecimiento de Límites Máximos para la Exclusión de Cantidades Pequeñas de Materiales Nucleares del Ámbito de Aplicación de las Convenciones de Viena sobre Responsabilidad por Daños Nucleares: Resolución aprobada por la Junta de Gobernadores el 20 de noviembre de 2014*, GOV/2014/63.

⁸⁹ Aunque resulta interesante leer los *travaux préparatoires* de la Convención de Viena de 1963 (véase la nota 11) y observar que ya se abordaban perspectivas, como la de las centrales nucleares transportables, que iban a tardar décadas en hacerse realidad.

- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015) Safety and Security of Radioactive Sources: Maintaining Continuous Global Control of Sources throughout Their Life Cycle, Proceedings of an International Conference Held in Abu Dhabi, IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2017) The 1997 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage and the 1997 Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage — Explanatory Texts, IAEA International Law Series No. 3 (Revised), IAEA, Vienna.
- OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2012) Japan's Compensation System for Nuclear Damage. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14806/japan-s-compensation-system-for-nuclear-damage. Accessed 13 September 2021

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

13. EL ÁTOMO HUMANITARIO: LA FUNCIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEOELÉCTRICA EN LA CONSECUCCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LAS NACIONES UNIDAS

Sama Bilbao y León y John C. H. Lindberg

Resumen Tras décadas de mensajes básicamente retóricos sobre el cambio climático, ahora es preciso tomar medidas urgentes y contundentes para evitar sus peores efectos. Pese a ello, el discurso de la transición energética refleja una filosofía antihumanitaria que socavará todo esfuerzo serio por lograr la descarbonización y no hará más que blindar las desigualdades mundiales ya existentes. Las posibilidades que ofrece la energía nucleoelectrica para reducir radicalmente las emisiones de gases de efecto invernadero están ya bien estudiadas. Sin embargo, hasta ahora, poco se ha hecho para tratar de comprender de verdad cómo puede contribuir la tecnología nuclear a la consecución de un desarrollo sostenible y equitativo. La ciencia y la tecnología nucleares, por sus amplias aplicaciones, deberían ocupar un lugar central en las políticas destinadas a combatir la pobreza energética, reducir la contaminación atmosférica, suministrar agua limpia, hacer frente a la inseguridad alimentaria o cumplir otros Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. En este capítulo se analiza el lugar central de la energía para propiciar un desarrollo sostenible y una transición energética justa, así como la trascendencia de la energía nuclear, cuya función va mucho más allá del simple suministro de electricidad baja en emisiones de carbono.

Palabras clave Agua limpia • Aire limpio • Cambio climático • Cáncer • Cero emisiones netas • Diversidad biológica • Energía baja en emisiones de carbono • Energía nuclear • Hambre • Medio ambiente • Objetivos de desarrollo sostenible • Tecnología nuclear • Transición energética

13.1. INTRODUCCIÓN

La pandemia de COVID-19 se ha sumado a los numerosos retos a los que se enfrenta la humanidad, desde los efectos del cambio climático y la contaminación atmosférica hasta la desnutrición crónica, la escasez de agua, los desplazamientos forzados y la creciente desigualdad. Incluso antes de la pandemia, se requería un gran salto adelante para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

(ODS) de las Naciones Unidas para la fecha límite de 2030.¹ Aunque la pandemia ha subrayado las numerosas desigualdades mundiales que siguen existiendo, no hay que restar importancia a los inmensos avances en materia de desarrollo humano que se han producido desde el final de la Segunda Guerra Mundial. El nivel de vida ha aumentado en todo el mundo: en 1950, el 55 % de la población mundial vivía en la pobreza extrema y un 72 % en la pobreza,² mientras que en 2017 estas cifras eran del 9,3 % y el 40 %, respectivamente.³ En 1950, el 24,7 % de los niños moría antes de los cinco años, una cifra que se había reducido al 3,9 % en 2018.⁴ En menos de 50 años, el número de personas que padecen hambre o desnutrición ha disminuido en un 17 %, ⁵ mientras que la cantidad de personas con acceso a la electricidad ha pasado del 72,8 % en 2000 al 90 % en 2019, menos de 20 años después.⁶

Este asombroso progreso en el nivel de vida humano ha sido alimentado, en buena parte, por los combustibles fósiles. En el próximo episodio de la andadura humana, el reto consiste en encontrar la manera de preservar los progresos conseguidos y al mismo tiempo garantizar que la humanidad haga un uso sostenible de los recursos y el medio ambiente. Las actividades humanas han tenido un impacto considerable en el sistema terrestre y se requieren medidas urgentes para no desestabilizar aún más la habitabilidad del planeta.⁷ Uno de los principales motores es la insostenibilidad de la actual trayectoria de desarrollo, que tiene en el cambio climático antropogénico uno de sus problemas sintomáticos, calificado por las Naciones Unidas como “el mayor desafío de nuestro tiempo”.⁸ Para mantener el calentamiento planetario por debajo de 1,5 °C, las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero deben disminuir rápidamente, de modo que hacia 2050 se llegue a cero emisiones netas.⁹ Sin embargo, al cabo de varias décadas de tópicos políticos, y pese a que la mitigación del cambio climático aparece constantemente como un objetivo político clave, el hecho es que el uso de combustibles fósiles, en cifras tanto

¹ Naciones Unidas 2021

² Bourguignon y Morrisson 2002.

³ <https://datos.bancomundial.org/tema/pobreza>. Consultado el 1 de julio de 2021
<https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/10/07/covid-19-to-add-as-many-as-150-million-extreme-poor-by-2021> (consultado el 1 de julio de 2021).

⁴ <https://www.gapminder.org/data/documentation/gd005/> (consultado el 1 de julio de 2021).

⁵ Rosling *et al.* 2018.

⁶ <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity> (consultado el 1 de junio de 2021).

⁷ Rockström *et al.* 2009; Steffen *et al.* 2015.

⁸ <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change> (consultado el 1 de enero de 2021).

⁹ IPCC 2018.

absolutas como relativas, fue en aumento entre 1985 y 2018.¹⁰ Esto ha provocado que las emisiones anuales de gases de efecto invernadero a nivel mundial sigan aumentando, pasando de 20 500 millones de toneladas de CO₂ en 1990 a 33 300 millones de toneladas de CO₂ en 2019.¹¹ Una trayectoria de desarrollo similar, alimentada por combustibles fósiles, en los países de ingresos medianos y bajos (y sus 770 millones de personas privadas de acceso, ni que sea rudimentario, a la electricidad)¹² frustraría todo esfuerzo por mantener por debajo de los 2 °C el aumento de la temperatura media mundial. Por lo tanto, es evidente que el *statu quo*, en lo que respecta a la reducción de emisiones, dista mucho de ser suficiente. Para hacer frente al cambio climático será necesario apartarse radicalmente de las respuestas convencionales a fin de construir una comunidad mundial que sea a la vez más próspera, más equitativa y más sostenible.

Sin embargo, gran parte de los mensajes relativos a la transición energética desvelan la adhesión intelectual a una mentalidad pesimista de “suma cero” que amenaza con debilitar los esfuerzos planetarios para descarbonizar la economía mundial de forma equitativa. Esta mentalidad “de penuria” ha dado lugar a un extendido discurso según el cual es necesario retirar privilegios a quienes viven en países de ingresos altos y limitar el crecimiento a quienes viven en países de ingresos medianos y bajos. Tradicionalmente, este discurso ha irrumpido en el debate con argumentos contra el crecimiento demográfico o económico por motivos de protección del medio ambiente. No obstante, el razonamiento es erróneo. Es inevitable que el hecho de privar a las personas de un mejor nivel de vida provoque el descontento de la población y su desafección respecto de las políticas destinadas a resolver el gran desafío que nos aguarda. La construcción de una comunidad mundial sostenible se cimienta en la posibilidad de disponer de un sistema energético realmente asequible, limpio, adaptado a la demanda y que deje la menor huella posible (en términos ecológicos, económicos y sociales). La energía nucleoelectrica es una piedra angular de este nuevo régimen energético.

Desde la puesta en servicio de los primeros reactores de uso civil en la década de 1950, la energía nucleoelectrica ha desempeñado una función importante para suministrar a comunidades de todo el mundo una electricidad con bajas emisiones de carbono, asequible y fiable. Se calcula que el uso de la energía nucleoelectrica, gracias a las bajas emisiones que caracterizan su ciclo de vida,¹³ ha evitado la emisión de 68 000 millones de toneladas métricas de gases de efecto invernadero en el período 1970-2015 por el hecho de haber sustituido principalmente a las centrales termoeléctricas de carbón en el período

¹⁰ BP 2020; Ember 2020.

¹¹ Schlömer *et al.* 2014.

¹² Agencia Internacional de Energía 2021a, b.

¹³ Schlömer *et al.* 2014.

1970-2015.¹⁴ El papel que podría desempeñar la energía nuclear en la mitigación del cambio climático ofrece ya poca duda.¹⁵ La Agencia Internacional de Energía (AIE) ha señalado que “si no se toman medidas para prestar más apoyo a la energía nucleoelectrónica, las iniciativas mundiales de transición a un sistema energético más limpio van a resultar muchísimo más difíciles y costosas”.¹⁶ Con todo, el potencial que encierra la tecnología nuclear va mucho más allá de la mitigación del cambio climático. Gracias a sus características únicas y a sus amplias aplicaciones, debería ocupar un lugar central en las políticas destinadas a combatir la pobreza energética, reducir la contaminación atmosférica, suministrar agua limpia, hacer frente a la inseguridad alimentaria o cumplir otros ODS de las Naciones Unidas. Sin embargo, hasta ahora, poco se ha hecho para tratar de comprender de verdad cómo puede contribuir la tecnología nuclear al desarrollo sostenible.¹⁷ En este capítulo se expone el lugar central de la energía para lograr un desarrollo sostenible y la importancia de la energía nuclear, cuya función va más allá del simple suministro de electricidad baja en emisiones de carbono. En las líneas que siguen, estructuradas temáticamente, se explica cómo contribuye la tecnología nuclear a hacer posible una mejor salud, un mejor medio ambiente y un mundo más justo.

13.2. CENTRALIDAD DE LA ENERGÍA (LIMPIA) PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE Y FUNCIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR

La energía es crucial para todos los aspectos de la vida, y muchos de los cambios más fundamentales de la vida humana a lo largo de la historia han estado estrechamente ligados al progreso de nuestra relación con la energía. Esas revoluciones, ya sea la conquista del fuego, la invención de la máquina de vapor o la llegada de la electricidad, han traído consigo importantes mejoras de las condiciones de vida de muchas personas. A pesar de su indiscutible trascendencia para la vida moderna, la elaboración de las políticas energéticas es a menudo desatendida y discurre de forma desarticulada, a rebufo de crisis e impulsos cortoplacistas. Suele estar dictada por los breves plazos de la política (unos pocos años), y no por los períodos generacionales (más 30 años) que suelen ser necesarios en el caso de las infraestructuras. Aunque es solo uno de 17 Objetivos

¹⁴ OIEA 2018.

¹⁵ Brook 2012; Baek y Pride 2014; Hong *et al.* 2015; Liddle y Sadorsky 2017; Iniciativa de Energía del MIT 2018, 2012; AEN de la OCDE 2019.

¹⁶ Agencia Internacional de Energía 2019.

¹⁷ Lindberg (en imprenta).

de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, el séptimo ODS (*Energía asequible y no contaminante*) subyace a la mayoría de los ODS, si no todos.

De entre todas las formas de energía, la electricidad es quizá la más determinante. Sin electricidad no es posible emancipar realmente a las personas ni proteger el medio ambiente. Sin electricidad no puede haber un sistema de atención sanitaria moderno, ni acceso universal al agua limpia o al saneamiento, ni educación de calidad. Existe una relación clara entre el acceso a la electricidad y el desarrollo humano: un mayor uso de la electricidad facilita una mejor calidad de vida,¹⁸ y el acceso a electricidad limpia y de bajo costo es esencial para reducir las desigualdades socioeconómicas.¹⁹ Además, hay pruebas sólidas de la estrecha conexión existente entre el acceso a la electricidad y la reducción de la pobreza,²⁰ y, en particular, de sus efectos positivos en el empoderamiento y el bienestar de las mujeres.²¹ La electricidad rompe el vínculo entre la luz del día y el tiempo productivo, lo que permite a las mujeres dedicar menos tiempo a las tareas domésticas. Ello, a su vez, incrementa sus posibilidades de conseguir un trabajo remunerado y de acceder a niveles educativos superiores.²²

La energía es responsable del 73,2 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, un tercio de las cuales proceden del calor y la electricidad.²³ En términos de producción de energía (electricidad, calor, transporte), el panorama está dominado claramente por los combustibles fósiles, que representan un 84,3 % del total.²⁴ Además, los combustibles fósiles son la fuente de alrededor del 63,3 % de la electricidad mundial, mientras que el resto procede de fuentes con bajas emisiones de carbono. Como se destaca en un reciente informe de la AIE sobre el mercado mundial de electricidad, el considerable crecimiento de la generación de electricidad a partir de fuentes renovables se ha visto superado por un incremento mayor y más rápido de la demanda de electricidad, y la diferencia (aproximadamente el 90 %) se cubre empleando centrales termoeléctricas de carbón.²⁵ El problema es de una urgencia y una envergadura abrumadoras, sobre todo porque, para limitar el calentamiento a 1,5 °C, se requiere “una descarbonización prácticamente total del sector eléctrico hacia mediados de siglo”.²⁶ En cambio, las emisiones

¹⁸ Niu *et al.* 2013.

¹⁹ CEPE 2021.

²⁰ Khandker *et al.* 2014; Dinkelman 2011; Rao y Pachauri 2017; Karekezi *et al.* 2012.

²¹ Winther *et al.* 2017.

²² Khandker *et al.* 2014.

²³ <https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors> (consultado el 1 de enero de 2021).

²⁴ BP 2020.

²⁵ Agencia Internacional de Energía 2021a, b.

²⁶ Rogelj *et al.* 2018.

mundiales de carbono han aumentado año tras año y solo han caído en épocas de crisis (como las recesiones mundiales de la década de 1930, de principios de los años 1980 y de 2008-2009; el final de la Segunda Guerra Mundial; el colapso de la Unión Soviética, y la pandemia de COVID-19).²⁷

La magnitud de la empresa cobra tintes aún más impresionantes si se tiene en cuenta que unos 770 millones de personas, sobre todo, en el África subsahariana, aún no tienen acceso a la electricidad²⁸ y que, para llevar el consumo de electricidad de la población mundial hasta la media de la Unión Europea (700 W/persona/año), suponiendo que la población mundial se estancase, haría falta una capacidad adicional de unos 5000 GW, que se sumarían a los 2500 GW actuales.²⁹ Dado el probable aumento de la demanda de electricidad resultante de la generalizada electrificación de la economía, es probable que la demanda aumente todavía más.

Con demasiada frecuencia, el discurso político está centrado casi exclusivamente en la descarbonización y muy marcado por la noción de “energía como restricción”. Esta noción, carente de fundamento, se manifiesta de múltiples maneras, sobre todo en la idea de que es imperativo reducir el consumo de energía porque resulta insostenible. En muchos sentidos, habría que ver más bien la energía como un motor de cambio socioeconómico, dada la influencia que ejerce en todas las facetas de la vida moderna. A la hora de combatir el cambio climático, se abre la oportunidad de descarbonizar la economía mundial y, al mismo tiempo, de crear una sociedad planetaria más sostenible y equitativa. Aunque el acceso intermitente a la electricidad (por ejemplo, mediante paneles solares no conectados a la red) representa un paso en la dirección correcta, es más que evidente que no es suficiente para alimentar una economía moderna.³⁰ Para poder considerar equitativa la transición hacia una sociedad mundial con bajas emisiones de carbono, es crucial generar carteras energéticas que aporten un suministro fiable, ininterrumpido y no contaminante y se ajusten a las necesidades y el patrimonio natural de cada nación.

La energía nuclear ofrece a los países de ingresos medianos y bajos la posibilidad de transformar profundamente su sistema energético de forma sostenible, eludiendo la senda de emisiones intensivas de carbono que recorrieron antes los países desarrollados. La energía nuclear ha demostrado que es posible dissociar el crecimiento económico de las emisiones de gases de

²⁷ <https://www.wri.org/insights/history-carbon-dioxide-emissions> (consultado el 1 de julio de 2021).

²⁸ <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity> (consultado el 1 de junio de 2021).

²⁹ Devanney 2021.

³⁰ Clack *et al.* 2017; Heard *et al.* 2017.

efecto invernadero, como ejemplifican Suecia³¹ y Francia.³² En efecto, la rápida expansión de la energía nucleoelectrica tanto en Suecia como en Francia a partir de 1960 dejó claro que es posible transformar rápidamente los sistemas eléctricos de las economías industriales desarrolladas para pasar de depender en gran medida de los combustibles fósiles a formar parte del grupo de países menos emisores del mundo en un plazo de 20 años,³³ próximo a los plazos marcados en el Acuerdo de París de 2015 para evitar los peores efectos del cambio climático. Los estudios de modelización llevan a la conclusión de que una expansión mundial de la energía nucleoelectrica a esta cadencia histórica permitiría desalojar los combustibles fósiles del sistema eléctrico mundial en los plazos requeridos.³⁴

La nuclear es la única fuente de energía baja en carbono que puede producir no solo electricidad, sino también calor, lo que abre inmensas posibilidades para descarbonizar otros sectores de la economía que son difíciles de atemperar. Aunque el cambio climático puede provocar inviernos más cálidos en muchas partes del mundo, la calefacción de los edificios seguirá siendo vital. En muchos lugares del mundo, como Suiza, la Federación de Rusia y China,³⁵ ya se utiliza el calor excedente de las centrales nucleares para proporcionar calefacción urbana a las ciudades cercanas. Además, en China y Finlandia se está estudiando la posibilidad de construir pequeños reactores destinados específicamente a generar calor para el acondicionamiento de edificios.³⁶ La energía nuclear también puede utilizarse para generar el calor indispensable para muchos procesos industriales, como la producción de cemento, acero o papel, así como en la industria química³⁷ y en la producción de hidrógeno y combustibles sintéticos³⁸ para la navegación y el transporte. Como posibles soluciones para descarbonizar estos otros sectores de la economía, se ha propuesto recurrir a reactores construidos *ex profeso* que operen a temperaturas más altas o reacondicionar reactores nucleares para poder instalarlos en centrales térmicas ya existentes con el fin de aprovechar la infraestructura disponible.³⁹

Además de proporcionar electricidad y calor con cero emisiones de carbono para disponer de energía limpia y asequible, las tecnologías nucleares contribuyen

³¹ Lindberg 2017.

³² Asociación Nuclear Mundial 2019.

³³ Cao *et al.* 2016.

³⁴ Qvist y Brook 2015.

³⁵ Csik y Kupitz 1997; Jasserand y Devezeaux de Lavergne 2016; <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Haiyang-begins-commercial-scale-district-heat-supply> (consultado el 1 de julio de 2021).

³⁶ Värri y Syri 2019.

³⁷ Sociedad Real 2020.

³⁸ Ingersoll y Gogan 2020.

³⁹ Qvist *et al.* 2021.

directamente y por muchas vías al esfuerzo mundial para alcanzar muchos de los ODS, en particular los objetivos 2 (*Hambre cero*), 3 (*Salud y bienestar*) y 6 (*Agua limpia y saneamiento*), a fin de garantizar un mundo más saludable.

13.3. TECNOLOGÍA NUCLEAR AL SERVICIO DE LA SALUD

Uno de los requisitos básicos para la plena realización de las personas es gozar de buena salud, para lo cual es indispensable tener acceso a una asistencia sanitaria eficaz y asequible. La pandemia mundial de COVID-19 ha centrado la atención en la salud pública hasta niveles sin precedentes y ha subrayado con crudeza las enormes desigualdades sanitarias que existen a nivel mundial, así como dentro de los países. El acceso a un suministro de electricidad limpio y fiable a todas horas desempeña una función importante en el fortalecimiento de la salud pública, tanto directa como indirectamente. Prestar buenos servicios de salud pública supone mucho más que suministrar energía a los establecimientos médicos: supone proteger los pulmones de los niños de los peligros conocidos de la contaminación atmosférica, combatir las enfermedades transmisibles, como la enfermedad del sueño, y las no transmisibles, como el cáncer, proporcionar agua de bebida salubre y luchar contra las hambrunas y la inseguridad alimentaria. La tecnología nuclear ha desempeñado durante décadas una función importante en todos estos ámbitos, función que ahora habría que ampliar sobremanera para mejorar la salud de todos los hombres, mujeres, niñas y niños del mundo, con independencia de dónde vivan.

13.3.1. Aire más limpio gracias a la energía nuclear

La contaminación atmosférica es un grave problema de salud pública que aflige a comunidades de todo el mundo y tiene un papel importante en la aparición de afecciones como neumopatías crónicas, cardiopatías isquémicas, accidentes cerebrovasculares hemorrágicos o isquémicos e infecciones de las vías respiratorias bajas. La contaminación atmosférica suele ir de la mano del uso de fuentes de energía contaminantes, ya sean combustibles sucios de cocina o combustibles contaminantes para la generación de electricidad o los motores de combustión. En el *Estudio sobre la carga mundial de enfermedades, traumatismos y factores de riesgo* de 2015 se sitúa la contaminación atmosférica (aire interior y aire ambiente) como una de las causas principales de enfermedad,⁴⁰ sabiendo que alrededor del 91 % de la población mundial está expuesta a un aire que no cumple las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

⁴⁰ Cohen *et al.* 2017.

sobre calidad del aire.⁴¹ Los perjuicios para la salud pública son de alcance mundial: la contaminación atmosférica contribuye aproximadamente al 9 % de la mortalidad mundial, con especial afectación de los países de ingresos medianos y bajos, sobre todo los del sur y el este de Asia.⁴² Según las estimaciones de la OMS, la contaminación atmosférica es un factor significativo en 4,2 millones de muertes prematuras al año y la contaminación del aire en interiores en otros 3,8 millones,⁴³ mientras que, a tenor de algunos estudios, el uso de combustibles fósiles contribuyó a unos 8,7 millones de muertes prematuras solo en 2018.⁴⁴

Se puede eliminar gran parte de la contaminación del aire en interiores sustituyendo por electricidad los combustibles sólidos (como madera, estiércol y carbón vegetal) y el queroseno utilizados para cocinar, y si además esa electricidad procediera de fuentes de energía baja en carbono, también se evitaría una parte considerable de la contaminación del aire exterior. En la actualidad, la contaminación atmosférica está especialmente presente en los países de ingresos medianos y bajos,⁴⁵ donde también, según las previsiones, se dará el grueso del crecimiento de la demanda de electricidad. En la actualidad hay en el mundo más de 2 600 millones de personas privadas de acceso a instalaciones limpias para cocinar (solo el 17 % de la población del África subsahariana tiene acceso a ellas,⁴⁶ lo que las hace depender de la biomasa, el carbón o el queroseno). Así, la transición a un sistema eléctrico limpio brinda una oportunidad importante no solo de evitar muchos millones de muertes prematuras, sino también de salvaguardar los bosques locales.

Hace décadas que la energía nucleoelectrónica viene cumpliendo una función importante para proteger a las comunidades locales de los peligros conocidos de la contaminación atmosférica, por el simple hecho de que las centrales nucleares no emiten al aire contaminación alguna. En un estudio realizado por Kharecha y Hansen en 2013 se calculaba que el uso de la energía nuclear entre 1971 y 2009 había evitado aproximadamente 1,8 millones de muertes relacionadas con la contaminación atmosférica,⁴⁷ ya fuera porque sustituyó fuentes de energía más

⁴¹ [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (consultado el 12 de junio de 2021).

⁴² <https://ourworldindata.org/air-pollution#air-pollution-is-one-of-the-world-s-leading-risk-factors-for-death> (consultado el 1 de julio de 2021).

⁴³ https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (consultado el 12 de junio de 2021).

⁴⁴ <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-clean-cooking> (consultado el 15 de junio de 2021).

⁴⁵ <https://ourworldindata.org/air-pollution#air-pollution-is-one-of-the-world-s-leading-risk-factors-for-death> (consultado el 1 de julio de 2021).

⁴⁶ Kharecha y Hansen 2013.

⁴⁷ Jarvis *et al.* 2019.

contaminantes o porque las hizo innecesarias. Las repercusiones de la energía nuclear en la contaminación atmosférica también pueden verse allí donde se han cerrado prematuramente centrales nucleares por razones políticas, como fue el caso de Alemania tras el accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi en 2011. Se ha calculado que, entre 2010 y 2017, la retirada progresiva de la energía nucleoelectrónica en Alemania provocó un incremento de 1 100 muertes anuales relacionadas con la contaminación atmosférica, debido sobre todo a que la energía nucleoelectrónica fue sustituida en buena medida por carbón.⁴⁸ Por lo tanto, es crucial que los reactores existentes sigan funcionando mientras puedan hacerlo y que la energía nucleoelectrónica se extienda a los países de ingresos medianos y bajos para reemplazar la generación de electricidad con combustibles fósiles.

13.3.2. Lucha contra el cáncer y otras enfermedades

La radiación, utilizada en la medicina moderna durante muchas décadas para diagnosticar y tratar gran número de enfermedades, guarda una relación especialmente estrecha con el cáncer. Pocas enfermedades, por no decir ninguna, ocupan un espacio tan emotivo en la sociedad humana como el cáncer. Las primeras menciones a esta enfermedad aparecen en papiros de más de 5 000 años de antigüedad y fue Hipócrates (460-370 a.C.) quien acuñó inicialmente el término.⁴⁹ El cáncer es una de las enfermedades más comunes: cada año se diagnostican más de 14 millones de casos nuevos.⁵⁰ Aunque las cifras varían entre países, aproximadamente el 20 % de los hombres y el 17 % de las mujeres reciben un diagnóstico de cáncer en algún momento de la vida.⁵¹ Además, allí donde la esperanza de vida es mayor, también lo es el riesgo de padecer cáncer:⁵² por ejemplo, en los Estados Unidos de América, el riesgo es del 40 %⁵³ y, en el Reino Unido, de aproximadamente el 50 %.⁵⁴

La radiación desempeña una función tremendamente importante en la lucha contra el cáncer en todo el mundo. La radioterapia, para la cual se suelen utilizar elementos radiactivos producidos en reactores, puede aplicarse en aproximadamente el 50 % de todos los casos de cáncer, con fines curativos o paliativos.⁵⁵ Algunas técnicas de radioterapia permiten hacer frente a afecciones difíciles de tratar de cualquier otro modo. Por ejemplo, el bisturí de rayos gamma

⁴⁸ Vohra *et al.* 2021.

⁴⁹ Sociedad Americana contra el Cáncer 2014.

⁵⁰ Jaffray y Gospodarowicz 2015.

⁵¹ OMS 2018.

⁵² Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer 2020.

⁵³ Sociedad Americana contra el Cáncer 2020.

⁵⁴ Smittenaar *et al.* 2016.

⁵⁵ Jaffray y Gospodarowicz 2015.

de Leksell puede destruir cánceres en lugares de difícil acceso quirúrgico, como el cerebro, concentrando en el tumor un gran número de pequeños haces de radiación externa. Las primeras técnicas de imagenología, como los rayos X, revolucionaron la medicina, pero las actuales técnicas de imagenología nuclear, como la tomografía computarizada (TAC), la tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT) o la tomografía por emisión de positrones (PET), que proporcionan imágenes en tres dimensiones y permiten a los médicos ver los huesos y tejidos y evaluar la funcionalidad de los órganos, representan un cambio radical en nuestra capacidad para diagnosticar y curar enfermedades. Entre otros métodos de diagnóstico, encontramos la RT-PCR en tiempo real, método derivado de la energía nuclear que permite detectar posibles patógenos en horas, en lugar de días, entre ellos virus como el SARS-CoV-2 o el virus del Ébola. Cada año se realizan más de 40 millones de procedimientos de medicina nuclear y la demanda de radioisótopos aumenta anualmente hasta en un 5 %.

Otra importante aplicación de la tecnología nuclear para la mejora de la salud humana a nivel mundial es la técnica del insecto estéril (TIE). Alrededor del 17 % de todas las enfermedades infecciosas del mundo se transmiten por vectores, entre ellas, la malaria, la fiebre amarilla, el dengue y la enfermedad por el virus del Zika.⁵⁶ Debido al cambio climático, es probable que las enfermedades transmitidas por vectores y las zoonóticas se extiendan más allá de su área de distribución actual. De hecho, hay pruebas de que ya está ocurriendo.⁵⁷ Este problema puede agravarse a medida que los mosquitos y otros vectores se tornan resistentes a los insecticidas más comunes.⁵⁸ En la TIE se utiliza la radiación de fuentes radiactivas, como cobalto 60 o cesio 137, para esterilizar a un gran número de machos de la especie en cuestión (por ejemplo, moscas tsetsé o mosquitos anofeles). Estos machos, posteriormente liberados al medio, no podrán reproducirse, con lo que la población causante de la plaga se reducirá drásticamente o quedará erradicada y, por extensión, el riesgo de infección humana de toda enfermedad transmitida por ese vector disminuirá considerablemente.⁵⁹ La TIE se ha utilizado con éxito en todo el mundo para combatir a insectos que actúan como vectores de un gran número de enfermedades,⁶⁰ entre ellas la miasis (causada por la mosca del gusano barrenador del ganado) y la tripanosomiasis africana (transmitida por la mosca tsetsé), y podría desempeñar una función importante en la lucha contra las enfermedades transmitidas por los mosquitos,

⁵⁶ OMS y OIEA 2020.

⁵⁷ Higgs 2018, pág. 285.

⁵⁸ Bouyer *et al.* 2020.

⁵⁹ Klassen y Vreysen 2021.

⁶⁰ Klassen *et al.* 2021.

como la malaria o el dengue.⁶¹ La TIE también sustituye a los plaguicidas, que suelen tener más consecuencias sanitarias y ambientales, o reduce la necesidad de utilizarlos.

13.3.3. Suministro de agua dulce limpia gracias a la tecnología nuclear

El agua es la clave de prácticamente toda la vida del planeta, y no debe subestimarse la función que desempeña para la humanidad. La demanda mundial de agua ha crecido sin cesar, mientras se iban reduciendo las reservas existentes de agua dulce.⁶² Es previsible que el cambio climático tenga efectos negativos en los recursos hídricos a nivel mundial y agudice la escasez de agua.⁶³ El agua es un recurso distribuido de forma desigual y dos tercios de la población mundial ya sufren una grave escasez de agua durante al menos un mes al año.⁶⁴ Además, más de 1 400 millones de personas (entre ellas, 450 millones de niños) viven en zonas donde los recursos hídricos están en situación de vulnerabilidad o vulnerabilidad extrema.⁶⁵ A ello se suma la falta de agua de bebida salubre, responsable de unos 1,2 millones de muertes en 2017,⁶⁶ con enfermedades diarreicas como el cólera y la disentería que matan a casi 500 000 personas al año.⁶⁷ ONU-Agua llegó hace poco a la conclusión de que, lamentablemente, no se está avanzando lo suficiente hacia el cumplimiento del ODS 6 (*Agua limpia y saneamiento*), ya que las fuentes de agua se están secando o están cada vez incluso más contaminadas.⁶⁸ Los radiotrazadores nucleares son una herramienta esencial para el estudio de los recursos hídricos subterráneos, pues permiten determinar y cartografiar su origen, distribución, cantidad y calidad, y para desarrollar planes sensatos y sostenibles para su explotación y gestión. Estas mismas técnicas nucleares se utilizan para evaluar y gestionar las filtraciones de agua de mar en los acuíferos de agua dulce, estudiar las dinámicas de los ecosistemas, rastrear los contaminantes presentes en cursos de agua y analizar la eficacia de las técnicas de control y limpieza de la contaminación.⁶⁹

⁶¹ Klassen 2009.

⁶² Boretti y Rosa 2019.

⁶³ Jiménez Cisneros *et al.* 2014.

⁶⁴ Mekonnen y Hoekstra 2016.

⁶⁵ UNICEF 2021.

⁶⁶ <https://ourworldindata.org/water-access#unsafe-water-is-a-leading-risk-factor-for-death> (consultado el 1 de julio de 2021).

⁶⁷ <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water> (consultado el 1 de julio de 2021).

⁶⁸ ONU-Agua 2021.

⁶⁹ OIEA 2015.

La desalación de agua de mar es una herramienta importante para garantizar un suministro constante de agua potable para los hogares y la industria. Actualmente hay unas 16 000 instalaciones de desalación en todo el mundo, la mayoría de ellas situadas en Oriente Medio. Para funcionar, la desalación requiere una cantidad considerable de energía y, cuando depende de fuentes de energía fósiles (como suele ser el caso), genera una huella de emisiones considerable.⁷⁰ A menos que el costo del agua dulce procedente de las instalaciones de desalación llegue a ser comparable al del agua procedente de fuentes tradicionales,⁷¹ muchas de las comunidades más vulnerables a las perturbaciones del clima, unos 700 millones de personas, se verán obligadas a reubicarse de aquí a 2030.⁷² El aumento de la demanda de agua, unido a la necesidad de descarbonización, hace de la energía nuclear una alternativa adecuada a los combustibles fósiles para alimentar las instalaciones de desalación.⁷³ Una opción para ello sería acoplar plantas de desalación a los reactores de potencia, a modo de aplicación adicional, pero también se podrían utilizar reactores destinados específicamente a la desalación.⁷⁴ La desalación nuclear no es en absoluto una aplicación novedosa, pues ya hay una experiencia acumulada equivalente a unos 200 años-reactor, sobre todo a menor escala, especialmente en el Japón, la India y Kazajstán.⁷⁵ Además, es un concepto que ha sido ampliamente investigado, y la combinación de ensayos empíricos y estudios de viabilidad ha demostrado que la desalación nuclear es técnica y económicamente factible.⁷⁶ Por ejemplo, los estudios científicos indican que un programa de desalación nuclear en China, país que ya sufre penuria de agua,⁷⁷ podría aumentar significativamente los recursos hídricos en zonas de escasez, y a costos asequibles.⁷⁸

13.3.4. Combatir el hambre con la tecnología nuclear

Unos 768 millones de personas (2020) padecen hambre⁷⁹ y, cada año, la desnutrición es la causa directa o subyacente del 45 % del total de muertes

⁷⁰ Jones *et al.* 2019; Darre y Toor 2018.

⁷¹ Ziolkowska 2015.

⁷² <https://www.unicef.org/wash/water-scarcity> (consultado el 25 de junio de 2021).

⁷³ Ingersoll *et al.* 2014a.

⁷⁴ Ingersoll *et al.* 2014b.

⁷⁵ <https://www.iaea.org/topics/non-electric-applications/nuclear-desalination> (consultado el 1 de enero de 2021).

⁷⁶ Belessiotis *et al.* 2010.

⁷⁷ Jiang 2009.

⁷⁸ Avrin *et al.* 2015, 2018.

⁷⁹ FAO *et al.* 2021.

infantiles.⁸⁰ Además, más de uno de cada cinco niños menores de cinco años (unos 144 millones de niños) sufren de retraso del crecimiento y, aunque la pandemia ha provocado un aumento de los niveles de inseguridad alimentaria, antes de la pandemia ya se había registrado un aumento de la inseguridad alimentaria del 3,2 % entre 2014 y 2018.⁸¹ Al mismo tiempo, cada año se desperdician aproximadamente 1 300 millones de toneladas de alimentos, ya sea a manos de los consumidores o de los minoristas, o porque los alimentos se estropean debido a procedimientos deficientes de almacenamiento, transporte o recolección.⁸²

La electricidad es un componente vital para eliminar el hambre en el mundo, ya que ayuda a aumentar la producción de alimentos, a disminuir las pérdidas posteriores a la cosecha y a mejorar el almacenamiento de los alimentos (incluida su refrigeración).⁸³ Los estudios empíricos han llevado a la conclusión de que el acceso a la electricidad tiene un efecto positivo inmediato en la seguridad alimentaria, especialmente en lo que respecta a la producción, conservación y preparación de alimentos.⁸⁴ La energía nucleoelectrónica ya desempeña una función importante en el suministro de electricidad no contaminante y, en combinación con otras tecnologías nucleares, puede ser crucial en la lucha contra el hambre en todo el mundo, atendiendo así al segundo de los ODS.

Las técnicas nucleares pueden utilizarse para promover un uso más eficiente del agua y los nutrientes en los cultivos, lo que depara mayores rendimientos agrícolas, cosa que a su vez deja más espacio para la naturaleza. Una de estas tecnologías nucleares es la irradiación de alimentos: los alimentos se exponen a cantidades de radiación cuidadosamente controladas, a menudo con cobalto 60 fabricado en reactores nucleares, para eliminar los hongos, parásitos y bacterias causantes de enfermedades. El proceso aumenta significativamente el tiempo de conservación de los alimentos, lo que contribuye a evitar su desperdicio.⁸⁵ La irradiación de alimentos también puede desempeñar un papel importante en la lucha contra las enfermedades transmitidas por los alimentos, lo que es asimismo importante desde el punto de vista de la salud pública. Estas enfermedades causan más de 420 000 muertes al año, muertes que afectan de manera desproporcionada a los niños menores de cinco años. Además, las enfermedades transmitidas por los alimentos pueden causar problemas de salud duraderos y cuestan cada año a los países de ingresos medianos y bajos 110 000 millones de dólares en concepto

⁸⁰ Mark *et al.* 2020.

⁸¹ <https://sdgs.un.org/es/goals/goal2> (consultado el 1 de julio de 2021).

⁸² PNUMA 2020.

⁸³ Willcox *et al.* 2015.

⁸⁴ Candelise *et al.* 2021.

⁸⁵ Verma y Gautam 2015; Thayer 1993.

de pérdidas de productividad y gastos médicos.⁸⁶ La irradiación de alimentos ha recibido la aprobación de la OMS, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos.⁸⁷ Aunque actualmente ya se emplea en más de 60 países de todo el mundo,⁸⁸ existen oportunidades formidables para utilizarla aún en mayor medida.

Otra aplicación de la tecnología nuclear para reducir la inseguridad alimentaria y el hambre es la mencionada TIE. Cada año se pierde entre el 20 % y el 40 % del rendimiento de los cultivos a causa de diferentes plagas y enfermedades.⁸⁹ Es probable que estas pérdidas se vean agravadas por el cambio climático,⁹⁰ en un momento en que la producción de alimentos tendrá que aumentar en casi un 50 % para satisfacer la demanda creciente.⁹¹ Los programas de TIE de todo el mundo han demostrado lo útil que resulta la técnica para controlar plagas (como las moscas de la fruta) y evitar su propagación a nuevas zonas. La técnica es a la vez rentable y respetuosa con el medio ambiente, ya que ayuda a reducir el uso de plaguicidas y fertilizantes, ambos asociados a riesgos para la salud y el medio ambiente.⁹²

13.4. PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE CON ENERGÍA NUCLEAR

13.4.1. Destrucción del hábitat y pérdida de biodiversidad

Una de las consecuencias de nuestra empresa de desarrollo es una pérdida de biodiversidad sin precedentes en los últimos 500 años, marcada por un ritmo de extinción casi 100 veces superior a lo que sería de esperar.⁹³ Hoy ya no cabe duda de que las causas antropogénicas tienen un gran peso tanto en la extinción de especies enteras como en el declive de sus poblaciones, y la magnitud y el ritmo de las pérdidas son comparables a lo que sucedió en las

⁸⁶ <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety> (consultado el 1 de julio de 2021).

⁸⁷ OMS 1994; OMS 1988; <https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/la-irradiacion-de-alimentos-lo-que-usted-debe-saber> (consultado el 1 de julio de 2021).

⁸⁸ <https://www.iaea.org/es/temas/irradiacion-de-alimentos> (consultado el 1 de julio de 2021).

⁸⁹ <https://www.fao.org/news/story/es/ítem/1188251/icode/> (consultado el 1 de julio de 2021).

⁹⁰ Secretaría de la CIPF 2021.

⁹¹ FAO 2017.

⁹² Enkerlin 2005.

⁹³ Ceballos y Ehrlich 2018.

cinco grandes extinciones que ha habido en los últimos 450 millones de años.⁹⁴ Entre 1970 y 2016, el tamaño de las poblaciones de mamíferos, peces, reptiles, anfibios y aves mermó en promedio en un 68 %, ⁹⁵ y esta tendencia se observó tanto en las especies "tradicionalmente" vulnerables (por ejemplo, depredadores de la cúspide) como en las especies poco preocupantes.⁹⁶ Este declive ha sido provocado en gran medida por la modificación o la completa destrucción de los hábitats naturales, no en vano el 75 % de la superficie no helada del planeta se ha visto significativamente alterada por la acción humana,⁹⁷ directamente por la sobreexplotación e indirectamente por los efectos del cambio climático.⁹⁸ La pérdida de biodiversidad amenaza con tener repercusiones importantes y duraderas en la estabilidad y las dinámicas de los ecosistemas, lo que a su vez podría tener efectos secundarios como la perturbación de la producción de alimentos (a consecuencia de la mayor densidad de plagas o la mengua de polinizadores)⁹⁹ y la degradación del medio ambiente (ligada a su vez a las migraciones forzadas y a la creciente aparición de enfermedades infecciosas, por ejemplo).¹⁰⁰

Un paso crucial para detener la pérdida de biodiversidad es aliviar las presiones que ejercen sobre los entornos y las especies locales la destrucción de los hábitats, el cambio climático y la explotación no sostenible.¹⁰¹ La energía, desde el doble punto de vista del acceso a ella y de sus fuentes, es uno de los principales factores causales de estas presiones. Por ejemplo, existe una relación directa entre la degradación de los bosques (y la deforestación) y el acceso a la energía. Allí donde las personas no tienen acceso a la electricidad, o no tienen suficiente electricidad, a menudo recurren a la biomasa (que suele recogerse en los bosques locales) para obtener combustible. Esto no solo daña los hábitats locales y contribuye a reducir la biodiversidad, sino que también es una fuente importante de contaminación del aire en los hogares. Un amplio análisis sobre la deforestación y el acceso a la electricidad en zonas rurales de unos 158 países reveló que la electrificación rural desempeña una función muy importante en la reducción de la deforestación, ya que la electricidad sustituye a la biomasa.¹⁰² Ello pone de manifiesto, una vez más, no solo la magnitud del reto y las

⁹⁴ Dirzo *et al.* 2014.

⁹⁵ WWF 2020.

⁹⁶ Ceballos *et al.* 2017.

⁹⁷ WWF 2020.

⁹⁸ Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas 2019.

⁹⁹ Tschamtké *et al.* 2012.

¹⁰⁰ Schmeller *et al.* 2020.

¹⁰¹ Ceballos *et al.* 2015.

¹⁰² Tanner y Johnston 2017.

numerosas ventajas de llevar a buen fin la electrificación rural, sino también que la sustitución de la biomasa por electricidad conllevará inevitablemente un gran aumento de la demanda de electricidad.

13.4.2. Más espacio para la naturaleza

Para satisfacer esta demanda energética se necesitarán todas las fuentes disponibles de energía con bajas emisiones de carbono, si bien, desde el punto de vista de la conservación del medio ambiente, la energía nuclear es la más inofensiva. La clave del valor de conservación de la energía nucleoelectrónica estriba en su ínfima huella física. Gracias a la densidad de energía inherente al combustible nuclear, las centrales nucleares tienen una huella física mucho menor que todas las demás fuentes de energía baja en carbono. En efecto, una sola pastilla de combustible de uranio (que pesa unos 10 g) contiene la energía equivalente a tres barriles de petróleo (149 galones), una tonelada de carbón o 481 m² de gas fósil.¹⁰³ La densidad energética de los combustibles nucleares y el altísimo factor de capacidad de los reactores nucleares (media mundial del 82,5 % en 2019, con muchos reactores situados por encima del 90 %) en comparación con otras fuentes de energía (en cifras de 2019: un 18 % la solar fotovoltaica, un 35 % la eólica terrestre, un 43,5 % la eólica marina y un 49 % el carbón; en el caso del gas fósil, en cifras de 2018, entre el 29 % y el 63 %), significa que un sistema energético basado en la energía nuclear requeriría mucho menos terreno que cualquier otro sistema energético que dependiera en gran medida (o totalmente) de fuentes intermitentes de energía renovable.¹⁰⁴ Un reactor nuclear de tamaño medio (1000 MWe), capaz de suministrar energía a más de dos millones de hogares en Europa, ocupa aproximadamente 3,4 km² y puede generar electricidad entre el 90 % y el 95 % del tiempo. Un parque solar con la misma capacidad instalada (1000 MWe) ocuparía en cambio 194 km², mientras que los parques eólicos equivalentes ocuparían entre 673 y 963 km².¹⁰⁵ Dado que las fuentes de energía renovable solo producen electricidad una parte del tiempo y deben generar además energía de respaldo, la huella física de un sistema energético que dependa por completo o en gran medida de energías renovables intermitentes podría contribuir sensiblemente tanto a la degradación

¹⁰³ <https://www.nei.org/fundamentals/nuclear-fuel> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹⁰⁴ Asociación Nuclear Mundial 2020; <https://www.energy.gov/ne/articles/what-generation-capacity> (consultado el 1 de julio de 2021); Global Trends (irena.org) (consultado el 1 de julio de 2021); Agencia Internacional de Energía 2020; <https://www.iea.org/data-and-statistics/https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-annual-capacity-factors-by-technology-2018> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹⁰⁵ <https://www.nei.org/news/2015/land-needs-for-wind-solar-dwarf-nuclear-plants> (consultado el 1 de julio de 2021); Stevens 2017.

del medio ambiente como a la pérdida de hábitats, pues a mayor huella física, mayor riesgo de interferencia con el medio natural. De hecho, es bien sabido que estas instalaciones pueden tener un impacto perjudicial en la fauna local, en términos de mortalidad directa (por ejemplo, heridas por impacto, atrapamiento, quema), mortalidad indirecta (por ejemplo, depredación debido a cambios en el hábitat, aumento de la competencia) y degradación o pérdida de hábitat.¹⁰⁶ La AIE destacó en su reciente informe *Net Zero by 2050* que, para cumplir los objetivos normativos establecidos para 2050, será necesaria una expansión sin precedentes tanto de la energía solar como de la eólica: hasta 2030 habría que instalar anualmente unos 630 GW de energía solar fotovoltaica y 390 GW de energía eólica, cuatro veces más que en 2020.¹⁰⁷ En el caso de la energía solar fotovoltaica, para cumplir estos objetivos habría que instalar cada día el equivalente al mayor parque solar del mundo. En julio de 2021, el parque solar más grande del mundo, que es el de Bhadla, en Rajastán (India), ocupaba una superficie de 14 000 acres (~57 km²).¹⁰⁸ Esto significaría que, en los próximos diez años, habría que construir parques solares con una superficie acumulada ligeramente superior a la de un país como Belarús, unos 208 000 km².

Las centrales nucleares no solo ocupan mucho menos espacio que cualquier otra fuente de energía baja en carbono, sino que, además, los materiales necesarios se utilizan de forma muy eficiente, gracias, en parte, a la longevidad de los reactores (más de 80 años)¹⁰⁹ en comparación con las turbinas eólicas (20 años)¹¹⁰ y los paneles solares (según el tipo, entre 5 y 35 años).¹¹¹ La construcción de toda infraestructura energética requiere siempre materiales (desde hormigón hasta toda una panoplia de metales y minerales) y estos materiales tienen una huella ambiental que hay que tener en cuenta. Calculando por teravatio-hora, la cantidad de minerales fundamentales utilizada en un reactor nuclear es unas diez veces menor que en el caso de la energía solar y entre 10 y 15 veces menos que en el caso de la energía eólica.¹¹² El tipo de materiales utilizados contribuye en gran medida a determinar las posibles repercusiones ambientales (y sanitarias). Las turbinas eólicas y los paneles solares requieren cantidades considerables de

¹⁰⁶ Chock *et al.* 2021.

¹⁰⁷ Agencia Internacional de Energía 2021a, b.

¹⁰⁸ <https://www.nsenegybusiness.com/features/largest-solar-power-plants/> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹⁰⁹ <https://www.energy.gov/ne/articles/whats-lifespan-nuclear-reactor-much-longer-you-might-think> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹¹⁰ Ziegler *et al.* 2018.

¹¹¹ <http://solarenergyforum.com/solar-panel-efficiency-lifespan/> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹¹² Agencia Internacional de Energía (2021) y Agencia Internacional de Energía (2021).

tierras raras y metales pesados producidos en su mayor parte (90 %) en China,¹¹³ y estas operaciones mineras conllevan un impacto ambiental y de salud pública considerable y bien conocido.¹¹⁴

Además, la expansión sin precedentes de la capacidad en energías renovables que haría falta (y la considerable cantidad de espacio físico necesario) topa con un problema importante y una posible barrera: la aceptación pública. Mientras que las encuestas de opinión pública a nivel nacional suelen dar cuenta de altos niveles de apoyo,¹¹⁵ el panorama suele ser muy diferente a nivel local. ya hay indicios de una creciente oposición, entre las posibles comunidades receptoras, a acoger tanto instalaciones de energía renovable como la infraestructura de transmisión que será indefectiblemente necesaria. Esta oposición local remite a menudo a factores como el impacto visual, la desigual distribución (supuesta o real) de los costos y beneficios, los temores relacionados con los efectos adversos en la economía local, las consecuencias para la fauna o aspectos relacionados con la huella de las instalaciones (usos del suelo).¹¹⁶

Uno de los principios fundamentales para asegurar una transición energética justa es el de preservar la autodeterminación de las comunidades locales, garantizando que solo las que estén dispuestas a ello acojan infraestructuras energéticas. La enorme escala de la expansión de las energías renovables que se requiere y el hecho de que la opinión pública empiece a ser cada vez más hostil son preocupaciones que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar las políticas energéticas del futuro. La utilización de un importante componente nuclear en todo sistema energético futuro limitaría considerablemente el impacto de la infraestructura energética en las comunidades locales. El factor clave es la densidad energética: las centrales nucleares son capaces de generar grandes cantidades de electricidad con una huella de un orden de magnitud similar, o menor, al de todas las demás fuentes de energía bajas en carbono.

13.5. GARANTIZAR UNA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA

Es esencial efectuar la transición a sistemas energéticos limpios de tal manera que nadie quede rezagado: ninguna persona, ningún sector, ningún

¹¹³ Van Gosen *et al.* 2017.

¹¹⁴ Lee y Wen 2017; Arshi *et al.* 2018.

¹¹⁵ Tyson *et al.* 2021; Departamento de Asuntos Empresariales, Energía y Estrategia Industrial 2021; https://ec.europa.eu/clima/citizens/citizen-support-climate-action_es (consultado el 1 de julio de 2021).

¹¹⁶ Gross 2020; Goyal *et al.* 2021; O’Neil 2021; <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/fighting-windmills-when-growth-hits-resistance> (consultado el 1 de julio de 2021).

país. De hecho, la existencia de una sólida infraestructura energética es esencial para que los países prosperen, en lugar de simplemente subsistir. La transición energética ofrece una gran oportunidad de crear riqueza y prosperidad para todos los habitantes del planeta, pero será necesario un liderazgo intelectual y una mentalidad de abundancia para aprovechar al máximo esta oportunidad. La energía nuclear cumple una función básica a la hora de garantizar una transición energética justa, y es esencial que no se impongan restricciones irrazonables (políticas, legislativas, financieras o de otro tipo) a la extensión de las tecnologías nucleares a los países de ingresos medianos o bajos que deseen incorporar esta tecnología a su canasta energética.

13.5.1. La energía nuclear fortalece la independencia energética

Dado que la energía y la electricidad son fundamentales para todas las facetas de la vida moderna, garantizar un suministro seguro y resiliente ante las presiones externas debería ser una prioridad para los gobiernos. En efecto, hay numerosas pruebas que indican que, a lo largo de la historia, los Estados se han servido de la energía como herramienta política (por ejemplo, durante la crisis del petróleo de 1973) para mantener, utilizar y extender sus esferas de influencia.¹¹⁷ Estas medidas pueden tener (y de hecho han tenido) considerables repercusiones políticas, socioeconómicas y humanitarias. En la transición hacia sistemas energéticos limpios, es crucial que los nuevos sistemas favorezcan la estabilidad social, económica y política y garanticen un alto grado de independencia y resiliencia nacionales. Una canasta energética diversificada que incluya la energía nuclear contribuye a asegurar la autosuficiencia.

La energía nuclear no consume grandes cantidades de materias primas estratégicas y su combustible, el uranio, puede encontrarse en muchas partes del mundo.¹¹⁸ Además, se están estudiando las perspectivas de refinar el uranio natural del agua de mar¹¹⁹ o de utilizar como combustible el torio,¹²⁰ del que hay abundancia. El uranio no solo es un material relativamente abundante (es el 48º elemento más común de la Tierra, aproximadamente 1 000 veces más común que el oro), sino que, además, se encuentra en muchos países del mundo. La naturaleza omnipresente de los depósitos de combustible nuclear (a diferencia

¹¹⁷ Dirección General de Políticas Exteriores de la Unión (Parlamento Europeo) 2018.

¹¹⁸ <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹¹⁹ <https://www.scientificamerican.com/article/uranium-extraction-from-seawater-takes-a-major-step-forward/> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹²⁰ <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/thorium.aspx> (consultado el 1 de julio de 2021).

de lo que ocurre con el gas fósil o las tierras raras, presentes solo en un puñado de países) significa que la cadena de suministro de combustible nuclear entraña riesgos geopolíticos considerablemente menores que los de los sistemas energéticos dependientes del gas fósil¹²¹ o de las energías renovables.¹²² El costo del uranio ha sido históricamente bajo, en parte por su relativa abundancia y en parte por los pocos usos que compiten por el uranio. Además, el costo de la electricidad nuclear es poco sensible al precio del uranio (una duplicación del precio del uranio supondría un aumento del 10 % del precio de la electricidad).¹²³

13.5.2. Reducir al mínimo el legado para las generaciones futuras

Todo proceso industrial genera inevitablemente algún tipo de residuo. De hecho, algunos de los mayores problemas a los que se enfrenta la humanidad, como el cambio climático, están causados por una deficiente gestión de los desechos. Para garantizar una transición energética limpia y justa es fundamental reducir al mínimo la huella que dejamos en herencia, tanto en cantidad como en longevidad de los desechos. Este planteamiento holístico es crucial para evitar que las políticas potencialmente cortoplacistas destinadas a resolver los problemas de hoy creen daños quizá mayores para las generaciones futuras. De entre todas las fuentes de energía con bajas emisiones de carbono, el sector de la energía nuclear es el único que, desde sus inicios, se ha esforzado por gestionar sus flujos de desechos a lo largo de todo el ciclo de vida y por incorporar todos los costos al precio de la electricidad de origen nuclear. Las centrales nucleares se encuentran entre las que menos materia prima necesitan por unidad de electricidad generada, por lo que tienen también la menor huella de desechos. Un reactor nuclear de tamaño medio (1 000 MWe) descarga aproximadamente entre 25 y 30 toneladas métricas de combustible gastado al año¹²⁴ y, desde que la primera unidad nuclear entró en funcionamiento a finales de los años 50, toda la industria ha descargado un total estimado de 400 000 toneladas de combustible gastado, de las que aproximadamente un 30 % se ha reciclado para su reutilización en reactores.¹²⁵ Una central termoeléctrica de carbón equivalente generaría en promedio 275 000 toneladas de cenizas tóxicas al año (que contienen, por ejemplo, mercurio, arsénico y berilio), además de más de 3 toneladas de dióxido de carbono.

¹²¹ <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/energy-security.aspx> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹²² Habib *et al.* 2016; Stegen 2015.

¹²³ <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹²⁴ <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-wastes-myths-and-realities.aspx> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹²⁵ OIEA 2020.

Asimismo, se calcula que para 2050 el uso de energía solar fotovoltaica habrá generado entre 60 y 78 millones de toneladas de desechos electrónicos,¹²⁶ si bien ciertos análisis sugieren que la cifra real podría ser considerablemente superior por efecto de la sustitución prematura de los paneles solares.¹²⁷ Los desechos de la energía fotovoltaica suelen contener materiales tóxicos como el cadmio, el antimonio y el plomo, sin olvidar que el vidrio del que se compone el panel en su mayor parte rara vez puede reciclarse debido a sus impurezas, lo que significa que los paneles suelen acabar en vertederos o son exportados a países de ingresos medianos y bajos como desechos electrónicos. Si los paneles se rompen, las sustancias tóxicas pueden filtrarse al medio local, con efectos potencialmente perjudiciales para la salud.¹²⁸ En cambio, la mayoría de los desechos nucleares pueden reciclarse, incluido el combustible gastado. El reciclaje de materiales nucleares es una práctica habitual en la industria nuclear, y actualmente se están realizando grandes esfuerzos para reducir aún más la ya pequeña huella de desechos de la energía nucleoelectrónica. El principal impulso en este terreno proviene de la investigación y comercialización de los llamados “reactores incineradores”, capaces de alimentarse con el combustible gastado del actual parque de reactores nucleares, reduciendo así en un 97 % la cantidad global de desechos nucleares.

El hecho de que deje en herencia tan reducida cantidad de desechos y utilice tan eficazmente los recursos naturales hace de la energía nucleoelectrónica una herramienta fundamental para propiciar una transición energética justa. En efecto, los desechos nucleares civiles se gestionan según las normas más estrictas y no han causado ningún daño a las personas ni al medio ambiente. Con los repositorios de desechos nucleares que ahora están en construcción, la industria nuclear puede demostrar que ya dispone de soluciones de gestión a largo plazo.

13.5.3. La energía nuclear en una transición asequible y que genera valor

La cuestión de la rentabilidad (relación entre costo y eficacia) es fundamental para garantizar una transición energética justa. El diseño de los sistemas energéticos del futuro debe optimizar el uso de los recursos disponibles (financieros, humanos y materiales) para suministrar a todos los sectores de la economía una energía fiable, asequible y limpia las 24 horas del día. Toda solución debe aportar un valor económico real, ser duradera y producir beneficios

¹²⁶ Agencia Internacional de Energías Renovables, Programa de Sistemas Energéticos Fotovoltaicos de la Agencia Internacional de Energía 2016

¹²⁷ <https://hbr.org/2021/06/the-dark-side-of-solar-power> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹²⁸ <https://www.discovermagazine.com/environment/solar-panel-waste-the-dark-side-of-clean-energy> (consultado el 1 de julio de 2021).

socioeconómicos para las economías locales, nacionales y regionales.¹²⁹ Por ejemplo, varios estudios de la AIE, la Iniciativa de Energía del MIT, la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE y otras entidades llevan a la conclusión de que, cuanto más contribuye la generación de energía nuclear al logro de un mismo nivel de bajas emisiones de carbono, más asequible es el costo total de la electricidad para el consumidor final o el contribuyente en comparación con una canasta energética que dependa en gran medida de diversas energías renovables.¹³⁰

El sector de la energía baja en carbono, y la industria nuclear en particular, puede desempeñar una función importante en términos de creación de empleo y también a la hora de abrir camino para construir un futuro más sostenible y resiliente. La inversión en el sector nuclear tiene un probado historial de contribución a un desarrollo económico socialmente sostenible y equitativo, a la vez que ayuda a crear sistemas energéticos modernos y fiables con bajas emisiones de carbono, que ofrecen resiliencia ante las fluctuaciones meteorológicas o futuras convulsiones geopolíticas y económicas. El desarrollo de la energía nucleoelectrónica ha demostrado históricamente ser un catalizador del crecimiento industrial y económico y de la prosperidad en todo el mundo. Países con recursos energéticos nacionales limitados, como Francia, el Japón o la República de Corea, brindan elocuente ejemplo de que la energía nuclear trae consigo un crecimiento generalizado, amén de independencia energética, seguridad del suministro y resiliencia frente a las conmociones geopolíticas.

La energía nuclear genera una cantidad importante de puestos de trabajo muy cualificados y bien remunerados y, en su mayoría, locales, durante un largo período de tiempo, a menudo entre 80 y 100 años si se incluye la construcción, la explotación y la clausura. Dar protagonismo a la energía nuclear en las estrategias industriales modernas favorecerá el desarrollo de capacidades, la I+D y el comercio y la inversión. Del análisis de la industria nuclear europea se desprende que cada puesto de trabajo directo creado por este sector genera trabajo para otras 3,2 personas.¹³¹ Se calcula que cada euro gastado en la industria nuclear de Europa genera cuatro euros más para su economía.¹³² Análogamente, cada dólar gastado por una central nuclear estadounidense durante el año generará cuatro dólares adicionales para la economía del país.¹³³ En consecuencia, las inversiones en energía nuclear no solo aportan una fuente de electricidad fiable y asequible,

¹²⁹ Batini *et al.* 2021.

¹³⁰ Iniciativa de Energía del MIT 2018; AEN de la OCDE 2012, 2019; Agencia Internacional de Energía 2019; Zappa *et al.* 2019.

¹³¹ <https://www.foratom.org/downloads/nuclear-energy-powering-the-economy-full-study/> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹³² *Ibid.*

¹³³ Instituto de Energía Nuclear 2012.

sino también considerables beneficios socioeconómicos, lo que refuerza la importancia y las ventajas de hacer de los proyectos de energía nucleoelectrica uno de los ejes de toda política de transición energética justa.

13.6. CONCLUSIÓN

La pandemia mundial de COVID-19 que actualmente asola el mundo ha puesto de relieve en muchos sentidos las considerables desigualdades que existen entre los distintos países y dentro de ellos. También ha demostrado que, cuando la humanidad se une para resolver una emergencia, es posible lograr resultados formidables. La obtención de vacunas seguras y eficaces contra la COVID-19 en menos de un año es un ejemplo de ello, sobre todo sabiendo que el récord anterior en el desarrollo de una vacuna era de más de cuatro años.¹³⁴ Después de décadas de retórica sobre el cambio climático, hay que apelar al mismo sentido de urgencia para tomar medidas contundentes que eviten los peores efectos del cambio climático.

“Sin embargo, el discurso político moderno relativo a la transición energética limpia, y más en general al desarrollo económico, presenta las características de una lógica de “suma cero”, que postula que las poblaciones de los países de ingresos altos deben aceptar una reducción de su nivel de vida para permitir que los países de ingresos medianos y bajos se doten de mayor potencia energética, al tiempo que se limita el nivel de desarrollo al que estos países pueden aspirar. Se trata de una filosofía antihumanitaria que socavará todo esfuerzo serio por lograr la descarbonización y no hará más que blindar las desigualdades mundiales ya existentes. Si bien es concebible que los países más ricos del mundo experimenten una gran transformación de los comportamientos y admitan estilos de vida con restricciones energéticas, es extremadamente improbable que ocurra lo mismo con los países de ingresos medianos y bajos, que albergan a más del 85 % de la población mundial.¹³⁵

Estos países necesitan una energía más fiable y disponible en todo momento para ofrecer a su población mejores condiciones de vida y tienen todo el derecho a aspirar al mismo estilo de vida, alimentado por un gran consumo de energía, que los países de ingresos altos llevan disfrutando desde hace varias generaciones. La cuestión clave que se plantea es si estos países de ingresos medianos y bajos seguirán el mismo derrotero de emisiones intensivas de carbono y gran contaminación que han recorrido los otros en el pasado o si tendrán acceso a

¹³⁴ <https://www.nationalgeographic.com/science/article/why-coronavirus-vaccine-could-take-way-longer-than-a-year> (consultado el 1 de julio de 2021).

¹³⁵ <https://www.gapminder.org/fw/income-mountains/> (consultado el 1 de julio de 2021).

las competencias, la financiación y las tecnologías necesarias para eludir esta etapa y aterrizar directamente en un sistema energético asequible, fiable y con bajas emisiones de carbono.

Las tecnologías nucleares tienen un inmenso potencial para transformar sustancialmente las perspectivas de vida en todo el mundo, ya sea proporcionando electricidad abundante, sostenible y fiable o combatiendo el hambre y las enfermedades mediante diversos radioisótopos. La energía nucleoelectrica ofrece una oportunidad de oro para adoptar de una vez por todas una mentalidad de abundancia. Es además la única tecnología cuyo historial demuestra no solo que puede propiciar una profunda descarbonización a la velocidad requerida, sino también que puede ayudar a hacer llegar electricidad en grandes cantidades a poblaciones de todo el mundo. La energía nucleoelectrica ha roto la correlación entre crecimiento económico y aumento de las emisiones y ha demostrado que es posible descarbonizar los sistemas eléctricos de las economías avanzadas en los plazos necesarios para evitar los peores efectos del cambio climático, posibilitando al mismo tiempo estilos de vida con un gran consumo de energía y a la vez sostenibles.

El aforismo de George Santayana, “aquellos que no pueden recordar el pasado están condenados a repetirlo”,¹³⁶ ofrece una orientación pertinente para la transición energética que está emprendiendo la humanidad. Está claro que las comunidades de todo el mundo tienen que desprenderse de su tradicional adicción a los combustibles fósiles y que el afán de acceder a más electricidad y a una mejor calidad de vida se impondrá a la preocupación por las emisiones de gases de efecto invernadero. Con la energía nucleoelectrica no se plantea tal dicotomía. Un primer paso crucial para ello es que los encargados de formular políticas en todos los niveles, ya sea local, nacional o internacional, se atrevan a cuestionar las ideas preconcebidas sobre las tecnologías nucleares y defiendan la oportunidad que estas ofrecen. Igual de crucial es el liderazgo de los países de ingresos altos del mundo, ya que, debido al legado de las emisiones del pasado, tienen la responsabilidad de ayudar a los países de ingresos medianos y bajos a superar la fase del desarrollo basada en los combustibles fósiles. Esto puede lograrse alentando a los bancos multilaterales a apoyar todas las tecnologías bajas en emisiones de carbono, incluida la nuclear, y promoviendo la cooperación técnica y la transferencia de conocimientos. Si lo hacen, la trascendental tarea de forjar en todo el mundo sociedades verdaderamente equitativas, sostenibles y ambiciosas pasa a ser considerablemente más sencilla.

¹³⁶ Santayana 1905.

REFERENCIAS

- American Cancer Society (2014) The History of Cancer. <https://www.cancer.org/content/dam/CRC/PDF/Public/6055.00.pdf>. Accessed 1 July 2021
- American Cancer Society (2020) Lifetime Risk of Developing or Dying From Cancer. <https://www.cancer.org/content/dam/CRC/PDF/Public/509.00.pdf>. Accessed 1 July 2021
- Arshi P S, Vahidi E, Zhao F (2018) Behind the Scenes of Clean Energy: The Environmental Footprint of Rare Earth Products, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 6:3311–3320.
- Avrin A-P, He G, Kammen D M (2015) Assessing the impacts of nuclear desalination and geoengineering to address China's water shortages, *Desalination* 360:1–7.
- Avrin A-P, He G, Kammen D M (2018) Chapter 7—Relevance of Nuclear Desalination as an Alternative to Water Transfer Geoengineering Projects: Example of China. In: *Renewable Energy Powered Desalination Handbook*, Butterworth-Heinemann, Oxford, pp 265–286.
- Baek J and Pride D (2014) On the income–nuclear energy–CO₂ emissions nexus revisited, *Energy Economics* 43:6–10.
- Batini N, Di Serio M, Fragetta M, Melina G, Waldron A (2021) Building Back Better: How Big Are Green Spending Multipliers? <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2021/English/wpia2021087-print-pdf.ashx>. Accessed 1 July 2021
- Belessiotis V, Papanicolaou E, Delyannis E (2010) Nuclear desalination: A review on past and present, *Desalination and Water Treatment* 20:45–50.
- Boretti A, Rosa L (2019) Reassessing the projections of the World Water Development Report, *npj Clean Water* 2.
- Bourguignon F, Morrisson C (2002) Inequality among World Citizens: 1820–1992, *The American Economic Review* 92:727–744.
- Bouyer J, Culbert N J, Dicko A H, Gomez Pacheco M, Virginio J, Pedrosa M C, Garziera L, Macedo Pinto A T, Klaptocz A, Germann J, Wallner T, Salvador-Herranz R, Argiles Herrero R, Yamada H, Balestrino F, Vreysen M J B (2020) Field performance of sterile male mosquitoes released from an uncrewed aerial vehicle, *Science Robotics* 5.
- BP (2020) BP Statistical Review of World Energy. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>. Accessed 1 July 2021
- Brook B W (2012) Could nuclear fission energy, etc., solve the greenhouse problem? The affirmative case, *Energy Policy* 42:4–8.
- Candelise C, Saccone D, Vallino E (2021) An empirical assessment of the effects of electricity access on food security, *World Development* 141.
- Cao J, Cohen A, Hansen J, Lester R, Peterson P, Xu H (2016) China-U.S. cooperation to advance nuclear power, *Science* 353:547–548.
- Ceballos G and Ehrlich P R (2018) The misunderstood sixth mass extinction, *Science* 360:1080–1081.
- Ceballos G, Ehrlich P R, Barnosky A D, García A, Pringle R M, Palmer T M (2015) Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction, *Science Advances* DOI. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253>

- Ceballos G, Ehrlich P R, Dirzo R (2017) Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114:6089–6096.
- Chock R y, Clucas B, Peterson E K, Blackwell B F, Blumstein D T, Church K, Fernández-Juricic E, Francescoli G, Greggor A L, Kemp P, Pinho G M, Sanzenbacher P M, Schulte B A, Toni P (2021) Evaluating potential effects of solar power facilities on wildlife from an animal behavior perspective, *Conservation Science and Practice* 3:319–328.
- Clack C T M, Qvist S A, Apt J, Bazilian M, Brandt A R, Caldeira K, David S J, Diakov V, Handschy M A, et al. (2017) Evaluation of a proposal for reliable low-cost grid power with 100% wind, water, and solar, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114:6722–6727.
- Cohen A J, Brauer M, Burnett R, Anderson H R, Frostad J, Estep K, Balakrishnan K, Brunekreef B, et al. (2017) Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015, *The Lancet* 389 10082:1907–1918.
- Csik B J, Kupitz J (1997) *Aplicaciones de la energía nucleoelectrónica: Suministro de calor a hogares e industrias*, *Boletín del OIEA* N° 39, págs. 21 a 25.
- Darre N C, Toor G S (2018) Desalination of Water: a Review, *Current Pollution Reports* 4:104–111.
- Deloitte (2019) Economic and Social Impact Report FORATOM. <https://www.foratom.org/downloads/nuclear-energy-powering-the-economy-full-study/?wpdmdl=42758&refresh=5f61d7fee0ce71600247806>. Accessed 1 July 2021
- Department for Business, Energy, and Industrial Strategy (2021) BEIS Public Attitudes Tracker (March 2021, Wave 37, UK). https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/985092/BEIS_PAT_W37_-_Key_Findings.pdf. Accessed 1 July 2021
- Devanney J (2021) *Why Nuclear Power has been a Flop*, The CTX Press, Stevenson, WA.
- Dinkelman T (2011) The Effects of Rural Electrification on Employment: New Evidence from South Africa, *American Economic Review* 101:3078–3108.
- Directorate-General for External Policies of the Union (European Parliament) (2018) Energy as a tool of foreign policy of authoritarian states, in particular Russia. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1c80b8c6-58b6-11e8-ab41-01aa75ed71a1/language-en>. Accessed 1 July 2021
- Dirzo R, young H S, Galetti M, Caballos G, Isaac N J B, Collen B (2014) Defaunation in the Anthropocene, *Science* 345:401–406.
- Ember (2020) *Global Electricity Review*, Ember, London. <https://ember-climate.org/app/uploads/2022/02/Ember-2020GlobalElectricityReview-Web.pdf>. Accessed 1 July 2021
- Enkerlin W R (2005) Impact of Fruit Fly Control Programmes Using the Sterile Insect Technique. In: Dyck V A, Hendrichs J, Robinson A (eds) *Sterile Insect Technique*, Springer, Dordrecht, pp 651–676.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2017) The future of food and agriculture: Trends and challenges. <http://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>. Accessed 1 July 2021

- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización Mundial de la Salud (OMS), Programa Mundial de Alimentos (PMA) (2021) *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo: transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una nutrición mejorada y dietas asequibles y saludables para todos*. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/cb4474es>. Consultado el 1 de julio de 2021
- Goyal R, Marsh K, McKee N, Welch M (2021) Opposition to Renewable Energy Facilities in the United States. <https://climate.law.columbia.edu/sites/default/files/content/RELDI%20report%20updated%2009.10.21.pdf>. Accessed 1 July 2021
- Gross S (2020) Renewables, Land Use, and Local Opposition. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2020/01/FP_20200113_renewables_land_use_local_opposition_gross.pdf. Accessed 1 July 2021
- Habib K, Hamelin L, Wenzel H (2016) A dynamic perspective of the geopolitical supply risk of metals, *Journal of Cleaner Production* 133:850–858.
- Heard B, Brook B, Wigley T, Bradshaw C (2017) Burden of proof: A comprehensive review of the feasibility of 100% renewable-electricity systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76:1122–1133.
- Higgs S (2018) It Is Official: Vector-Borne and Zoonotic Diseases in the United States and Territories on the Rise—Now What?, *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 18:285.
- Hong S, Bradshaw C J A, Brook B W (2015) Global zero-carbon energy pathways using viable mixes of nuclear and renewables, *Applied Energy* 143:451–459.
- Ingersoll D, Houghton Z, Bromm R, Desportes C (2014a) NuScale small modular reactor for Co-generation of electricity and water, *Desalination* 340:84–93.
- Ingersoll D, Houghton Z, Bromm R, Desportes C (2014b) Integration of NuScale SMR With Desalination Technologies. In: *Proceedings of the ASME 2014 Small Modular Reactors Symposium*, ASME 2014 Small Modular Reactors Symposium, Washington, DC.
- Ingersoll E, Gogan K (2020) *Missing Link to a Livable Climate: How Hydrogen-Enabled Synthetic Fuels Can Help Deliver the Paris Goals*, LucidCatalyst, London & Cambridge, MA.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2019) *Summary for policymakers—Global Assessment*. https://ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_en.pdf. Accessed 1 July 2021
- International Agency for Research on Cancer (2020) *World Cancer Report: Cancer research for cancer prevention*, Wild C P, Weiderpass E, Stewart B W (eds). <https://shop.iarc.fr/products/world-cancer-report-cancer-research-for-cancer-prevention-pdf>. Accessed 1 July 2021
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015) *Use of Radiotracers to Study Surface Water Processes*, IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018) *Climate Change and Nuclear Power 2018*, IAEA, Vienna.

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2020) *Examen de la Tecnología Nuclear de 2020*. <https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc64-inf2.pdf>. Consultado el 1 de julio de 2021
- International Energy Agency (2019) Nuclear Power in a Clean Energy System. <https://www.iaea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>. Accessed 1 July 2021
- International Energy Agency (2020) Coal 2020 Analysis and forecast to 2025. https://iea.blob.core.windows.net/assets/00abf3d2-4599-4353-977c-8f80e9085420/Coal_2020.pdf. Accessed 1 July 2021
- International Energy Agency (2021) Electricity Market Report. <https://www.iaea.org/reports/electricity-market-report-july-2021>. Accessed 1 July 2021
- International Energy Agency (2021) Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. <https://www.iaea.org/reports/net-zero-by-2050>. Accessed 1 July 2021
- International Energy Agency (2021) The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA: Paris. World Nuclear Association (2021) Mineral Requirements for Electricity Generation. <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/mineral-requirements-for-electricity-generation.aspx>. Accessed 30 November 2021
- International Renewable Energy Agency, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems (2016) End-of-life management: solar photovoltaic panels. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf. Accessed 1 July 2021
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018) Summary for Policymakers. In: MassonDelmotte V, Zhai P, Pörtner H, Roberts D, Skea J, Shukla P, Pirani A, Moufouma-Okia W, Péan C, Pidcock R, Connors S, Matthews J, Chen y, Zhou X, Gomis M, Lonnoy E, Maycock T, Tignor M, Waterfield T (eds), Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_HR.pdf. Accessed 1 July 2021
- IPPC Secretariat (2021) Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems. FAO on behalf of the IPCC Secretariat, Rome.
- Jaffray D A, Gospodarowicz M K (2015) Radiation Therapy for Cancer. In: H. Gelband H, Jha P, Sankaranarayanan R, Horton S (eds) Cancer: Disease Control Priorities, 3rd edn, Vol. 3. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington DC.
- Jarvis S, Deschenes O, Jha A (2019) The Private and External Costs of Germany's Nuclear Phase-Out (Working Paper 26598), National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Jasserand F, Devezeaux de Lavergne J-G (2016) Initial economic appraisal of nuclear district heating in France, EPJ Nuclear Sciences & Technologies 2.
- Jiang y (2009) China's water scarcity, Journal of Environmental Management 90:3185–3196.

- Jiménez Cisneros B E, Oki T, Arnell N W, Benito G, Cogley J G, Doll P, Jiang T, Mwakalila S S (2014) Freshwater resources. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, pp 229–269.
- Jones E, Qadir M, van Vliet M T, Smakhtin V, Kang S-M (2019) The state of desalination and brine production: A global outlook, *Science of the Total Environment* 657:1343–1356.
- Karekezi S, McDade S, Boardman B, Kimani J, Lustig N (2012) Energy, Poverty, and Development. In: *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, pp 151–190.
- Khandker S R, Samad H A, Ali R, Barnes D F (2014) Who Benefits Most from Rural Electrification? Evidence in India, *The Energy Journal* 35:75–96.
- Kharecha P A, Hansen J E (2013) Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power, *Environmental Science and Technology* 47:4889–4895.
- Klassen W (2009) Introduction: development of the sterile insect technique for African malaria vectors, *Malaria Journal* 8.
- Klassen W, Curtis C F, Hendrichs J (2021) History of the Sterile Insect Technique. In: Dyck V A, Hendrichs J, Robinson A S (eds) *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*, 2nd edn, Boca Raton, FL, pp 1–44.
- Klassen W, Vreysen M J B (2021) Area-Wide Integrated Pest Management and the Sterile Insect Technique. In: Dyck V A, Hendrichs J, Robinson A S (eds) *Sterile Insect Technique*, CRC Press, Boca Raton, pp 75–112.
- Lee J C K, Wen Z (2017) Rare Earths from Mines to Metals: Comparing Environmental Impacts from China’s Main Production Pathways, *Journal of Industrial Ecology* 21:1277–1290.
- Liddle B, Sadorsky P (2017) How much does increasing non-fossil fuels in electricity generation reduce carbon dioxide emissions?, *Applied Energy* 197:212–221.
- Lindberg J C H (2017) Sweden’s silent phaseout, *Nuclear Engineering International* 62:12–14.
- Lindberg J C H (in press) Building an atomic future: The role for nuclear power in addressing major humanitarian challenges in the 21st century, *Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science*.
- Mark H E, Dias da Costa G, Pagliari C, Unger S A (2020) Malnutrition: the silent pandemic, *BMJ* 371.
- Mekonnen M M, Hoekstra A y (2016) Four billion people facing severe water scarcity, *Science Advances* 2.
- MIT Energy Initiative (2018) *The Future of Nuclear Energy in a Carbon-constrained World: An Interdisciplinary MIT Study*. <https://energy.mit.edu/research/future-nuclear-energy-carbon-constrained-world>. Accessed 1 July 2021
- Niu S, Jia y, Wang W, He R, Hu L, Liu y (2013) Electricity consumption and human development level: A comparative analysis based on panel data for 50 countries, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 53:338–347.

- Nuclear Energy Institute (2012) Nuclear Energy's Economic Benefits — Current and Future. <http://large.stanford.edu/courses/2018/ph241/may2/docs/nei-apr12.pdf>. Accessed 1 July 2021
- O'Neil S G (2021) Community obstacles to large scale solar: NIMBY and renewables, *Journal of Environmental Studies and Sciences* 11:85–92.
- Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2012) The Role of Nuclear Energy in a Low-carbon Energy Future. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14562/the-role-of-nuclear-energy-in-a-low-carbon-energy-future?details=true. Accessed 1 July 2021
- Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2019) The Costs of Decarbonisation: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_15000/the-costs-of-decarbonisation-system-costs-with-high-shares-of-nuclear-and-renewables?details=true. Accessed 1 July 2021
- Qvist S A, Brook B W (2015) Potential for Worldwide Displacement of Fossil-Fuel Electricity by Nuclear Energy in Three Decades Based on Extrapolation of Regional Deployment Data, *PLoS ONE* 10.
- Qvist S, Gladysz P, Bartela L, Sowiczal A (2021) Retrofit Decarbonization of Coal Power Plants — A Case Study for Poland, *Energies* 14.
- Rao N D, Pachauri S (2017) Energy access and living standards: some observations on recent trends, *Environmental Research Letters* 12.
- Rockström J, Steffen W, Noone K, et al. (2009) A safe operating space for humanity, *Nature* 461:472–475.
- Rogelj J, Shindell D, Jiang K, Fifita S, Forster P, Ginzburg V, Handa C, Khesghi H, Kobayashi S, Kriegler E, Mundaca L, Séférian R, Vilariño M V (2018) Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner H, Roberts D, Skea J, Shukla P, Pirani A, Moufouma-Okia W, Péan C, Pidcock R, Connors S, Matthews J, Chen y, Zhou X, Gomis M, Lonnoy E, Maycock T, Tignor M, Waterfield T (eds), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways*, World Meteorological Organisation, Geneva, pp 93–174.
- Rosling H, Rosling O, Rosling Rönnlund A (2018) *Factfulness: Diez razones por las que estamos equivocados sobre el mundo. y por qué las cosas están mejor de lo que piensas*, Deusto, Barcelona.
- Royal Society (2020) Nuclear cogeneration: civil nuclear energy in a low-carbon future policy briefing. <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/low-carbon-energy-programme/nuclear-cogeneration/>. Accessed 1 July 2021
- Santayana G (1905) *La vida de la razón o fases del progreso humano*, Tecnos, Madrid.

- Schlömer S, Bruckner T, Fulton L, Hertwich E, McKinnon A, Perczyk D, Roy J, Schaeffer R, Sims R, Smith P, Wiser R (2014) Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Stechow C, Zwickel T, Minx J (eds) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp 1329–1356.
- Schmeller D S, Courchamp F, Killeen G (2020) Biodiversity loss, emerging pathogens and human health risks, *Biodiversity and Conservation* 29:3095–3102.
- Smittenaar C R, Petersen K A, Stewart K, Moitt N (2016) Cancer incidence and mortality projections in the UK until 2035, *British Journal of Cancer* 115:1147–1155.
- Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell S E, Fetzer I, Bennett E M, Biggs R, Carpenter S R, de Vries W, de Wit C A, Folke C, Gerten D, Heinke J, Mace G M, et al. (2015) Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, *Science* 347.
- Stegen K S (2015) Heavy rare earths, permanent magnets, and renewable energies: An imminent crisis, *Energy Policy* 79:1–8.
- Stevens L (2017) The Footprint of Energy: Land Use of U.S. Electricity Production. <https://docs.wind-watch.org/US-footprints-Strata-2017.pdf>. Accessed 1 July 2021
- Tanner A M, Johnston A L (2017) The Impact of Rural Electric Access on Deforestation Rates, *World Development* 94:174–185.
- Thayer D W (1993) Extending Shelf Life of Poultry and Red Meat by Irradiation Processing, *Journal of Food Protection* 56:831–833.
- Tscharntke T, Clough y, Wanger T C, Jackson L, Motzke I, Perfecto I, Vandermeer J, Whitbread A (2012) Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification, *Biological Conservation* 151:53–59.
- Tyson A, Kennedy B, Funk C (2021) Gen Z, Millennials Stand Out for Climate Change Activism, Social Media Engagement With Issue. https://www.pewresearch.org/science/wp-content/uploads/sites/16/2021/05/PS_2021.05.26_climate-and-generations_REPORT.pdf. Accessed 1 July 2021
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2020) Responsible consumption. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22747/12_Responsible%20consumption%20and%20production_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Accessed 12 June 2021
- UNICEF (2021) Reimagining WASH—Water security for all, United Nations Children’s Fund (UNICEF), New York. <https://www.unicef.org/media/95241/file/water-security-for-all.pdf>. Accessed 1 July 2021
- Naciones Unidas (ONU) (2021) *Progresos realizados para lograr los Objetivo de Desarrollo Sostenible*, E/2021/58. <https://digitallibrary.un.org/record/3930067?ln=en>. Consultado el 1 de julio de 2021
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (2021) Use of Nuclear Fuel Resources for Sustainable Development – Entry Pathways. https://unece.org/sites/default/files/2021-03/UNECE%20Use%20of%20nuclear%20fuel%20resources%20for%20sustainable%20development_%20Final_0.pdf. Accessed 1 July 2021

- ONU-Agua (2021) *Resumen actualizado de 2021 sobre los progresos en el ODS 6: agua y saneamiento para todos*. <https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-for-all/>. Consultado el 1 de julio de 2021
- Van Gosen B S, Verplanck P L, Seal II R R, Long K R, Gambogi J (2017) Rare-earth elements. In: Schulz K J, DeYoung Jr J H, Seal II R R, Bradley D C (eds) *Critical Mineral Resources of the United States — Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*, U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, Reston, pp 539–571.
- Värri K, Syri S (2019) The Possible Role of Modular Nuclear Reactors in District Heating: Case Helsinki Region, *Energies* 12.
- Verma J, Gautam S (2015) Food irradiation and its role in shelf life extension of horticulture produce: a comprehensive evaluation of studies carried out in India and abroad. In: *Proceedings of the DAE-BRNS life sciences symposium on advances in microbiology of food, agriculture, health and environment*, Bio-Science Group, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai.
- Vohra K, Vodonos A, Schwartz J, Marais E A, Sulprizio M P, Mickley L J (2021) Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOSChem, *Environmental Research* 195.
- Willcox M, Waters L, Wanjiru H, Pueyo A, Hanna R, Palit D, Sharma K R (2015) *Utilising Electricity Access for Poverty Reduction*. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08975e5274a27b20000b5/61290-Electricity_Access_for_Poverty_Reduction_MainReport.pdf. Accessed 1 July 2021
- Winther T, Matinga M N, K. Ulsrud K, Standal K (2017) Women’s empowerment through electricity access: scoping study and proposal for a framework of analysis, *Journal of Development Effectiveness* 9:389–417.
- World Health Organization (WHO), International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020) *Guidance Framework for Testing the Sterile Insect Technique as a Vector Control Tool against Aedes-Borne Diseases*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331679/9789240002371-eng.pdf?ua=1>. Accessed 1 July 2021
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (1994) *Inocuidad e idoneidad nutricional de los alimentos irradiados*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39463/9241561629eng.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Consultado el 1 de julio de 2021
- World Health Organization (WHO) (2018) Latest global cancer data: Cancer burden rises to 18.1 million new cases and 9.6 million cancer deaths in 2018. <https://www.who.int/cancer/PRGlobocanFinal.pdf>. Accessed 1 July 2021
- Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) (1988) *La irradiación de los alimentos: Técnica para conservar y preservar la inocuidad de los alimentos*. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38544/9241542403_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consultado el 1 de julio de 2021
- World Nuclear Association (2019) *The Silent Giant: The need for nuclear in a clean energy system*. <https://www.world-nuclear.org/getattachment/Our-Association/Publications/Position-statements/the-silent-giant/the-silent-giant.pdf.aspx>. Accessed 1 July 2021

- World Nuclear Association (2020) World Nuclear Performance Report 2020. <https://www.world-nuclear.org/getmedia/3418bf4a-5891-4ba1-b6c2-d83d8907264d/performance-report-2020-v1.pdf.aspx>. Accessed 1 July 2021
- World Nuclear Association (2021) The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA: Paris. World Nuclear Association (2021) Mineral Requirements for Electricity Generation. <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/mineral-requirements-for-electricity-generation.aspx>. Accessed 30 November 2021
- WWF (2020) Living Planet Report 2020 Bending the curve of biodiversity loss. <https://f.hubspotusercontent20.net/hubfs/4783129/LPR/PDFs/ENGLISH-FULL.pdf>. Accessed 1 July 2021
- Zappa W, Junginger M, van den Broek M (2019) Is a 100% renewable European power system feasible by 2050?, *Applied Energy* 233–234:1027–1050.
- Ziegler L, Gonzalez E, Rubert T, Smolka U, Melero J J (2018) Lifetime extension of onshore wind turbines: A review covering Germany, Spain, Denmark, and the UK, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82:1261–1271.
- Ziolkowska J R (2015) Is Desalination Affordable?—Regional Cost and Price Analysis., *Water Resources Management* 29:1385–1397.

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

14. LOS PAÍSES EN FASE DE INCORPORACIÓN AL ÁMBITO NUCLEAR: EL CAMINO RECORRIDO POR LOS EMIRATOS ÁRABES UNIDOS

Hamad AlKaabi

Resumen Para embarcarse en la energía nucleoelectrica es necesario adoptar decisiones y compromisos políticos de alto nivel, acometer tareas de planificación e inversiones económicas de gran calado, tener en cuenta aspectos comerciales de envergadura, garantizar la sostenibilidad a largo plazo en materia de seguridad nuclear y, además, contar con un marco internacional y jurídico por el que regular el programa nucleoelectrico. Dado que son numerosos los retos que giran en torno a las decisiones gubernamentales de introducir la energía nucleoelectrica en la matriz energética de un país, en este capítulo se ponen de manifiesto la experiencia y los logros de los Emiratos Arabes Unidos (EAU) en la elaboración y regulación de su programa nucleoelectrico. En concreto, se centra la atención en los hitos del camino recorrido por los EAU, puesto que podrían ser de interés para los países que se incorporan al ámbito nuclear y para la comunidad internacional en general. En este capítulo se esboza la elaboración de la legislación y del marco regulador integrales nacionales de los EAU, una senda que se inició con la denominada «Política Nuclear». También se describe, de forma generalizada, la estrategia que se diseñó y con la que se fijaron los primeros pasos del programa nuclear de uso pacífico de los EAU, incluido el calendario de objetivos concretos. Se mencionan, además, las convenciones internacionales y los acuerdos de cooperación nuclear de los EAU, así como la cooperación con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Se ha prestado especial atención a la función que desempeña el regulador nuclear de los EAU y a su mandato y también a la elaboración de las normativas y las guías reguladoras de este país. En la publicación también se describe la concesión de licencias del programa nucleoelectrico, así como la concesión de licencias para otras actividades y prácticas en las que intervienen las fuentes de radiación. En conclusión, en esta publicación se ponen en común algunas de las lecciones que han aprendido los EAU y en las cuales se basarán sus esfuerzos para la mejora continua de su marco jurídico.

Palabras clave Económico y ambiental • Electricidad • Emiratos Arabes Unidos (EAU) • Energía nuclear • Marcos jurídicos • Nuevas instalaciones nucleares • País en fase de incorporación • Programa nucleoelectrico

14.1. EL INICIO DEL PROGRAMA NUCLEOELÉCTRICO DE LOS EMIRATOS ÁRABES UNIDOS: LA POLÍTICA NUCLEAR

Durante 2007, el Gobierno de los Emiratos Árabes Unidos (EAU) evaluó las distintas opciones existentes con respecto a futuras fuentes de energía y estudió el papel que podría desempeñar la energía nuclear en la futura estrategia energética de este país.

En los “estudios sobre la energía” se llegó a la conclusión de que la energía nuclear podría desempeñar un papel fundamental a la hora de satisfacer las necesidades energéticas del país. A partir de estos estudios, el Gobierno de los EAU elaboró la Política de los Emiratos Árabes Unidos sobre la Evaluación y el Posible Desarrollo de una Energía Nuclear Pacífica (en adelante, la Política Nuclear),¹ aprobada por el Consejo de Ministros de los EAU y publicada en abril de 2008. Para la elaboración de la Política Nuclear se tuvo que llevar a cabo un estudio en profundidad sobre las mejores prácticas internacionales, un amplio proceso consultivo en el seno del Gobierno de los EAU y también con partes interesadas extranjeras e internacionales, incluido el OIEA, y se tuvieron que establecer los principios rectores del desarrollo de la energía nuclear pacífica de los EAU.

En la Política Nuclear se describe a grandes rasgos la función de la energía nuclear en la estrategia energética de los EAU y el enfoque de este país con respecto a la energía nucleoelectrica para uso civil.

Lo más importante es que, en la Política Nuclear, el Gobierno de los EAU documenta las estrategias y compromisos gubernamentales con respecto a los más estrictos estándares en materia de seguridad tecnológica, seguridad física y no proliferación; además, en el documento se exponen seis principios clave para el establecimiento de un programa de energía nuclear civil pacífica en los EAU:

- 1) una transparencia operativa plena;
- 2) los estándares más exigentes en materia de no proliferación;
- 3) los estándares más exigentes en materia de seguridad tecnológica y seguridad física;
- 4) una estrecha cooperación con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y el cumplimiento de sus normas;
- 5) el desarrollo de una capacidad de energía nucleoelectrica nacional con fines pacíficos en cooperación con los gobiernos y empresas de naciones responsables, así como con la ayuda de organizaciones expertas adecuadas, y

¹ Policy of the United Arab Emirates on the Evaluation and Potential Development of Peaceful Nuclear Energy 2008 (Política de los Emiratos Árabes Unidos sobre la Evaluación y el Posible Desarrollo de una Energía Nuclear Pacífica de 2008).

- 6) medidas por las que garantizar la sostenibilidad a largo plazo del programa nucleoelectrico nacional con fines pacíficos.

En ese momento, el Gobierno de los EAU también reflejó varias decisiones estratégicas clave en la Política Nuclear. Esas decisiones consistieron en renunciar al enriquecimiento y reprocesamiento del combustible nuclear en el caso de que la energía nucleoelectrica fuese uno de los componentes de la matriz energética de los EAU.

14.2. DE LA POLÍTICA NUCLEAR AL MARCO JURÍDICO

14.2.1. Convenciones y convenios internacionales

Para cumplir con los compromisos de los EAU en lo relativo a la transparencia, las más estrictas normas de no proliferación y de seguridad tecnológica y seguridad física, así como para perseguir la cooperación internacional sustentada en la Política Nuclear, los EAU han accedido a los principales instrumentos, tratados, convenciones y convenios, y acuerdos internacionales pertinentes en materia de seguridad tecnológica nuclear, seguridad física nuclear, no proliferación y responsabilidad civil por daños nucleares.²

- 1) Los EAU accedieron a la Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares el 2 de octubre de 1987 y esta convención entró en vigor para los EAU el día 2 de noviembre de 1987.³
- 2) Los EAU accedieron a la Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica el 2 de octubre de 1987 y esta convención entró en vigor para los EAU el día 2 de noviembre de 1987.⁴

² Estos instrumentos son, entre otros, la Convención sobre Seguridad Nuclear, la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos, la Convención sobre la Pronta Notificación y Asistencia, la enmienda de la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares, la Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares, el Protocolo Común, la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares y su Enmienda, el Acuerdo de Salvaguardias Amplias (ASA) y el Protocolo Adicional al ASA.

³ La Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares se abrió a la firma el 26 de septiembre de 1986 (Viena) y el 6 de octubre de 1986 (Nueva York), y entró en vigor el 27 de octubre de 1986 (Convención sobre la Pronta Notificación).

⁴ La Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica se abrió a la firma el 26 de septiembre de 1986 (Viena) y el 6 de octubre de 1986 (Nueva York), y entró en vigor el 26 de febrero de 1987 (Convención sobre Asistencia).

- 3) Los EAU accedieron al Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) el 26 de septiembre de 1995.⁵
- 4) El Acuerdo entre los EAU y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (Acuerdo de Salvaguardias) se firmó el 15 de diciembre de 2003 y entró en vigor para los EAU el 9 de octubre de 2003.⁶
- 5) El Protocolo Adicional al Acuerdo entre los Emiratos Árabes Unidos y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (en adelante, el Protocolo Adicional) se firmó el 8 de abril de 2009 y entró en vigor para los Emiratos Árabes Unidos el 20 de diciembre de 2010.⁷
- 6) Los Emiratos Árabes Unidos accedieron a la Convención sobre Seguridad Nuclear el 31 de julio de 2009 y esta convención entró en vigor para los EAU el día 29 de octubre de 2009.⁸
- 7) Los Emiratos Árabes Unidos accedieron a la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos el 31 de julio de 2009 y esta convención entró en vigor para los EAU el día 29 de octubre de 2009.⁹
- 8) Los Emiratos Árabes Unidos accedieron a la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares el día 16 de octubre de 2003 y esta convención entró en vigor para los EAU el 15 de noviembre de 2003.¹⁰

⁵ El Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares, se abrió a la firma el 1 de julio de 1968 (Viena, Moscú, Washington), y entró en vigor el día 5 de marzo de 1970 (Tratado sobre la No Proliferación o TNP).

⁶ El Acuerdo entre los EAU y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares se firmó el 15 de diciembre de 2002 (Abu Dhabi) y entró en vigor el 9 de octubre de 2003 (Acuerdo de Salvaguardias).

⁷ El Protocolo Adicional al Acuerdo entre los Emiratos Árabes Unidos y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de salvaguardias en relación con el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares entró en vigor el 20 de diciembre de 2010.

⁸ La Convención sobre Seguridad Nuclear se abrió a la firma el 20 de septiembre de 1994 (Viena) y entró en vigor el 24 de octubre de 1996.

⁹ La Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos se abrió a la firma el 29 de septiembre de 1997 y entró en vigor el 18 de junio de 2001.

¹⁰ La Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN) se abrió a la firma el 3 de marzo de 1980 y entró en vigor el día 8 de febrero de 1987.

- 9) Los EAU aceptaron la Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares el día 31 de julio de 2009 y esta entró en vigor el 8 de mayo de 2016.¹¹
- 10) El Convenio Internacional para la Represión de los Actos de Terrorismo Nuclear (acceso el 10 de enero de 2008).¹²

14.2.2. Acuerdos de cooperación nuclear de los EAU

Los EAU reconocieron que los acuerdos de alianzas y de cooperación internacionales constituyen la piedra angular de un programa de energía nuclear satisfactorio. Gracias a dichos acuerdos, los países avanzados desde el punto de vista tecnológico facilitan el acceso a los países que se encuentran en fase de incorporación a los usos pacíficos de la energía nuclear.

Según los principios que se establecen en la Política Nuclear, los EAU se comprometieron a desarrollar una capacidad nacional de energía nucleoelectrica para usos pacíficos en cooperación con los gobiernos y empresas de naciones responsables; asimismo, se comprometieron a garantizar la sostenibilidad a largo plazo del programa nacional de energía nucleoelectrica pacífica de los Emiratos Árabes Unidos.

Por ello, los EAU han suscrito diversos acuerdos bilaterales para beneficiarse de la cooperación en el uso pacífico de la energía nuclear (en adelante, los Acuerdos de Cooperación Nuclear o ACN).

- 1) Acuerdo de Cooperación entre el Gobierno de los Emiratos Árabes Unidos y el Gobierno de la República Francesa para el Desarrollo de Usos Pacíficos de la Energía Nuclear, 15 de enero de 2008.
- 2) Acuerdo de Cooperación entre el Gobierno de los Emiratos Árabes Unidos y el Gobierno de los Estados Unidos de América en relación con el Uso Pacífico de la Energía Nuclear, 21 de mayo de 2009.
- 3) Acuerdo entre el Gobierno de los Emiratos Árabes Unidos y el Gobierno de la República de Corea para la Cooperación en el Uso Pacífico de la Energía Nuclear, 22 de junio de 2009.
- 4) Acuerdo entre el Gobierno del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte y el Gobierno de los Emiratos Árabes Unidos para la Cooperación en el Uso Pacífico de la Energía Nuclear, 2010.

¹¹ La Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (Enmienda a la CPFMN) entró en vigor el 8 de mayo de 2006.

¹² El Convenio Internacional para la Represión de los Actos de Terrorismo Nuclear (Convenio sobre el Terrorismo Nuclear o ICSANT) se abrió a la firma el 14 de septiembre de 2005 y entró en vigor el 7 de julio de 2007.

- 5) Acuerdo entre el Gobierno de los Emiratos Árabes Unidos y el Gobierno de Australia sobre Cooperación en el Uso Pacífico de la Energía Nuclear, 31 de julio de 2012.
- 6) Acuerdo entre el Gobierno de los Emiratos Árabes Unidos y el Gobierno del Canadá para Cooperación en el Uso Pacífico de la Energía Nuclear, 18 de septiembre de 2012.
- 7) Acuerdo entre el Gobierno de los Emiratos Árabes Unidos y el Gobierno de la Federación de Rusia sobre Cooperación en el Ámbito del Uso de la Energía Nuclear para Fines Pacíficos, 17 de diciembre de 2012.
- 8) Acuerdo de Cooperación en el Uso Pacífico de la Energía Nuclear entre los Emiratos Árabes Unidos y la República Argentina, 14 de enero de 2013.
- 9) Acuerdo entre el Gobierno de los Emiratos Árabes Unidos y el Gobierno del Japón para la Cooperación en el Uso Pacífico de la Energía Nuclear, 2 de mayo de 2013.

Estos acuerdos sientan las bases de la cooperación en distintos ámbitos, incluidos el industrial y el gubernamental. A consecuencia de ello, las entidades de los EAU suscribieron diversos acuerdos bilaterales y memorandos de entendimiento con sus correspondientes contrapartes extranjeras para continuar la cooperación originada con los ACN.

14.2.3. Cooperación con el Organismo Internacional de Energía Atómica

Para garantizar la ejecución de un programa satisfactorio y sostenible de energía nuclear, los EAU trabajaron estrechamente con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y con socios internacionales. La decisión de trabajar directamente con el OIEA y de acatar sus normas se ha reflejado en el programa de cooperación técnica en curso, con el cual se abarcan diversos ámbitos, concretamente la creación de capacidades científicas y tecnológicas de los Estados Miembros del OIEA, incluido el desarrollo de recursos humanos.

Los EAU consultaron al OIEA todas y cada una de las medidas que adoptaron para elaborar su programa de energía nuclear y aprovecharon las misiones de examen del OIEA.

En enero de 2011, los EAU recibieron una misión del Examen Integrado de la Infraestructura Nuclear (INIR), cuyo resultado práctico fue muy positivo y en el cual no se detectaron deficiencias importantes. Además, los EAU habían acumulado una valiosa experiencia en el enfoque integrado de asesoramiento del OIEA para la elaboración de nuevos programas de energía nuclear.

Asimismo, los EAU presentaron su primer informe nacional ante la quinta reunión de examen de las Partes Contratantes en la Convención sobre Seguridad

Nuclear, en la cual se había elogiado la labor de los EAU con respecto al desarrollo de infraestructura de seguridad nuclear.

En diciembre de 2011, los EAU recibieron su primera misión del Servicio Integrado de Examen de la Situación Reglamentaria (IRSS), en una fase temprana nunca antes vista en un programa nuclear. Por lo tanto, los EAU estaban formulando un modelo de transparencia y responsabilidad para los países en fase de incorporación a la energía nuclear.

Para finales de 2011, antes del inicio de la construcción de la Unidad 1 de la central nuclear de Barakah, los EAU aprobaron ocho nuevos reglamentos relativos a la seguridad tecnológica, la seguridad física y el uso pacífico de las aplicaciones nucleares; además, habían establecido procedimientos de concesión de licencias y de inspección.

La construcción del primer reactor nuclear de los EAU se inició en julio de 2012, tras una detallada evaluación del diseño, en la cual se tuvieron en cuenta las primeras lecciones aprendidas del accidente de Fukushima Daiichi; el inicio de las obras convirtió a los EAU en el primer país en fase de incorporación en construir una central nuclear en 27 años. La construcción de la segunda unidad comenzó en mayo de 2013.¹³

Los EAU siguieron solicitando y recibiendo exámenes exhaustivos por parte de homólogos del OIEA, que fueron esenciales para garantizar la aptitud de las medidas de seguridad tecnológica y de las infraestructuras nacionales. Los EAU también fueron el primer país en recibir una misión del Examen Integrado de la Infraestructura Nuclear (INIR) de fase 3, cuyo objetivo era el de examinar el desarrollo de la infraestructura de los EAU para un programa nucleoelectrico. La misión del INIR se llevó a cabo previa invitación del Gobierno de los EAU y fue el primer examen que el OIEA ha llevado a cabo con respecto a un país en la fase final del enfoque de los hitos del OIEA, en el que se ofrecen orientaciones detalladas para desarrollar las infraestructuras necesarias para un programa nucleoelectrico.

Los EAU firmaron un plan de trabajo integrado para el período 2013-2017, en el que se estableció un marco integral de cooperación con todos los departamentos del OIEA.

En la actualidad, los EAU siguen aprendiendo del OIEA y se benefician de su apoyo constante, concretamente a través de la creación de capacidades y de los servicios de examen por parte de homólogos internacionales; no obstante, los EAU también se encuentran en posición de compartir su experiencia con otros países que se incorporan a los instrumentos jurídicos internacionales en materia nuclear, a través de la elaboración de la legislación y del marco regulador necesarios y de la reglamentación de las actividades nucleares. Este intercambio

¹³ OIEA 2014, párr. 274.

de experiencias se lleva a cabo a través de la cooperación bilateral y también en el plano internacional, por medio de aportaciones en reuniones internacionales y de la participación en grupos de trabajo de la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE en relación con el derecho nuclear. En este contexto, los EAU también contribuyen a la formulación de normas internacionales mediante su participación en los cinco comités sobre normas de seguridad y en el Comité de Orientación sobre Seguridad Física Nuclear del OIEA.

14.2.4. La Hoja de Ruta hacia el Éxito

Con la promulgación de la Política Nuclear, los EAU iniciaron la constitución de una Organización para la Ejecución del Programa de Energía Nuclear, según la recomendación del OIEA, a la que se denominó, en las primerísimas fases del programa, Autoridad de Asuntos Ejecutivos (AAE) de Abu Dhabi.

En septiembre de 2008, la AAE elaboró un documento estratégico interno titulado Hoja de Ruta hacia el Éxito y basado en las mejores prácticas internacionales y en los hitos del OIEA que abarcan las 19 cuestiones relativas a la infraestructura nuclear.

En la Política Nuclear se señala que los EAU también han tenido en cuenta e intentan utilizar a modo de orientaciones las recomendaciones sobre planificación expresadas por el OIEA en el documento “Hitos en el desarrollo de la infraestructura nacional para la energía nucleoelectrónica” (en adelante, los Hitos del OIEA).¹⁴

Los Hitos del OIEA abarcan tres fases en el desarrollo de la infraestructura necesaria para respaldar un programa nucleoelectrónico. La culminación de cada fase con respecto a 19 cuestiones de la infraestructura nuclear la marca un hito concreto, momento en el cual se pueden evaluar los avances de los trabajos de desarrollo y se puede tomar la decisión de avanzar hacia la siguiente fase.

La Hoja de Ruta hacia el Éxito sentó los cimientos iniciales del programa nuclear con fines pacíficos de los EAU mediante la puesta en práctica de un conjunto de recomendaciones explícitas, de objetivos, de responsabilidades con respecto a las partes interesadas de los EAU, y de plazos con respecto a los objetivos concretos relativos a la fecha prevista de entrada en funcionamiento, que se fijó entonces para 2017.

¹⁴ OIEA 2007, 2015.

14.3. HACIA UNA LEGISLACIÓN NUCLEAR NACIONAL INTEGRAL

El compromiso de los EAU con respecto a las más estrictas normas en materia de seguridad nuclear se refleja en su marco jurídico, regulador e institucional. La Política Nuclear sirvió como referencia para formular la legislación del sector nuclear de los EAU. En la Política Nuclear se especificaba que los EAU debían redactar una legislación nuclear nacional integral que abarcara todos los aspectos del derecho nuclear, incluidos la seguridad tecnológica, la seguridad física, la no proliferación, la responsabilidad por daños nucleares, así como otros aspectos legislativos, reguladores y comerciales y, entre otras funciones; esa legislación también debía facultar jurídicamente el establecimiento de una autoridad reguladora nuclear completamente independiente, puesto que es necesaria como institución esencial con la que salvaguardar y preservar la transparencia operativa en el sector de la energía nuclear. Según la Política Nuclear, con la legislación nuclear nacional integral se pretendía transponer las obligaciones de los EAU en virtud de los instrumentos internacionales al ordenamiento jurídico nacional. Asimismo, en la Política Nuclear se definía que el alcance de la legislación nuclear de los EAU debía incluir disposiciones relativas a los siguientes aspectos: el establecimiento de una autoridad reguladora y de un régimen de concesión de licencias; la responsabilidad civil por daños nucleares; las responsabilidades de los titulares de licencias; la gestión de los desechos radiactivos y del combustible gastado; la clausura de las instalaciones nucleares; la protección física del material y las instalaciones nucleares; y las obligaciones de no proliferación y los controles y su aplicación al respecto.

Dado que la estructura jurídica de los EAU consta de dos sistemas —el ordenamiento jurídico federal y el ordenamiento jurídico local de cada uno de los siete emiratos de los EAU—, el Gobierno tuvo que decidir entre fijar un marco jurídico y regulador de carácter federal o uno de carácter local en el Emirato de Abu Dhabi, donde supuestamente se iba a ubicar la futura central nuclear. También se tuvo que decidir si la legislación del sector nuclear se elaboraba a partir de los elementos de la infraestructura jurídica existente o si se formulaba una nueva legislación de carácter federal. Por ejemplo, el Comité de Protección Radiológica ya existía en los EAU antes de que se llevaran a cabo los “estudios sobre la energía” y de que se elaborase la Política Nuclear; dicho comité lo había aprobado entonces el Consejo de Ministros. Además, existía la Ley Federal N° 1 de 2002 relativa a la Regulación y el Control del Uso de Fuentes de Radiación y la Protección frente a sus Riesgos.

Otro de los retos consistía en determinar el alcance del mandato del órgano regulador y garantizar que se constituyera como regulador nuclear independiente, sin que rindiera cuentas a ningún ministerio de los EAU ni formara parte de ellos.

Las características institucionales por las que se garantiza la independencia del regulador nuclear se reflejaron en la Política Nuclear, en la que se especificaba que al regulador nuclear independiente “se le dotaría de las siguientes potestades conforme a las recomendaciones del OIEA:

(1) establecer obligaciones y reglamentos; (2) emitir licencias; (3) inspeccionar y evaluar instalaciones y estructuras relacionadas con las instalaciones; (4) supervisar y hacer cumplir los reglamentos; y (5) establecer un Sistema Nacional de Contabilidad y Control (SNCC) del material nuclear (incluido el combustible gastado y los desechos radiactivos) de conformidad con las obligaciones de salvaguardias del OIEA”.¹⁵ Además, en la Política Nuclear se especifica que el organismo regulador se encargaría de comunicarse con el OIEA de manera constante para proporcionarle a este, por ejemplo, los informes que se estipulan en los acuerdos internacionales de los cuales los EAU son parte. Otro aspecto complicado residía en conseguir que la legislación garantizara la independencia del regulador nuclear en su toma de decisiones, fundamentalmente en lo relacionado con las decisiones relativas a la seguridad tecnológica.

Varios expertos extranjeros de los Estados Unidos, Europa y Asia, así como del OIEA, contribuyeron a la elaboración de la legislación integral nuclear nacional. Estos expertos tuvieron en cuenta las enseñanzas extraídas de diversos ordenamientos jurídicos y normas internacionales y ofrecieron numerosas ideas con la intención de poner en práctica las lecciones aprendidas hasta el momento. El OIEA prestó apoyo a través de su programa de asistencia legislativa. Este organismo, además, corrigió el borrador de la ley y también formuló comentarios y prestó asesoramiento sobre disposiciones concretas de la futura legislación integral nuclear de los EAU.

El reto al que se enfrentaban los EAU radicaba en elegir el enfoque correcto para la elaboración de una legislación técnica integral en la que se reflejaran verdaderamente las mejores prácticas extraídas de todo el mundo, las normas internacionales y también las lecciones aprendidas. Los EAU tenían muy poca experiencia en la redacción y tramitación de una legislación tan compleja en el proceso legislativo de este país. Así pues, gracias a los conocimientos especializados externos recibieron numerosas aportaciones y opciones al respecto. Sin embargo, la responsabilidad de valorar y elegir la opción más oportuna siempre recayó en los EAU.

El 23 de septiembre de 2009, los EAU aprobaron la Ley Federal integral mediante el Decreto N° 6 de 2009 sobre Usos Pacíficos de la Energía Nuclear (en adelante, la Ley Nuclear), en el cual se estipula la creación y establecimiento de

¹⁵ Policy of the United Arab Emirates on the Evaluation and Potential Development of Peaceful Nuclear Energy 2008 (Política de los Emiratos Árabes Unidos sobre la Evaluación y el Posible Desarrollo de Energía Nuclear con Fines Pacíficos), pág. 6.

un sistema integral de otorgamiento de licencias y control del material nuclear, así como el establecimiento de la Autoridad Federal de Reglamentación Nuclear (FANR), encargada de supervisar el sector de la energía nuclear de los EAU en el ámbito de la seguridad tecnológica, la seguridad física y las salvaguardias. En la Ley Nuclear se definen las responsabilidades de los operadores y las funciones y responsabilidades del organismo regulador: la FANR.

Tras el establecimiento de la FANR, el 23 de diciembre de 2009 se constituyó la Corporación de Energía Nuclear de los Emiratos (ENEC) mediante la Ley N° 12 de 2009, dictada por el Presidente de los EAU en calidad de Gobernante de Abu Dhabi. La ENEC se constituyó como la organización encargada de aplicar el programa de energía nuclear de los EAU y desempeñó las funciones no relacionadas con la reglamentación de la Organización para la Ejecución de Programas de Energía Nuclear (NEPIO). En virtud de la Ley N° 12 de 2009, la ENEC se encarga de diseñar, construir, financiar, explotar, mantener, gestionar y poseer reactores nucleares destinados a fines pacíficos para la generación de energía y la desalación de aguas, con arreglo a la Ley Nuclear. En consonancia con los Objetivos de la Política Nuclear, la ENEC conserva la función de la NEPIO, que es importante para la sostenibilidad del programa a largo plazo, puesto que esta corporación refuerza un mecanismo de coordinación en el que participan todas las partes interesadas pertinentes.

Poco después, el 27 de diciembre de 2009, la ENEC anunció que había elegido a un equipo dirigido por la Corporación de Energía Nuclear de Corea (KEPCO) para que diseñara, construyera y ayudara en la explotación y mantenimiento de cuatro unidades de energía nucleoelectrónica de 1400 MWe para uso civil. El anuncio se produjo después de un amplio procedimiento de licitación de un año de duración.

Para lograr un marco jurídico integral nuclear y según lo dispuesto en los instrumentos internacionales sobre responsabilidad por daños nucleares de los cuales los EAU pasaron a ser parte, los EAU promulgaron la Ley Federal mediante el Decreto N° 4 de 2012 sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares (en adelante, la Ley de Responsabilidad por Daños Nucleares) en agosto de 2012, que entró en vigor en octubre de 2012. Mediante la Ley de Responsabilidad por Daños Nucleares se pretende aplicar los principios de responsabilidad por daños nucleares a fin de canalizar la responsabilidad del operador nuclear, la limitación de la responsabilidad del operador nuclear en cuantía y tiempo, la obligación de disponer de una garantía económica y el principio de no discriminación, entre otras cuestiones, que serían de aplicación en el caso de que se produjera un incidente nuclear dentro de una instalación nuclear y desencadenara daños nucleares. Las disposiciones de la Ley de Responsabilidad por Daños Nucleares concuerdan con las obligaciones de los EAU en virtud de la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares de 1997 —a la que los

EAU accedieron en mayo de 2012— y tienen en cuenta las mejores prácticas internacionales. También merece la pena señalar que, en consonancia con las recomendaciones del Grupo Internacional de Expertos sobre Responsabilidad por Daños Nucleares (INLEX), para contribuir a la consecución de un régimen mundial de responsabilidad por daños nucleares, los EAU también se unieron al Protocolo Común relativo a la Aplicación de la Convención de Viena y del Convenio de París en agosto de 2012 y se unieron a la Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares en julio de 2014.

14.3.1. Comité Asesor Internacional

Los avances posteriores en la elaboración del programa nucleoelectrico de los EAU, incluido su marco legislativo y regulador, se beneficiaron del asesoramiento y de las recomendaciones del Comité Asesor Internacional. Este comité se constituyó con miras a garantizar la transparencia operativa del programa y para que el programa de energía nuclear pacífica de los EAU se beneficiara de la pericia y los conocimientos de un selectísimo grupo de expertos de renombre internacional en los ámbitos de la seguridad tecnológica y la seguridad física nucleares, la no proliferación y el desarrollo de recursos humanos. El Comité Asesor Internacional se reunió por primera vez el 22 de febrero de 2010 en Abu Dhabi y siguió reuniéndose semestralmente durante ocho años, hasta la celebración de su reunión final, en octubre de 2017. Durante ese período, el Comité Asesor Internacional revisó los avances de los EAU con respecto al cumplimiento y mantenimiento de las normas más exigentes en materia de seguridad tecnológica, seguridad física, no proliferación, transparencia y sostenibilidad; asimismo, los miembros del Comité aportaron sus valiosos puntos de vista sobre la optimización del programa nucleoelectrico para la consecución de estos objetivos.¹⁶ Las recomendaciones del Comité Asesor Internacional están recogidas en 16 informes semestrales de dicho comité, que se encuentran a disposición pública.¹⁷

14.3.2. El regulador nuclear de los EAU

El regulador nuclear de los EAU —la FANR— lo constituyó el Presidente de los EAU, Su Alteza Sheikh Khalifa Bin Zayed Al Nahyan, en septiembre de 2009. En el artículo 4(1) de la Ley Nuclear se estipula que “por el presente se

¹⁶ <http://www.uaciab.ae>. Acceso el 15 de octubre de 2021. (Información sobre la labor del Comité Asesor Internacional).

¹⁷ <http://www.uaciab.ae/en/publications.html>. Acceso el 15 de octubre de 2021. (Todos los informes del Comité Asesor Internacional).

constituye una organización pública bajo la denominación de ‘Autoridad Federal de Reglamentación Nuclear’ independiente; este organismo tendrá personalidad jurídica independiente, plena competencia jurídica e independencia económica y administrativa en todos sus aspectos”.

En consonancia con las recomendaciones internacionales, la FANR se constituyó como entidad independiente, separada de los organismos encargados del desarrollo o la promoción de la energía nuclear y las aplicaciones nucleares y de los usuarios. Los miembros del Comité Directivo de la FANR tienen prohibido desempeñar una actividad regulada en virtud de la Ley Nuclear, ya sea directa o indirectamente (artículo 10(2) de la Ley Nuclear) y la FANR rinde cuentas al Gobierno mediante un Informe Anual dirigido al Ministro de Asuntos Presidenciales (artículo 11 de la Ley Nuclear). Otro elemento importante de la independencia económica de la FANR se trata en el artículo 18 de la Ley Nuclear, en el que se especifica, entre otras cuestiones, que los fondos de este organismo están conformados por la financiación que le asigna el Gobierno y los ingresos generados por el desempeño de sus funciones.

Las responsabilidades de la FANR se enumeran expresamente en los artículos 4 y 5 de la Ley Nuclear, así como en otras disposiciones; entre esas responsabilidades cabe mencionar la potestad de regular, controlar y supervisar el sector nuclear de los EAU para fines pacíficos exclusivamente y la potestad de garantizar la seguridad nuclear, la seguridad tecnológica nuclear, la seguridad física nuclear, la protección radiológica y las salvaguardias. La FANR también tiene la responsabilidad de garantizar el cumplimiento de las obligaciones derivadas de los tratados, las convenciones y los acuerdos internacionales relacionados con su mandato y firmados por los EAU.

A los efectos de desempeñar sus responsabilidades en virtud de la Ley Nuclear, la FANR lleva a cabo diversas actividades que se enumeran en la Ley Nuclear y que se pueden reagrupar en cuatro funciones reguladoras principales:

- 1) La elaboración y promulgación de reglamentos y guías reguladoras para respaldar la aplicación de la Ley Nuclear. En esos reglamentos se pretende especificar los requisitos aplicables a las actividades reguladas y a las instalaciones conexas, incluidas la seguridad tecnológica, la protección física, la preparación para emergencias, la contabilidad y control de materiales nucleares, el transporte de material radiactivo, las importaciones, las exportaciones, la protección radiológica o la clausura. En los reglamentos también se especificarán las exclusiones y exenciones de la totalidad o de partes del control reglamentario.
- 2) La concesión de licencias, incluidas la revisión y la evaluación de las solicitudes de licencias, la expedición de licencias, junto con la identificación

del estado de las licencias y su modificación, renovación, suspensión o revocación.

Estas dos primeras actividades principales se detallan con mayor detenimiento más adelante en el presente documento.

- 1) La inspección y evaluación de todas las actividades reguladas, incluido el desarrollo de un programa sistemático de inspección dentro de la FANR.
- 2) La identificación y ejecución de medidas para el cumplimiento normativo, incluidas las multas y otras sanciones administrativas hasta sanciones penales, mediante un enfoque graduado.

Para el desempeño de estas actividades principales, la FANR debe coordinarse con otras autoridades competentes de los EAU en áreas como la preparación para emergencias, la seguridad física nuclear, la no proliferación y el transporte de mercancías peligrosas. Asimismo, la FANR coopera con los organismos gubernamentales y les ofrece asesoramiento en materias relacionadas con la seguridad tecnológica, la protección radiológica, la seguridad física y también en relación con la protección del medio ambiente, la salud pública y laboral y los desechos radiactivos, entre otras cuestiones.

En el ámbito internacional, la FANR ha establecido relaciones de cooperación con varios reguladores nucleares extranjeros para intercambiar experiencias en materia de reglamentación, y también con centros de investigación foráneos, institutos y organizaciones internacionales a fin de respaldar sus actividades en diversas áreas, tales como la seguridad tecnológica nuclear, la seguridad radiológica o la investigación y el desarrollo. Según los compromisos internacionales de los EAU y la Ley Nuclear, la FANR es, en última instancia, la responsable de intermediar y de proporcionar la información, las notificaciones y los informes que deben remitirse a las organizaciones internacionales pertinentes.

14.3.3. Elaboración del marco regulador: reglamentos y guías reguladoras

La elaboración de la legislación nuclear constituye una medida fundamental con la que se establece el marco por el que se permite la realización de todas las actividades en los sectores nucleares y radiológicos del país y, al mismo tiempo, por el que se garantiza una protección adecuada a las personas y al medio ambiente frente a los efectos perjudiciales de la radiación ionizante. Sin embargo, esta es únicamente la primera de las medidas que debe adoptar un país durante la elaboración de un marco jurídico integral en materia nuclear.

Por naturaleza, la Ley Federal de los EAU, a través del Decreto N° 6 de 2009 sobre Usos Pacíficos de la Energía Nuclear (la Ley Nuclear) —aunque se

concibió para que fuese un instrumento legislativo “integral” en materia nuclear y radiológica— no puede contemplar todas las condiciones y requisitos por los que se regula la realización de todas las actividades de los sectores nucleares y radiológicos del país. Los requisitos reglamentarios detallados que son de aplicación para cada una de las actividades específicas y las instalaciones conexas deben incluirse dentro de un amplio conjunto de reglamentos, complementados por guías reguladoras. Como se ha señalado con anterioridad, en la Ley Nuclear la potestad para elaborar y promulgar reglamentos se le ha otorgado a la FANR; en su artículo 11(4)(j) se especifica que el Comité Directivo de la FANR tendrá las funciones y facultades de promulgar los reglamentos técnicos necesarios para el funcionamiento de esta entidad; entre esas funciones y facultades figura la potestad de “establecer, elaborar y adoptar reglamentos y directrices en los que se basen sus actividades reguladoras”. Estos mismos elementos se reiteran en las disposiciones del artículo 38 de la Ley Nuclear.

La labor de elaboración de reglamentos se inició inmediatamente después de la constitución de la FANR, puesto que, para el desarrollo del sector nuclear de los EAU, era fundamental disponer de algunos reglamentos. Así, el Reglamento sobre los Límites de Dosis Radiológicas y la Optimización de la Protección Radiológica para las Instalaciones Nucleares (FANR-REG-04), el Reglamento sobre la Aplicación de una Evaluación Probabilista de Riesgo en las Instalaciones Nucleares (FANR-REG-05), el Reglamento sobre Sistemas de Gestión de Instalaciones Nucleares (FANR-REG-01), el Reglamento sobre la Solicitud de Licencias para la Construcción de Instalaciones Nucleares (FANR-REG-06) y el Reglamento sobre el Transporte de Materiales Radiactivos ((FANR-REG-13) se aprobaron ya en 2010. Posteriormente, el Reglamento para Preparación para Emergencias de Instalaciones Nucleares (FANR-REG-12), el Reglamento sobre Protección Radiológica y Gestión Previa a la Disposición Final de Desechos Radiactivos en Instalaciones Nucleares (FANR-REG-11), y el Reglamento sobre el Sistema de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares y la Aplicación del Protocolo Adicional (FANR-REG-10) se aprobaron en 2011. Posteriormente, el Reglamento sobre el Emplazamiento de Instalaciones Nucleares (FANR-REG-02), el Reglamento sobre Normas Básicas de Seguridad Tecnológica para Instalaciones y Actividades Relacionadas con la Radiación Ionizante Distintas de las Instalaciones Nucleares (FANR-REG-24), el Reglamento sobre la Certificación del Personal Operativo de las Instalaciones Nucleares (FANR-REG-17) y el Reglamento sobre Diseños de las Centrales de Nucleares (FANR-REG-03) se aprobaron en 2013. A este respecto es importante señalar que la FANR aprobó en 2014 el Reglamento sobre Requisitos de Planes de Emergencia Fuera de Emplazamiento para Instalaciones Nucleares (FANR-REG-15), el Reglamento sobre la Solicitud de Licencias para Explotar

Instalaciones Nucleares (FANR-REG-14) y el Reglamento sobre Seguridad Operacional, incluida la Puesta en Servicio (FANR-REG-16).

Finalmente, la FANR ha elaborado un conjunto de 23 reglamentos en los que se abarca un amplio espectro de actividades que se llevan a cabo en los EAU y en sus instalaciones conexas: desde el emplazamiento, el diseño, la construcción, la explotación y la clausura de las instalaciones nucleares, la preparación y respuesta para casos de emergencia, la gestión previa a la disposición final y la disposición final de los desechos radiactivos, hasta la protección radiológica, la protección física del material nuclear y de las instalaciones conexas y la seguridad física de las fuentes radiactivas; en esos reglamentos también se tratan cuestiones como la contabilidad y control de los materiales nucleares, el control de las importaciones y las exportaciones, las situaciones existentes sobre exposición y las certificaciones del personal operativo.

Para elaborar todos estos reglamentos se han tenido en cuenta las normas de seguridad y los documentos de orientaciones sobre seguridad física del OIEA, así como los reglamentos elaborados por organismos reguladores extranjeros, los cuales también han servido de referencia. Los reglamentos se encuentran a disposición pública en árabe e inglés en el sitio web de la FANR.

La FANR ha instaurado un proceso específico respaldado por procedimientos para la elaboración y modificación de los reglamentos. Mediante ese proceso se garantiza que un enfoque sistemático a la hora de elaborar los reglamentos; gracias a ese enfoque, se recaban las necesarias aportaciones internas y también las aportaciones de entidades externas mediante consultas públicas y consultas a partes interesadas. Los comentarios que se reciben a través de las consultas se evalúan y se tienen en cuenta para la elaboración del borrador final del reglamento. Una vez aprobados y promulgados, los reglamentos se publican en ambos idiomas en el sitio web de la FANR y también en el Boletín Oficial de los EAU. La FANR también organiza eventos específicos dirigidos a los usuarios de estos reglamentos, a fin de concienciar y fomentar su conocimiento con respecto a los nuevos requisitos o a aquellos requisitos que se hayan modificado.

El regulador nuclear también ha ideado un enfoque sistemático con el que se establece una revisión periódica y la modificación, si se considera necesaria, de los reglamentos, así como la detección de la necesidad de promulgar nuevos reglamentos. La revisión periódica de los reglamentos debe efectuarse a más tardar cinco años después de la fecha de su respectiva promulgación. También, ante una necesidad o una circunstancia concreta, se puede llevar a cabo una revisión antes de que transcurra dicho lapso de tiempo. Esta revisión tiene por objetivo garantizar que el reglamento siga siendo idóneo; para ello, se tienen en cuenta factores como las actualizaciones de las Normas de Seguridad del OIEA o los documentos de Orientación sobre Seguridad Física, la experiencia operativa,

reguladora y de aplicación, la respuesta a eventos internacionales o los hallazgos en materia de investigación y desarrollo.

A modo de ejemplo, tras el accidente de Fukushima Daiichi, ocurrido en marzo de 2011, la FANR revisó sus reglamentos pertinentes relativos a instalaciones nucleares a fin de evaluar la necesidad de acometer una modificación inmediata de dichos preceptos normativos. Tras este ejercicio, la FANR ha determinado que no es necesario aplicar modificaciones inmediatas a los reglamentos existentes, pero sí ha enumerado varios aspectos que deben tenerse en cuenta durante el proceso de actualización del marco regulador.

Los reglamentos de la FANR se complementan con un conjunto de guías reguladoras que se promulgan para describir métodos o criterios aceptables para cumplir y aplicar requisitos concretos que se estipulan en los reglamentos de la FANR. De forma similar a los reglamentos, en las guías reguladoras también se tienen en cuenta, de forma amplia, las Normas de Seguridad del OIEA y los documentos de Orientación sobre Seguridad Física; asimismo, en las guías también se adoptan muchas de las guías emitidas por el organismo regulador del país del que procede la tecnología nuclear.

Hasta la fecha, la FANR ha alumbrado 22 guías reguladoras para respaldar la aplicación de los reglamentos; en la actualidad, se están elaborando otras cuatro guías. Para la elaboración y modificación de las guías reguladoras también se sigue un proceso sistemático que forma parte del sistema de gestión integrada de la FANR, en el cual participan los departamentos técnicos de la FANR y partes interesadas externas. Las guías reguladoras están publicadas en inglés en el sitio web de la FANR.

14.3.4. Sistema de concesión de licencias

Todas las actividades y prácticas relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear y la radiación ionizante, incluidos el equipo, la información y la tecnología relacionados con la energía nuclear y la radiación ionizante en los EAU, es decir, las actividades reguladas, están sujetas a la concesión de licencias de la FANR. En el artículo 6 de la Ley Nuclear se dispone la potestad exclusiva de la FANR de otorgar licencias para el desempeño de esas actividades reguladas; a su vez, en el artículo 23 de esta Ley, se prohíbe a toda persona llevar a cabo una actividad regulada en los EAU si no cuenta con una licencia para ello.

En la Ley Nuclear se prevé, en su artículo 25, un listado de actividades reguladas sujetas a licencia; entre ellas cabe mencionar, entre otras, el emplazamiento, la construcción, la explotación, la puesta en marcha y la clausura de instalaciones nucleares. En la Ley Nuclear, además, se establecen disposiciones concretas con respecto a la concesión de licencias, incluidos algunos criterios específicos para el otorgamiento, la revocación y la suspensión de las licencias.

En el artículo 28 de la Ley Nuclear se estipula que el solicitante de una licencia debe presentar pruebas detalladas de la seguridad, las cuales se someterán a revisión y evaluación por parte de la FANR de conformidad con los procedimientos establecidos al efecto. Tras revisar y evaluar una solicitud de licencia, la FANR, a través de su Comité Directivo, determina si otorga la licencia, si la otorga con condiciones o si la deniega; además, la FANR deja constancia escrita de los fundamentos de esas decisiones. Según se dispone en la Ley Nuclear, la FANR ha establecido un conjunto de reglamentos en los que se especifican, por ejemplo, los requisitos que deben cumplirse para la concesión de licencias en relación con una solicitud de licencia para la construcción de una instalación nuclear (FANR-REG-06) o los requisitos aplicables a las solicitudes de licencia para la explotación de instalaciones nucleares (FANR-REG-14). Más recientemente, la FANR también ha promulgado un reglamento concreto sobre el registro y la concesión de licencias de fuentes de radiación (FANR-REG-29).

Con estos reglamentos se pretende especificar los requisitos que los solicitantes deben cumplir para obtener una licencia de la FANR; además, dichos reglamentos deben leerse junto con las guías reguladoras complementarias elaboradas por la FANR (véase, por ejemplo, la guía reguladora de la FANR sobre el contenido de la construcción de una instalación nuclear y las solicitudes de licencias de explotación, FANR-RG-001-V1).

Según se dispone en el artículo 32(3) de la Ley Federal mediante el Decreto N° 6 de 2009:

la FANR tiene la obligación de llevar a cabo una revisión exhaustiva de la documentación presentada por el solicitante a fin de comprobar que: a) en la información disponible se demuestra la seguridad de la instalación o de la actividad que se propone llevar a cabo; b) la información... que figura en la documentación presentada es exacta y suficiente para confirmar el cumplimiento de los requisitos reglamentarios; y c) las soluciones técnicas y, en particular, las soluciones novedosas han sido demostradas u homologadas por autoridades competentes, por la experiencia o mediante ensayos y pueden alcanzar el nivel necesario de seguridad.

Por lo tanto, en 2010, la FANR dispuso, dentro de su Sistema de Gestión Integrada (SGI), procesos internos específicos —acordes con los requisitos de seguridad de la Ley Nuclear y del OIEA— para la concesión de licencias para el desempeño de las actividades reguladas en relación con las instalaciones nucleares, por un lado, y para la concesión de licencias para el desempeño de todas las demás actividades reguladas, por otro. En cada proceso se especifican las responsabilidades concretas de la autoridad reguladora en relación con

la recepción de la solicitud de licencia, la expedición de un plan interno con responsabilidades y de un calendario para la revisión de la solicitud de la licencia, la evaluación inicial y las solicitudes de información adicional, la evaluación final y la recomendación sobre la licencia, la decisión sobre la concesión de la licencia y la expedición de la licencia. El proceso lo complementa un conjunto de procedimientos e instrucciones en los que se detallan los métodos y los criterios que aplicará la FANR durante la revisión de la solicitud de licencia.

En lo relativo a la concesión de licencias de actividades reguladas relacionadas con instalaciones nucleares, los EAU han alcanzado hitos importantes durante los últimos doce años, pues hasta la fecha se han otorgado siete licencias clave:

- 1) La Licencia para la Selección de un Emplazamiento para la Construcción de una Instalación Nuclear, otorgada a la Corporación de Energía Nuclear de los Emiratos (ENEC) en febrero de 2010.

Dado que en ese momento no había ningún reglamento en vigor, la concesión de la licencia para la selección del emplazamiento se basó en orientaciones del OIEA y en referencias de la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos. La licencia la aprobó el Comité Directivo de la FANR, el órgano decisorio de mayor jerarquía de esta autoridad, una vez la FANR había revisado la solicitud presentada por la ENEC. La expedición de la licencia a la ENEC supuso el inicio formal de la importante función que desempeña la FANR como organismo regulador independiente en materia de seguridad para el programa nucleoelectrico de los EAU.

- 2) La Licencia para la Preparación de la Construcción de una Instalación Nuclear, otorgada la ENEC en julio de 2010.

Gracias a esta licencia y a la licencia para la selección del emplazamiento antes citada, la ENEC recibió la autorización para llevar a cabo investigaciones sobre el emplazamiento y para acometer los preparativos en el emplazamiento de Barakah, tales como la instalación de la infraestructura de emplazamiento y la construcción de partes de las instalaciones no relacionadas con la seguridad nuclear.

- 3) La Licencia de Construcción Limitada, otorgada a la ENEC en julio de 2010.

Mediante licencia se autorizó la fabricación, el montaje y las pruebas de ciertos componentes señalados expresamente en la licencia, incluidas las vasijas de los reactores, los generadores de vapor y otros componentes principales de

la familia de reactores. A través de esta licencia se autorizó a la ENEC y a su principal contratista, la Corporación de Energía Eléctrica de Corea (KEPCO), a fabricar y montar estructuras, sistemas y componentes, como la vasija de presión del reactor, generadores de vapor, bombas de refrigerantes y otros componentes importantes para la seguridad de la central nuclear. Debido al prolongado plazo total de ejecución, la ENEC ha decidido solicitar esta licencia en esta etapa inicial.

Como se indica en la misma licencia, esta se otorgó a riesgo del solicitante y sin perjuicio de cualquier decisión posterior de la FANR con respecto a la idoneidad del emplazamiento, del diseño y de la construcción de la instalación nuclear o de sus sistemas, estructuras y componentes. Es importante señalar que esta licencia permanecerá en vigor hasta la culminación de la obra de construcción de la instalación nuclear, hasta que la FANR la suspenda o la revoque, o hasta que el titular de la licencia renuncie a ella antes de la citada finalización de las obras.

En marzo de 2011, marzo de 2012 y mayo de 2012 se dictaron tres modificaciones posteriores a la licencia para que en esta se contemplaran varias obras civiles en el emplazamiento.

- 4) La Licencia para la Construcción de la Unidad 1 y la Unidad 2 de la Central Nuclear de Barakah, otorgada a la ENEC en julio de 2012.

Conviene señalar que, para la emisión de esta licencia de construcción, la FANR tuvo en cuenta todas las lecciones iniciales aprendidas del accidente de Fukushima Daiichi, puesto que la FANR participó activamente en las reuniones del Comité sobre Normas de Seguridad Nuclear del OIEA y en grupos de trabajo conexos dedicados a analizar las implicaciones de los hallazgos del accidente de Fukushima Daiichi con respecto a las Normas de Seguridad del OIEA. Así pues, se llevó a cabo una revisión exhaustiva del diseño del reactor y de las áreas de la solicitud de la licencia relacionadas con la protección frente a sucesos externos y la mitigación de accidentes muy graves; además, la FANR pidió al solicitante de la licencia que llevara cabo una evaluación para determinar la aplicación de las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima Daiichi a las Unidades 1 y 2 de la central nuclear de Barakah y que presentara un suplemento a la solicitud de licencia.

- 5) La Licencia para la Construcción de la Unidad 3 y la Unidad 4 de la Central Nuclear de Barakah y las actividades reguladas conexas, otorgada a la ENEC en julio de 2014.
- 6) La Licencia para el Manejo y el Almacenamiento de Combustible Nuclear No Irradiado, otorgada a la empresa Nawah Energy Company PJSC (Nawah) en diciembre de 2016.

- 7) La Licencia para la Explotación de la Unidad 1 de la Central Nuclear de Barakah, otorgada a Nawah, el operador nuclear, el 17 de febrero de 2020.

La expedición de la primera licencia para explotar una central nuclear en los EAU constituyó un logro significativo para el país y fue el resultado de una gran inversión, tanto de la industria como del regulador nuclear. La FANR ha revisado exhaustivamente las 14 000 páginas de la documentación de la solicitud presentada por el solicitante, ha emitido otras 2000 solicitudes de información adicional y ha complementado dicha labor con la realización de más de 180 inspecciones previas al otorgamiento de la licencia.

En la revisión y evaluación de la solicitud de licencia han participado todos los departamentos de la división operativa de la FANR, con el respaldo del departamento de asuntos jurídicos; esta labor está documentada en el Informe de Valoración de la Seguridad Tecnológica (IVST) de la Solicitud de Licencia de Explotación, en el que se describe el marco, la metodología y las conclusiones de la revisión y la evaluación reguladoras de la solicitud de la licencia para la explotación de la Unidad 1 de la central nuclear de Barakah. En el IVST se sigue un enfoque sistemático y se contemplan 22 temas principales (como la gobernanza corporativa, las características del emplazamiento, el reactor, la instrumentación y el control, la energía eléctrica, la gestión de los desechos radiactivos, la protección radiológica, el análisis de accidentes, el programa de garantía de calidad, la protección física, las salvaguardias o la clausura). Ese documento se complementa, por un lado, con el informe de Construcción Conforme a los Requisitos, en el que se proporciona información y pruebas acreditativas de que la Unidad 1 de la central nuclear de Barakah se ha construido de conformidad con los requisitos reglamentarios, y, por otro lado, con el informe de Aptitud para Operar, en el que se resume el proceso y las pruebas acreditativas empleadas para demostrar al organismo regulador que el solicitante de la licencia de explotación se encuentra, desde el punto de vista organizativo, listo para operar.

La licencia para la explotación de la Unidad 2 de la central nuclear de Barakah se le otorgó a Nawah el 8 de marzo de 2021, junto con una modificación de la licencia de explotación de la unidad 1 de la central nuclear de Barakah. En las licencias se le autoriza a Nawah a explotar la unidad correspondiente de la central nuclear de Barakah durante un período de 60 años y llevar a cabo actividades reguladas conexas directamente relacionadas con la explotación de la unidad en cuestión.¹⁸ La construcción de las Unidades 3 y 4 de la central nuclear de Barakah se encuentra cerca de su finalización y la FANR está revisando la

¹⁸ <https://www.fanr.gov.ac/en/rules-regulations/licenses-regulatory-approval>. Acceso el 15 de octubre de 2021.

solicitud de licencia relativa a la solicitud de la Unidad 3 de la central nuclear de Barakah. Además de las licencias relacionadas con el programa nucleoelectrico, la FANR está evaluando, revisando y otorgando un gran número de licencias para todas las demás actividades y prácticas relacionadas con fuentes de radiación, así como para la importación y exportación de material nuclear y elementos de doble uso. Por ejemplo, en 2020, la FANR otorgó 1097 licencias para el desempeño de actividades relacionadas con fuentes de radiación, entre las que figuran 301 licencias nuevas, 304 renovaciones y 469 modificaciones de licencias existentes. Para ayudar en las tareas de tramitación y evaluación de solicitudes de la FANR y en el intercambio de documentación e información entre el solicitante de una licencia y la autoridad reguladora, y en consonancia con la iniciativa nacional para lograr un gobierno inteligente, la FANR ha instaurado una “plataforma electrónica para la concesión de licencias” en la que los solicitantes de licencias otorgadas por la FANR pueden presentar toda la documentación pertinente que precise esta entidad, así como la documentación complementaria. Se trata de un sistema integrado en el que se reflejan todos los requisitos reglamentarios relacionados con la concesión de licencias de actividades y en él se reúnen, en un único portal, la seguridad tecnológica, la seguridad física y la no proliferación. Este sistema electrónico de concesión de licencias se actualiza constantemente para reflejar los últimos requisitos dispuestos por la FANR; además, en ese sistema, la FANR puede estudiar las solicitudes y los informes de los titulares de licencias con mayor rapidez y exactitud.

14.3.5. La mejora del marco jurídico de los EAU

Si se miran los últimos diez años en retrospectiva, son muchos los logros alcanzados. En los EAU se ha establecido, casi desde la nada, un marco jurídico integral en materia nuclear en el que la Ley Nuclear abarca la seguridad tecnológica, la seguridad física nuclear y las salvaguardias; este marco jurídico se complementa con una legislación de responsabilidad por daños nucleares. La FANR se ha constituido como organismo regulador independiente y firme en materia nuclear. Además, se ha elaborado un conjunto de reglamentos por los que se respalda el desarrollo del programa nucleoelectrico, así como de todas las demás actividades relacionadas con la radiación ionizante del país; estos reglamentos, a su vez, se han visto complementados por varias guías reguladoras. Se han evaluado cientos de licencias, se han otorgado licencias, incluso licencias que han constituido un enorme hito, como las licencias para la construcción de cuatro unidades y las licencias de explotación para las dos unidades de la central nuclear de Barakah. Por último, pero no por ello menos importante, los EAU han cumplido de forma diligente con sus compromisos internacionales y han establecido una red sólida en el plano internacional. Ello no se podría haber

logrado si el país no hubiese contado con un marco jurídico consolidado, un regulador nuclear fuerte y conocimientos expertos sólidos.

Sin embargo, estos logros no significan que el trabajo haya terminado. La complacencia no es un término aceptable en el ámbito nuclear y se deben extraer lecciones de la experiencia adquirida a lo largo de estos años durante la elaboración de este ambicioso programa nucleoelectrico y en la puesta en marcha del marco jurídico nuclear. Además, se observan nuevas mejores prácticas constantemente, los enfoques reguladores están evolucionando y se están desarrollando nuevas tecnologías. Teniendo esto en mente y en consonancia con las recomendaciones del OIEA, el marco jurídico nuclear de los EAU debe someterse a un sistema de revisión continua.

En este contexto, se deben contemplar dos conjuntos distintos de documentos. Por un lado, el marco regulador nuclear debe actualizarse incesantemente. Es más, se trata de una tarea fundamental para contar con unos reglamentos y guías actualizados y acordes con las normas internacionales más recientes, a fin de extraer lecciones de las experiencias adquiridas en su aplicación. Como se ha señalado con anterioridad, la FANR ha puesto en marcha un mecanismo sistemático para revisar, a intervalos periódicos, la idoneidad de los reglamentos; ahora bien, también es fundamental fiscalizar y vigilar los avances, los progresos de otros países y las medidas adoptadas en el seno de las organizaciones internacionales que obliguen a revisar dichos reglamentos antes de los períodos previstos.

Ello también implica reforzar los procesos y procedimientos internos para la elaboración y creación de ese marco regulador. La FANR trabaja constantemente para mejorar el proceso de elaboración y revisión de los reglamentos, a fin de garantizar la máxima calidad en su redacción; además, el contenido se refuerza según las necesidades y circunstancias nacionales, para que todas las actividades se lleven a cabo de manera que se ofrezca la mejor protección a los trabajadores, a la población y al medio ambiente de los EAU. En este contexto, el proceso de elaboración y revisión de reglamentos se ha reforzado recientemente con miras a mejorar la implicación y cooperación tempranas entre los departamentos operativos de la FANR con una aportación sistemática del departamento de asuntos jurídicos. Los EAU, a través de su regulador, se están esforzando por establecer un marco jurídico ágil a la par que sólido.

Por otro lado, otro importantísimo ejercicio consiste en revisar de forma periódica la legislación nuclear. El diseño y establecimiento de un programa nucleoelectrico no puede llevarse a cabo sin un marco jurídico sólido y sostenible, como se ha resaltado anteriormente. Se precisa de cierta estabilidad para que el lanzamiento y el desarrollo del programa nucleoelectrico se puedan llevar a cabo sin inconvenientes ni contratiempos. Ahora bien, también es esencial fiscalizar la legislación nuclear fundacional, detectar sus lagunas, extraer lecciones de la

aplicación de las disposiciones legales, señalar posibles problemas y, por último, establecer algunos planes de actuación para enfrentar dichos problemas.

La Ley Nuclear se aprobó en 2009, hace más de 12 años. En los planos internacional y nacional se han producido diversos avances. Los EAU se han unido a nuevos instrumentos jurídicos nucleares internacionales, el marco jurídico nuclear de los EAU ha madurado, las misiones de examen por parte de homólogos han señalado lecciones aprendidas y recomendaciones y también se produjo el accidente de Fukushima. Además, durante los dos últimos años, el mundo ha tenido que enfrentarse a una pandemia que obligó al mundo nuclear, a su industria y a sus reguladores a llevar a cabo su labor de una forma distinta. Surgieron retos y se idearon soluciones. Esas crisis mundiales demostraron la necesidad de contar con marcos jurídicos que permitan dar una respuesta flexible, innovadora e inmediata a situaciones y circunstancias imprevistas y que, al mismo tiempo, preserven el objetivo fundamental de la seguridad, que consiste en garantizar la mejor protección de la población y el medio ambiente contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes. Todos estos factores deben tenerse en cuenta y los EAU están trabajando para revisar su legislación nuclear fundacional para que siga estando al servicio de los objetivos del país durante los próximos 50 años.

Para reforzar el marco jurídico nuclear es necesario contar con personas experimentadas y una combinación de aportaciones técnicas respaldadas por expertos en derecho. Para este fin, los EAU tuvieron que desarrollar y mantener la pericia jurídica nuclear oportuna con juristas con capacitación y experiencia en la formulación, revisión y aplicación de leyes y reglamentos en materia nuclear. Los EAU se han beneficiado del amplio apoyo del OIEA y de otras organizaciones internacionales —como la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE— que ofrecen capacitación intensiva de gran reconocimiento a juristas dedicados al derecho nuclear. Además, la FANR también ha desempeñado un papel proactivo en la elaboración de un programa formativo a medida sobre derecho nuclear; este programa, en el que se combinan sesiones teóricas con capacitación práctica, se ha creado en alianza con un reconocido despacho de abogados con el fin de capacitar a jóvenes egresados emiratíes en cuestiones sobre derecho nuclear.

REFERENCIAS

Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2007) *Hitos en el desarrollo de la infraestructura nacional de energía nucleoelectrónica*, Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NG-G-3.1, OIEA, Viena.

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2014), *Pleno, Acta de la Cuarta Sesión*, GC(57)/OR.4. http://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc57or-4_en.pdf. Consultado el 15 de octubre de 2021
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2015) *Hitos en el desarrollo de la infraestructura nacional de energía nucleoelectrónica, Colección de Energía Nuclear* N° NG-G-3.1 (Rev. 1), OIEA, Viena.
- Policy of the United Arab Emirates on the Evaluation and Potential Development of Peaceful Nuclear Energy (2008). https://www.fanr.gov.ae/en/Lists/LawOfNuclear/Attachments/2/20100523_nuclear-policy-eng.pdf

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

15. LA CREACIÓN DE LA AUTORIDAD DE SEGURIDAD TECNOLÓGICA Y FÍSICA NUCLEAR Y RADIOLÓGICA EN EL REINO DE MARRUECOS: UNA PUESTA EN COMÚN DE LA EXPERIENCIA Y LAS ENSEÑANZAS EXTRAÍDAS

Khammar Mrabit

Resumen Siguiendo el ejemplo de varios países, el Reino de Marruecos adoptó, a mediados del siglo XX, técnicas nucleares en los ámbitos médico e industrial, que han experimentado un crecimiento mayor y sostenido a raíz de su incorporación al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en 1957. En este capítulo se expone la evolución de la infraestructura nuclear y radiológica de Marruecos durante los últimos 60 años y sus previsiones de desarrollo en el futuro. Asimismo, se exponen a grandes rasgos los esfuerzos constantes de las autoridades públicas por mejorar el marco jurídico nuclear y radiológico nacional de conformidad con las obligaciones internacionales relativas a la seguridad tecnológica, la seguridad física y las salvaguardias. En este sentido, desde sus inicios, la Agencia Marroquí para la Seguridad Tecnológica y Física Nuclear y Radiológica (en adelante, la AMSSNuR) ha estado impulsada por la voluntad y la ambición de llegar a ser en el ámbito nacional un organismo regulador independiente, eficaz, creíble y transparente, líder en el ámbito africano y un destacado contribuyente en la esfera internacional. Se resalta la experiencia marroquí en materia de gobernanza y gestión de la seguridad tecnológica y la seguridad física y se comparten la experiencia y las enseñanzas que en este terreno ha extraído la AMSSNuR.

Palabras clave Agencia Marroquí para la Seguridad Tecnológica y Física Nuclear y Radiológica (AMSSNuR) • Enseñanzas extraídas • Gobernanza y gestión de la seguridad tecnológica y la seguridad física • Infraestructura nuclear y radiológica • Marco regulador nacional nuclear y radiológico • Plan estratégico de la AMSSNuR • Técnicas nucleares en los ámbitos médico e industrial

15.1. INTRODUCCIÓN

En un informe publicado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en septiembre de 2020 al término de su 64ª Conferencia General¹

¹ OIEA 2020a.

se señalaba que la tecnología nuclear está experimentando un avance considerable en el plano internacional, fundamentalmente en las esferas de las aplicaciones eléctricas, las aplicaciones de aceleradores y reactores de investigación, los radioisótopos y las tecnologías de la radiación, la salud humana y las técnicas nucleares en la alimentación y la agricultura. En su Examen de la Seguridad Nuclear de 2020,² el OIEA describe las tendencias y actividades mundiales relacionadas con sus distintos programas y, al mismo tiempo, destaca los avances y las prioridades del fortalecimiento de la seguridad nuclear y la seguridad radiológica, así como de la seguridad del transporte y la seguridad de los desechos en el plano internacional.

Estas exposiciones de la situación están directamente relacionadas, entre otras cuestiones, con lo siguiente:

- la revisión de las normas de seguridad y las orientaciones sobre seguridad física del OIEA, su aplicación a través de la enseñanza y la capacitación, los exámenes por homólogos y los servicios de asesoramiento que presta el OIEA a petición de sus Estados Miembros, así como las enseñanzas extraídas de los accidentes acaecidos en Goiânia, en las centrales nucleares de Fukushima Daiichi y Chernóbil y de otros accidentes e incidentes, y
- la eficacia de los reglamentos sobre seguridad nuclear, seguridad radiológica, seguridad del transporte, seguridad de los desechos y preparación y respuesta para casos de emergencia y su aplicación.

Estos avances también atañen a la adopción por los Estados Miembros de convenciones internacionalmente vinculantes y de instrumentos no vinculantes, como códigos de conducta sobre la seguridad tecnológica y la seguridad física de fuentes radiactivas, la seguridad nuclear y la seguridad de la gestión del combustible gastado, así como sobre la seguridad de la gestión de desechos radiactivos.

En cuanto a la esfera de la seguridad física nuclear, en un informe³ de la 64ª Conferencia General se describen las actividades llevadas a cabo al respecto, los usuarios externos de la Base de Datos sobre Incidentes y Tráfico Ilícito (ITDB) y las actividades realizadas y planificadas de las redes de enseñanza y capacitación y las redes de colaboración.

Para seguir progresando, los Estados deben comprometerse a reforzar constantemente la seguridad tecnológica, la seguridad física y las salvaguardias y a establecer una estructura de gobernanza nuclear que tenga en cuenta sus interrelaciones y sus especificidades. Además, el OIEA debe seguir prestando

² IAEA 2020b.

³ IAEA 2020c.

apoyo, a petición de los Estados Miembros, a los esfuerzos nacionales de establecimiento y mantenimiento de regímenes eficaces y sostenibles de seguridad física nuclear.

Dentro de este marco, en este capítulo se presenta la evolución que ha experimentado la infraestructura nuclear y radiológica de Marruecos durante los últimos 60 años y sus previsiones de desarrollo, así como los continuos esfuerzos de las autoridades públicas para mejorar el marco jurídico nuclear y radiológico nacional de conformidad con las obligaciones internacionales relacionadas con la seguridad tecnológica, la seguridad física y las salvaguardias. Se destaca además la experiencia marroquí en materia de gobernanza y gestión de la seguridad tecnológica y la seguridad física y se comparten las enseñanzas extraídas en este terreno por de la Agencia Marroquí para la Seguridad Tecnológica y Seguridad Física Nuclear y Radiológica (AMSSNuR).

15.2. LA EVOLUCIÓN DE LAS APLICACIONES NUCLEARES EN MARRUECOS

Siguiendo el ejemplo de varios países, el Reino de Marruecos adoptó, a mediados del siglo XX, técnicas nucleares en los ámbitos médico e industrial, que han experimentado un crecimiento mayor y sostenido a raíz de su incorporación al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en 1957. En este marco, Marruecos ha introducido progresivamente nuevos programas en varios sectores socioeconómicos, concretamente en los de la salud, la industria, la minería, la agricultura, la enseñanza superior y la investigación. La situación actual de estos sectores es la siguiente:

- La medicina (radiología, medicina nuclear, radioterapia, etc.) representa más del 80 % de las instalaciones y actividades en las que se emplean fuentes de radiación ionizante. Así pues, el campo de la salud cuenta con más de 7000 unidades de equipos de radiología, más de 300 escáneres, 40 aceleradores de electrones empleados para tratamientos y 24 centros de medicina nuclear. Se prevé que estas cifras aumenten en el futuro tras la construcción de nuevos centros regionales y la expansión del seguro obligatorio de salud.
- La producción de radiofármacos se lleva a cabo en dos ciclotrones ubicados en Bouznika y Bosker. Estas instalaciones las gestionan empresas privadas que suministran productos radiactivos para radiodiagnóstico, concretamente flúor 18, a los centros de medicina nuclear. El Centro Nacional de Energía, Ciencias y Tecnologías Nucleares (CNESTEN) produce otros radioelementos, como el yodo 131, mediante el reactor de investigación TRIGA Mark II. El

CNESTEN también gestiona la importación y distribución regulares de varios radioelementos que se emplean en los centros de medicina nuclear; este centro, además, genera una importante actividad de transporte de materiales radiactivos en el plano nacional.

- En el sector industrial existen varias instalaciones y actividades en las que se emplean fuentes de radiación ionizante, concretamente en procesos como el control de la producción de azúcar, cemento y papel, la refinación de petróleo, la minería y la metalurgia. Más de diez empresas prestan servicios técnicos en radiografía industrial con fuentes de radiación ionizante, la más importante de las cuales es el Laboratorio Público de Estudios y Ensayos (LPEE), que presta servicios a obras de ingeniería civil como la construcción de edificios y de carreteras e instalaciones industriales.
- En el sector de la agricultura, los estudios de investigación agronómica los llevan a cabo el Instituto Nacional de Investigación Agronómica (INRA), el Instituto Agronómico y Veterinario Hassan II (IAV) y las Oficinas Regionales para el Desarrollo Agrícola (ORMVA). En su centro regional de Tánger, el INRA opera un irradiador semiindustrial que emplea una fuente de cobalto 60 de muy alta actividad y cuenta con laboratorios dedicados a investigación agronómica y dosimetría. En el ámbito de la veterinaria, además del IAV Hassan II, que ofrece actividades de docencia, capacitación e investigación, una docena de centros regionales públicos y privados emplean equipamiento radiológico para medicina veterinaria. La Oficina Nacional de Seguridad Alimentaria (ONSSA) prevé instalar en Agadir un centro de irradiación con fuentes de cobalto 60 para la esterilización de plagas.
- En materia de transporte y control de fronteras, unas diez empresas se dedican al transporte de materiales radiactivos, para lo que cuentan con vehículos y autorizaciones especiales. En las fronteras, los puertos y los aeropuertos están equipados con escáneres para el control de mercancías y la seguridad. Con respecto al tráfico portuario y aeroportuario, varios organismos de seguridad y control, entre ellos la Gendarmería Real marroquí, la policía y las autoridades aduaneras, se ocupan de los aspectos de seguridad tecnológica y seguridad física.
- De la investigación y la capacitación se encarga fundamentalmente el CNESTEN, que desde 2009 dispone de dos reactores de investigación nuclear de 2 MW en el Centro de Estudios Nucleares de Maâmora (CENM). El CENM está integrado por otras instalaciones y actividades en las que se emplean fuentes de radiación ionizante para la producción de radiofármacos, la gestión de desechos radiactivos generados en el ámbito nacional, aplicaciones industriales y ambientales, la investigación, la calibración de equipos de protección radiológica, el transporte y la capacitación. Las

universidades también poseen laboratorios de investigación en los que se emplean fuentes de radiación ionizante para la investigación, la calibración de equipos de medición, la capacitación y la docencia en las disciplinas de la física, la metrología, la medicina, la geología, etc.

- En lo relativo a la gestión de desechos radiactivos, la ley fundacional designó al CNESTEN la organización nacional encargada de la gestión centralizada de los desechos radiactivos generados por todos los usuarios de los sectores médico e industrial y de otras esferas. Este centro tiene a su disposición las instalaciones y el equipo necesarios para el tratamiento de desechos radiactivos, así como para su acondicionamiento y almacenamiento. En cooperación con el CNESTEN, la AMSSNuR ha elaborado una política y una estrategia nacionales para la seguridad de la gestión de los desechos radiactivos y redacta periódicamente el informe nacional que se establece en la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado.
- En la esfera de la energía nucleoelectrónica, en 2009, el Ministerio de Energía, Minas y Medio Ambiente (MEME) constituyó un Comité de Reflexión sobre Energía Nucleoelectrónica y Desalación de Agua de Mar (CRED) y le encargó que estudiara las condiciones para la introducción de la energía nucleoelectrónica en Marruecos de conformidad con las directrices y recomendaciones del OIEA. En este contexto, en 2015, Marruecos acogió a la misión del Examen Integrado de la Infraestructura Nuclear (INIR), que dio lugar a unas 15 recomendaciones y observaciones, muchas de las cuales se refieren al marco legislativo y regulador, la seguridad nuclear y la protección radiológica.
- La preparación para la gestión de emergencias nucleares o radiológicas y su puesta en práctica conforme a las normas de seguridad del OIEA han llevado a la implantación de reglamentos específicos y de una organización integrada por todas las partes interesadas, como los Ministerios del Interior y de Defensa, la Dirección General de Protección Civil (DGPC), la Gendarmería Real (GR) y la Dirección General de Seguridad Nacional (DGSN).

15.3. LA EVOLUCIÓN DEL MARCO REGULADOR NACIONAL DE LA SEGURIDAD TECNOLÓGICA Y FÍSICA NUCLEAR Y RADIOLÓGICA

Desde su incorporación como miembro del OIEA en 1957, el Reino de Marruecos se ha comprometido a aplicar las normas de seguridad del OIEA y, posteriormente, las orientaciones sobre seguridad física. Por lo tanto, la

promoción de técnicas nucleares y radiológicas se ha llevado a cabo conforme a principios de seguridad tecnológica, seguridad física y fines pacíficos.

En consonancia con lo anterior, en 1971 Marruecos aprobó la Ley N° 005-71,⁴ relativa a la protección frente a la radiación ionizante, así como sus decretos de aplicación, a fin de sentar los principios generales de protección frente al riesgo de las fuentes de radiación ionizante en todas las instalaciones y actividades, desde el diseño hasta la construcción, la puesta en servicio, el uso o la explotación y la clausura, incluido el único reactor de investigación existente en el país, que fue autorizado en virtud de decretos conjuntos de los Ministerios de Energía y Sanidad, encargados de la seguridad nuclear y la protección radiológica hasta octubre de 2016.

Mediante la aprobación de una nueva ley en 2014, la N° 142-12⁵ sobre seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica y sobre la creación de la AMSSNuR, Marruecos dio un importante paso adelante en el fortalecimiento de su marco regulador conforme a las normas de seguridad del OIEA y las orientaciones sobre seguridad física. Esta ley se basa en la legislación modelo del OIEA que integra la seguridad tecnológica, la seguridad física y las salvaguardias (el concepto “3S”).

Con la constitución de la AMSSNuR como único organismo regulador se pretendía regular la seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica y las salvaguardias nucleares, y separar las actividades dedicadas a la promoción de las destinadas exclusivamente al control reglamentario. En el ámbito internacional, el Reino de Marruecos ha firmado y ratificado todos los tratados y convenciones internacionales sobre seguridad nuclear y seguridad física. El más reciente de los cuales ha sido la Convención sobre Seguridad Nuclear en mayo de 2019.

15.4. FUNCIÓN Y LOGROS DE LA AMSSNUR

La AMSSNuR es una institución pública de carácter estratégico que tiene por misión garantizar que la seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica, así como las actividades e instalaciones en las que intervienen fuentes de radiación ionizantes, cumplan con las disposiciones de la Ley N° 142-12 y con los reglamentos conexos, que a su vez son compatibles con los instrumentos, las normas de seguridad y las orientaciones sobre seguridad física nuclear internacionales pertinentes. Sus principales funciones son regular, revisar y evaluar, autorizar e inspeccionar los aspectos de seguridad tecnológica y seguridad física e informar al público sobre ellos; al mismo tiempo, esta entidad

⁴ Boletín Oficial 1971, pág. 1204.

⁵ Boletín Oficial 2014, págs. 4090 a 4113.

también tiene la responsabilidad de proteger información sensible y confidencial, prestar apoyo al Estado en cuestiones pertinentes y promover la cooperación regional e internacional.

Tras la creación de la AMSSNuR por la Ley N° 142-12, Su Majestad el Rey Mohammed VI me nombró en 2016 primer Director General para que estableciera esta institución estratégica y la constituyera como un organismo independiente, eficaz, creíble y transparente en los planos nacional, regional e internacional.

15.4.1. El modelo de gobernanza y de gestión de la AMSSNuR

A partir de la sólida experiencia profesional en seguridad tecnológica y seguridad física adquirida en el OIEA durante más de tres décadas, presenté la visión, el plan estratégico 2017-2021 y la hoja de ruta asociada, así como los mecanismos de gobernanza y de gestión que se aprobaron en la primera junta del Comité Directivo, celebrada en octubre de 2016 bajo la presidencia del Jefe del Gobierno marroquí.

15.4.2. Visión a largo plazo

Desde su concepción, la AMSSNuR ha estado impulsada por la voluntad y la ambición de lograr su objetivo de llegar a ser en el ámbito nacional un organismo regulador independiente, eficaz, creíble y transparente, líder en el plano africano y un destacado contribuyente en la esfera internacional.

15.4.3. Objetivos estratégicos 2017-2021

Teniendo en cuenta el entorno nacional e internacional predominante en el momento de su creación, la AMSSNuR ha establecido las estrategias y los objetivos siguientes para el período 2017-2021:

- a) mejorar el marco regulador nacional en materia de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica;
- b) fortalecer el nivel de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica en todas las instalaciones y actividades en las que intervienen fuentes de radiación ionizante;
- c) establecer y poner en marcha el sistema nacional de seguridad física nuclear y el plan nacional de emergencias nucleares o radiológicas;
- d) establecer una política de comunicación transparente y fiable sobre cuestiones de seguridad tecnológica y seguridad física;
- e) desarrollar y mantener capacidades humanas y organizativas;
- f) contribuir a la cooperación regional e internacional y fortalecerla, y

- g) dar seguimiento a la experiencia en los ámbitos de la seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica.

En su hoja de ruta, de conformidad con la Ley N° 142-12 y las mejores prácticas nacionales e internacionales, durante los últimos cinco años, la AMSSNuR ha presentado informes periódicos anuales al Comité Directivo, presidido por el Jefe del Gobierno marroquí, y ha llevado a cabo autoevaluaciones gracias a las cuales se ha podido mejorar constantemente la seguridad tecnológica y la seguridad física nacionales y se ha contribuido a su fortalecimiento en el ámbito regional e internacional. La AMSSNuR también ha programado exámenes por homólogos a partir de 2021; entre ellos cabe mencionar las misiones del Servicio Integrado de Examen de la Situación Reglamentaria (IRRS) y del Examen de Medidas de Preparación para Emergencias del OIEA, que se han pospuesto hasta 2022, así como otros exámenes por homólogos del OIEA como el Servicio Internacional de Asesoramiento sobre Protección Física (IPPAS) y el Servicio de Asesoramiento sobre SNCC (ISSAS).

15.4.4. Adopción de los principios de las Prácticas de Buena Gobernanza

Para lograr sus objetivos y ambiciones estratégicos, la AMSSNuR ha adoptado los principios del Código Marroquí de Prácticas de Buena Gobernanza para Empresas e Instituciones Públicas, gracias al cual se pudieron constituir en 2018 tanto el Comité Auditor como el Comité Científico. También ha puesto en marcha las decisiones adoptadas por su Comité Directivo en sus juntas anuales y las de su autoridad supervisora y del Ministerio de Economía y Finanzas, relativas a la rendición de cuentas, el rendimiento y la transparencia.

15.4.5. Creación y establecimiento del Sistema de Gestión Integrada

A partir de las recomendaciones del OIEA, la AMSSNuR, en 2018, empezó a diseñar e implantar su Sistema de Gestión Integrada (SGI), que abarca sus funciones reguladoras, así como los componentes que se ocupan del desarrollo de sus recursos humanos, económicos y de calidad y de los aspectos organizativos. El SGI se ha diseñado e implantado como parte de la cooperación de la AMSSNuR con la Unión Europea; además, se ha beneficiado de las aportaciones de varias autoridades reguladoras europeas. Por lo tanto, se puede considerar que el SGI de la AMSSNuR cumple con los requisitos reguladores nacionales vigentes en lo relativo a la seguridad tecnológica, la seguridad física, las salvaguardias y la gobernanza, así como con las normas internacionales sobre calidad, protección medioambiental, protección sanitaria y sistemas de información y seguridad. Los objetivos del SGI contribuyen a consolidar la cultura y el liderazgo de la seguridad

tecnológica y la seguridad física en la AMSSNuR y, en consecuencia, a mantener un alto nivel de seguridad tecnológica y seguridad física en las instalaciones y actividades en las que intervienen las fuentes de radiación ionizantes en Marruecos.

15.5. PRINCIPALES LOGROS POR ÁREA ESTRATÉGICA

En este apartado se destacan, por cada eje estratégico, los principales logros alcanzados a la conclusión del plan estratégico 2017-2021. También se presentan las enseñanzas extraídas, así como la experiencia adquirida y la repercusión de sus actividades en la mejora de la seguridad tecnológica y la seguridad física, con miras a compartirlas con todas las autoridades homólogas.

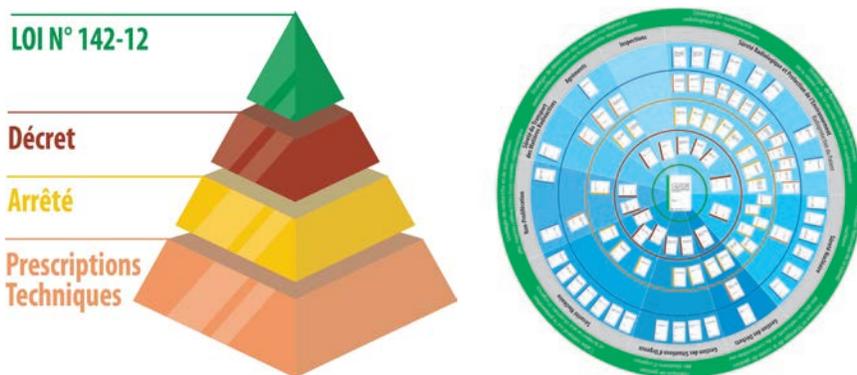
15.5.1. La mejora del marco regulador nacional de la seguridad tecnológica y física nuclear y las salvaguardias

Conforme a sus principales funciones con respecto a la elaboración de reglamentos nacionales, desde 2017, la AMSSNuR ha puesto en práctica una estrategia para mejorar el marco regulador en materia de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica y de salvaguardias, una labor que figura entre sus obligaciones prioritarias promulgadas en la Ley N° 142-12, así como en las instrucciones estratégicas aprobadas por su Comité Directivo.

Al término del plan quinquenal para el período 2017-2021, la AMSSNuR pudo elaborar y presentar al Jefe de Gobierno 56 borradores de textos reglamentarios necesarios para la aplicación de la Ley N° 142-12, en los cuales se abarcan todos los aspectos de la seguridad tecnológica, la seguridad física y las salvaguardias (véase la figura 15.1). Estos documentos son fruto de la labor consultiva con todas las partes interesadas nacionales en el seno del comité nacional, conformado por más de 30 miembros, constituido para mejorar el marco regulador sobre seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica que se estableció en 2017 con una política y una estrategia claras aprobadas y aplicadas por todos los miembros del comité.

15.5.2. El fortalecimiento de la seguridad tecnológica y la seguridad física en el plano nacional

En el desempeño de sus funciones reguladoras relacionadas con la revisión y la evaluación de la seguridad tecnológica y la seguridad física y con la supervisión reglamentaria, la AMSSNuR ha implementado un plan para fortalecer la seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica en todas las



PIRÁMIDE de textos reglamentarios nacionales por los que se aplica la Ley N° 142-12 *RAMIFICACIÓN de textos por los que se aplica la Ley N° 142-12*

Fig. 15.1 Jerarquía de textos reglamentarios. Fuente: Boletín Oficial de 2014

instalaciones y actividades en las que intervienen fuentes de radiación ionizante, que ha dado los resultados siguientes en el período 2017-2021:

- el otorgamiento de más de 4650 autorizaciones;
- la inspección de más de 2540 actividades e instalaciones;
- la organización de seis inspecciones reglamentarias del reactor de investigación del CNESTEN, y
- el establecimiento del registro nacional de fuentes de radiación ionizante.

Estos resultados se obtuvieron dentro del marco de un enfoque participativo y graduado que la AMSSNuR adoptó con todas las partes interesadas y contribuyeron destacadamente, entre otras cuestiones, a mejorar la cultura de la seguridad tecnológica y la seguridad física.

15.5.3. Respaldo a autoridades gubernamentales

Con respecto al apoyo a las autoridades gubernamentales, en concreto a la ayuda al Estado para el desarrollo del sistema nacional de seguridad física nuclear y del plan nacional de emergencia y respuesta en caso de emergencia radiológica, la AMSSNuR ha conseguido aplicar plenamente su plan estratégico para el período 2017-2021. En particular, al término de la implantación de

este plan, la AMSSNuR, en estrecha cooperación con los departamentos y las autoridades pertinentes, pudo desarrollar los siguientes aspectos:

- el sistema nacional de seguridad física nuclear;
- el Plan Integrado de Apoyo a la Seguridad Física Nuclear;
- la estrategia nacional de detección nuclear;
- el plan para la obtención de fuentes radiactivas;
- una aportación eficaz a la implantación de la Iniciativa Mundial de Lucha contra el Terrorismo Nuclear;
- la aplicación de las disposiciones del Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares, y
- el Plan Nacional de Respuesta a Emergencias Radiológicas.

Además, la AMSSNuR ayuda y asesora al Estado en la aplicación de los compromisos contraídos en virtud de las convenciones y los tratados ratificados por Marruecos (designación de puntos de contacto, redacción y presentación de informes nacionales ante el OIEA, participación en conferencias de examen y examen de convenciones).

15.5.4. La información pública y la comunicación

Dada la obligación de informar a la población sobre la situación de la seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica en el plano nacional y de comunicarse con todas las partes interesadas, la AMSSNuR ha establecido una política y una estrategia basadas en la elaboración de inventarios de partes interesadas; además, ha articulado canales de comunicación interna e institucional, así como canales de comunicación con los medios, con actores no pertenecientes a los medios y con las redes sociales. Esta estrategia de comunicación también abarca el aspecto internacional y la supervisión de las emergencias nucleares o radiológicas.

En lo que a logros se refiere, la AMSSNuR actualmente cuenta con un directorio, con herramientas y con experiencias que se basan en los siguientes elementos:

- el sitio web institucional y cuentas en redes sociales;
- informes anuales de actividad, folletos y panfletos;
- reuniones regionales con profesionales y otras conferencias y seminarios, y
- cobertura en la prensa (más de 1000 apariciones en medios de comunicación), kits de prensa y ruedas de prensa.

A través de la política de información y comunicación, se busca fortalecer la transparencia y la fiabilidad de la información.

15.5.5. Desarrollo y mantenimiento de capacidades humanas y organizativas

La AMSSNuR es consciente de la importancia de desarrollar y mantener capacidades en materia de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica en los planos internacional y nacional, según las recomendaciones del OIEA y de la Red Mundial de Seguridad Nuclear Tecnológica y Física (GNSSN); en particular, los cuatro pilares dedicados respectivamente a: los recursos humanos, la enseñanza y la capacitación en seguridad tecnológica y seguridad física, la gestión de conocimiento y el fomento de alianzas, para cada uno de los cuales la AMSSNuR ha adoptado planes específicos.

Con respecto al desarrollo de recursos humanos, ha incrementado su personal, que ha pasado de una persona en 2016 a 84 empleados en 2021; ha prestado especial importancia a la igualdad de género, gracias a lo cual el 48 % del personal son mujeres y estas ocupan el 43% de los cargos directivos. También se da prioridad al desarrollo de destrezas y la capacitación continua; en este sentido, la AMSSNuR ha completado, durante el período al que se refiere este documento, unos 2300 días de capacitación, con un promedio de siete semanas por persona.

En el ámbito nacional, la AMSSNuR ha puesto en marcha una estrategia de capacitación teórica y práctica en materia de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica, a través de la cual se ha seleccionado a más de 13 000 personas para su capacitación o habilitación en el plano nacional y a más de 300 personas para su capacitación o habilitación en el resto del continente africano.

En el nivel directivo, la AMSSNuR ha establecido una estrategia para el diseño y la implantación de su SGI a través de la elaboración de un manual, un mapa de procesos y fichas de procesos y procedimientos que abarcan los macroprocesos dedicados a la empresa, la gobernanza y la prestación de apoyo (se han creado 22 fichas de procesos, 36 procedimientos y 19 subprocedimientos) (véase la figura 15.2).

Como parte de su enfoque graduado, la AMSSNuR inició tres procesos pilotos empresariales en 2020 (autorización, reglamentos y salvaguardias nucleares) y pretende completar los ensayos, la implantación y la investigación sobre mejoras para finales de 2022, antes de actualizar su documentación.

Además de los procesos y procedimientos, con el SGI de la AMSSNuR se pretende promover y establecer una cultura y un liderazgo en materia de seguridad tecnológica y seguridad física a escala interna, así como entre los

operadores del sector. Para alcanzar este objetivo, la AMSSNuR ha elaborado varias políticas y estrategias de dirección y nacionales relativas a:

- la vigilancia radiológica del medio ambiente;
- la seguridad de la gestión de los desechos radiactivos y las fuentes en desuso;
- la seguridad nuclear;
- la detección de materiales nucleares y otras fuentes radiactivas fuera del control reglamentario;
- la Preparación y Respuesta para Casos de Emergencia Nuclear y Radiológica (PCISUNR), y
- la capacitación en seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica.

También debe observarse que el considerable reto que supone integrar esas distintas políticas y estrategias en un único sistema de gestión garantizará un nivel de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica aún mayor.

En paralelo con la implantación de su SGI, la AMSSNuR ha puesto en marcha un conjunto de sistemas de información dedicados a las siguientes cuestiones:

- la digitalización de las actividades empresariales relacionadas con la concesión de licencias, la reglamentación, las inspecciones, las salvaguardias, las sanciones y las emergencias nucleares y radiológicas;
- la gestión de los recursos humanos (HRIS), y
- la gestión presupuestaria y económica.

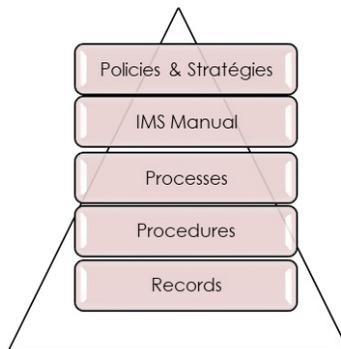


Fig. 15.2 Jerarquía de los documentos del SGI. Fuente: AMSSNuR

15.5.6. Fomento y fortalecimiento de la cooperación regional e internacional

Al término de su plan estratégico para el período 2017-2021, la AMSSNuR pudo promover y fortalecer su red de alianzas nacionales e internacionales mediante la firma de:

- diez acuerdos de cooperación con departamentos y autoridades públicas pertinentes implicados directa o indirectamente en la seguridad tecnológica y física nuclear o radiológica;
- ocho acuerdos de cooperación con autoridades homólogas de Alemania, el Canadá, China, España, los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, Francia y Hungría;
- cuatro acuerdos de cooperación con autoridades homólogas de Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mauritania y Rwanda;
- un proyecto quinquenal de cooperación con la Unión Europea por valor de 2 millones de euros, y
- dos contratos de cooperación triangular entre el OIEA, el AFRA y países africanos con Côte d'Ivoire y Mauritania, respectivamente.

La AMSSNuR también inició, en el marco de la aplicación de su estrategia de cooperación:

- la organización, durante el período 2017-2020, de más de 100 eventos de alcance nacional, regional o internacional;
- la contribución a la capacitación de más de 2000 personas, lo cual representa más de 10 000 días/persona;
- la movilización de más de cien semanas/experto en las que se trataron todas las actividades sobre seguridad tecnológica y seguridad física de la AMSSNuR;
- la acogida de más de 20 becarios africanos que contribuyeron al fortalecimiento de sus actividades de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica, y
- el fortalecimiento de la capacidad de la AMSSNuR en las operaciones de inspección y control de las instalaciones y actividades en las que intervienen fuentes de radiación ionizante a escala nacional.

Además, el programa de cooperación de la AMSSNuR se distingue por sus sólidas interacciones con el OIEA, que sigue siendo su principal socio internacional, fundamentalmente a través de:

- a) El reconocimiento de la AMSSNuR por parte del OIEA como:
 - Centro Regional para la Creación de Capacidad en la Preparación y Gestión de Emergencias Radiológicas, y
 - el primer Centro Colaborador del OIEA en África para la creación de capacidad en materia de seguridad física nuclear.
- b) La presidencia de redes de cooperación de:
 - el Foro de Órganos Reguladores Nucleares en África (FNRBA);
 - la Red Mundial de Seguridad Nuclear Tecnológica y Física (GNSSN), y
 - la Red Internacional de Enseñanza y Capacitación en Preparación y Respuesta para Casos de Emergencia (iNET-EPR).

15.5.7. Vigilancia internacional

Mediante la vigilancia de los avances internacionales y el intercambio de las experiencias de otros países en materia de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica, la AMSSNuR:

- contribuye a las reuniones de las partes contratantes de las convenciones y los instrumentos internacionales pertinentes, y
- elabora, en consulta con las partes interesadas nacionales, los informes nacionales necesarios en virtud de los instrumentos internacionales y los presenta a sus organismos coordinadores (Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos, Convención sobre Seguridad Nuclear, Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares y Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica, entre otros).

Esta vigilancia tiene por objetivo garantizar el cumplimiento del régimen internacional de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica y actuar dentro de los organismos directivos y de gobernanza de las convenciones internacionales y de sus comisiones.

15.6. CONCLUSIÓN

Gracias a la aplicación del plan estratégico 2017-2021 de la AMSSNuR y a su evaluación, la AMSSNuR ha conseguido:

- fortalecer el régimen de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica; reforzar los procesos de apertura, transparencia y mejora

continúa que Marruecos ha suscrito en este ámbito y, en consecuencia, reforzar su credibilidad en el plano internacional y su posicionamiento a escala regional;

- consolidar sus competencias y promover las capacidades nacionales de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica a través de, entre otras tareas, sus actividades de sensibilización de las partes interesadas nacionales y de comunicación y transparencia con respecto a la comunidad internacional;
- respaldar el fomento de la cultura de la seguridad tecnológica y la seguridad física y el liderazgo a escala nacional y regional y, al mismo tiempo, confirmar su dinamismo y liderazgo;
- garantizar la existencia de un organismo regulador dinámico que dé seguimiento a las actividades tecnológicas y científicas pertinentes;
- promover la cooperación y alianzas en el plano regional e internacional;
- iniciar operaciones de evaluación externa por parte del OIEA, en particular el Servicio Integrado de Examen de la Situación Reglamentaria (IRRS) y el Examen de Medidas de Preparación para Emergencias (EPREV), previstos para 2022, y
- contribuir a la promoción y la mejora continua de las actividades de seguridad tecnológica y seguridad física a través de redes de conocimiento, de enseñanza y capacitación y del intercambio de experiencias y enseñanzas extraídas.

Todos estos logros confirman el compromiso continuo de la AMSSNuR como regulador dinámico y contribuyente experto a las actividades reglamentarias de seguridad tecnológica y física nuclear y radiológica en el plano nacional, regional e internacional. La AMSSNuR está presta y dispuesta a compartir su experiencia y reforzar su alianza con organizaciones homólogas y sus asociados pertinentes. En el futuro, la AMSSNuR pretende fortalecer su cooperación con asociados regionales e internacionales a fin de mejorar constantemente la seguridad tecnológica y la seguridad física en los ámbitos regional y mundial.

REFERENCIAS

- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2020a) *Examen de la Tecnología Nuclear de 2020*, GC(64)/INF/2.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2020b) *Examen de la Seguridad Nuclear de 2020*, GC(64)/INF/3.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2020c) *Informe sobre la Seguridad Física Nuclear de 2020*, GOV/2020/31-GC(64)/6.

- Official Gazette [Bulletin officiel] (1971) Law No. 005-71 of 12 October 1971 on the protection against ionizing radiation [Loi n° 005-71 du 12 octobre 1971 relative à la protection contre les rayonnements ionisants]. In: El Fekkak M (ed) Labour Legislation Directory [Répertoire de la législation du travail] (1994), Librairie Al Wahda Al Arabia, Casablanca, p 717.
- Official Gazette [Bulletin officiel] (2014) Law No. 142-12 of 22 August 2014 on nuclear and radiological safety and security and the creation of the Moroccan Agency for Nuclear and Radiological Safety and Security [Loi n° 142-12 du 22 août 2014 relative à la sûreté et à la sécurité nucléaires et radiologiques et à la création de l'Agence marocaine de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques]. https://www.ilo.org/dyn/natlex/docs/SERIAL/93657/109579/F930113526/MAR_93657.pdf. Accessed 15 October 2021

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.

Derecho Nuclear

Debate mundial

El presente volumen traza el recorrido del Derecho Nuclear: sus orígenes, cómo ha evolucionado, dónde se encuentra actualmente y hacia dónde se dirige. Como disciplina, este cuerpo de leyes altamente especializado nos permite beneficiarnos de las aplicaciones de la ciencia y la tecnología nucleares que salvan vidas y gracias a las cuales se puede, por ejemplo, diagnosticar el cáncer y evitar y mitigar los efectos del cambio climático. La presente obra pretende hacer vislumbrar a los lectores el futuro del derecho, la ciencia y la tecnología nucleares. Aspira a despertar ideas y suscitar debates sobre cómo podemos potenciar al máximo las ventajas de la ciencia y tecnología nucleares y reducir al mínimo los riesgos inherentes a ellas. Este compendio de ensayos presenta una visión global, desde el punto de vista tanto temático como geográfico. Va dirigido a representantes de los gobiernos —reguladores, encargados de formular políticas y legisladores—, así como a representantes de organizaciones internacionales y los sectores jurídico y asegurador. Será de interés para todos aquellos que deseen comprender mejor la función que desempeña el derecho para propiciar el uso de la tecnología nuclear en condiciones de seguridad física y tecnológica y con fines pacíficos en todo el mundo.

Las contribuciones del presente volumen son obra de destacados expertos, entre ellos el Director General del OIEA, y analizan las cuatro ramas del Derecho Nuclear —seguridad tecnológica, seguridad física, salvaguardias y responsabilidad por daños nucleares— y la interacción del Derecho Nuclear con otras esferas del derecho nacional e internacional.



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica